МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Факультет транспортных коммуникаций

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ, РЕМОНТЕ И СОДЕРЖАНИИ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

МАТЕРИАЛЫ
X Международной студенческой конференции

Минск
БНТУ
2025

УДК 625.7/.8:658.51(06)
ББК 39.311я43
Д69

Редакционная коллегия:

Главный редактор:
кандидат технических наук, доцент С.Е. Кравченко (председатель)

Редакторы:
кандидат технических наук, доцент В.А. Гречухин;
кандидат технических наук, доцент И.Е. Рак;
кандидат физико-математических наук, доцент С.В. Чернявская;
кандидат технических наук, доцент Т.А. Чистова;
старший преподаватель А.А. Бежик;
старший преподаватель В.А. Ходяков;
старший преподаватель Л.В. Козловская;
старший преподаватель Н.В. Ковалёнок;
старший преподаватель А.Ю. Будо;
ассистент И.Д. Чечелев
ассистент Ю.В. Кулаго

Составитель:

старший преподаватель В.А. Ходяков (координатор конференции)

В сборник включены тезисы докладов, представленных на X Международной студенческой конференции «Современные направления в проектировании, строительстве, ремонте и содержании транспортных сооружений», состоявшейся 5–6 декабря 2025 года в Белорусском национальном техническом университете. В сборник также включены две дополнительные секции в состав которых вошли статьи участников Международных конференций «Мосты Союзного государства» 2024 и 2025 годов.

© Белорусский национальный
технический университет, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1
МОСТЫ И ТОННЕЛИ

Москаев Илья Андреевич
Обзор зарубежных конструкций быстровозводимых мостов 21

Руссу Ольга Сергеевна
Перспективы применения полимерных композитных материалов для усиления и ремонта мостовых конструкций в северных регионах 24

Сухарский Лев Максимович
Особенности проектирования интегральных мостов в месте сопряжения с насыпью подходов. Обзор иностранной литературы 33

Маршкова Софья Андреевна
Напряженно-деформированное состояние грунтового массива при разработке полезных ископаемых 36

Руснак Тарас Александрович
Перспективы цифровизации строительной отрасли на примере ПО «Кремний» 39

Адамович Даниил Александрович
Тоннель, сооружаемый щитовым способом 41

Адамович Даниил Александрович
Станция метрополитена мелкого заложения в городе Бресте на пересечении улиц Хорошая и Плохая 43

Андрейчик Ярослав Александрович
Подземная транспортная развязка, совмещенная со станцией метрополитена и многофункциональным комплексом (г. Брест) 45

Андрейчик Ярослав Александрович
Станция метрополитена мелкого заложения 48

Бакей Никита Константинович
Современные нагрузки на железные дороги 50

Барановский Кирилл Александрович
Стеклопластиковая арматура в строительстве 53

Барановский Кирилл Александрович
Аквапарк «Питерлэнд» 55

Бахмач Кирилл Романович
Автомобильный тоннель Субьяко-Ливата 57

Бегунов Глеб Витальевич
Автомобильный тоннель Суродая – Мирик 59

Бохан Фрол Денисович
Многофункциональный комплекс на 282 автомобильных парковочных места
на Партизанском проспекте в г. Минске 61

Брейво Александр Иванович
Виды опорных частей мостовых сооружений 64

Вайтюшенко Артём Петрович
Подземная транспортная развязка, расположенная в многофункциональном
комплексе в г. Бресте на пересечении проспекта Машерова,
бульвара Космонавтов и бульвара Шевченко 66

Гак Артем Дмитриевич
Разрушение мостов 69

Гапонов Александр Сергеевич
Расчет висячего автомобильного моста с учетом предварительного натяжения канатов 72

Гапонов Александр Сергеевич
Влияние строительства тоннеля метрополитена на существующую застройку,
в г. Минск вдоль ул. Притыцкого 74

Гирейко Александр Валентинович
Применение неметаллических арматурных сеток при строительстве дорог 77

Гречаник Алексей Сергеевич
Путепровод по магистрали М-3 Минск-Витебск 79

Грушевский Алексей Николаевич
Экомосты 81

Драпеза Антон Витальевич
Опыт использования искусственного интеллекта в проектировании мостов 84

Доронин Глеб Евгеньевич
Дорожный тоннель через Шамони-Морже 87

Дорощенок Никита Сергеевич
Подземная транспортная развязка, совмещённая со станцией метрополитена, расположенная в многофункциональном комплексе в г. Гродно на пересечении улицы Советских пограничников, улицы Победы и улицы Горновых 89

Дубяго Максим Валентинович
Железнодорожный тоннель в Пятигорске (Россия) 93

Дыдышко Алексей Сергеевич
Алюминиевые мосты 95

Зенович Антон Андреевич
Многофункциональный подземный комплекса в г. Гомель в Республике Беларусь с разработкой цифровой модели объекта 98

Зенович Антон Андреевич
Станционный комплекс в г. Гомель 100

Карабнева Анна Анатольевна
«Автодорожный мост» через водохранилище «Свислочь» в г. Минске 103

Карабнева Анна Анатольевна
Влияние подземного тоннеля метрополитена на существующую застройку, в г. Минске на пересечении ул. Белградской и Аэродромной 105

Качура Иван Игоревич
Приборы для неразрушающего ультразвукового контроля прочности бетона 108

Кекшук Артём Сергеевич
Путепровод по магистрали М-3 Минск-Витебск 110

Киселевич Никита Николаевич
Подземная транспортная развязка, расположенная в многофункциональном комплексе в г. Бресте на пересечении проспекта Машерова, бульвара Космонавтов и бульвара Шевченко 112

Кирик Алина Владимировна
Виды деформационных швов мостовых сооружений 115

Ковалева Екатерина Ивановна
Расчет вантового автомобильного моста с использованием программы «SOFiSTiK» 117

Ковалева Екатерина Ивановна
Влияние строительства тоннеля метрополитена на существующую застройку, в г. Могилёв по пр. Мира 120

Козловский Тимофей Павлович
Дорожный тоннель через Алматы-Бишкек 123

Концевенко Иван Викторович
Дорожный тоннель через Штег-Айнедсбах 125

Корнеков Денис Федорович
Автомобильный Тоннель Велс – Всеволодо-Благодатское 127

Кудрейко Евгений Михайлович
Железнодорожный тоннель в Лашкуте (Россия) 129

Логвин Владимир Сергеевич
Расчет висячего автомобильного моста с учетом
предварительного натяжения канатов 132

Логвин Владимир Сергеевич
Влияние строительства тоннеля метрополитена на существующую застройку,
в г. Минск на Логойском тракте 134

Логвин Владимир Сергеевич
Строительство монолитного моста методом продольной надвижки 137

Логвин Владимир Сергеевич
Мост через реку Припять в городе Мозырь 139

Лукьянчик Дмитрий Александрович, Анисимов Глеб Вячеславович
Приборы типа Ferroscan для определения армирования
железобетонных конструкций 141

Мартынович Игорь Алексеевич
Разработка параметрической модели висячего моста через р. Днепр
с использованием DYNAMO 144

Маторина Виктория Сергеевна
Лабораторные испытания железобетонных балок 146

Милорадов Макар Иванович
Лазерное сканирование мостовых сооружений 148

Мирончик Алексей Дмитриевич
Композитные мосты 151

Михнов Антон Владиславович
Подземная транспортная развязка, совмещенная со станцией метрополитена
и многофункциональным комплексом (г. Гомель) 154

Михолап Максим Дмитриевич
Карбонизация бетона и способы определения её глубины 157

Мороз Даниил Алексеевич
Серийный мостоукладчик МТУ-20 160

Новик Максим Денисович
Применение BIM-технологий и инструментов искусственного интеллекта
при проектировании арочного моста в Autodesk Revit 162

Оздемиров Якуб Мусаевич
Деревянные мосты в Беларуси 165

Попелышко Лариса Андреевна
Тоннель, сооружаемый щитовым способом 168

Попелышко Лариса Андреевна
Станция метрополитена мелкого заложения 170

Рыбчук Алексей Дмитриевич
Автомобильный тоннель Гренобль-Турин 172

Сазонов Иван Павлович
Углепластиковая арматура в строительстве 174

Скрипко Александр Владимирович
Дорожный тоннель между городами Зарнен-Берн 176

Скрипко Александр Владимирович
Мост через реку Свислочь, соединяющий г. Свислочь и СТ Заречный 179

Скрипчук Антон Иванович
Проектирование автодорожного висячего моста в г. Брест через реку Муховец
с использованием расчётного комплекса SOFiSTiK 182

Старцев Демид Николаевич
Подземная транспортная развязка, совмещённая со станцией метрополитена,
расположенная в многофункциональном комплексе в г. Могилеве
на пересечении проспекта Мира и улицы Первомайская 185

Судак Валерия Витальевна
Подземная транспортная развязка, расположенная в многофункциональном
комплексе в г. Могилеве на пересечении проспекта Мира,
Первомайской улицы и бульвара Ленина 188

Судак Валерия Витальевна
Станция метрополитена мелкого заложения на пересечении проспекта Независимости, Первомайской улицы и проспекта Ленина в г. Могилеве 193

Тарасевич Александр Сергеевич
Взаимосвязь военного и гражданского строительства мостов и дорог: связь между свайными и пролетными мостами в двух сферах 196

Трацевский Максим Евгеньевич, Касинич Алексей Павлович
Пресса для испытания бетона на сжатие 199

Терехова Анастасия Владиславовна
Влияние строительства тоннеля метрополитена на существующую застройку, в г. Минске на пересечении ул. Лизы Чайкиной и ул. Центральной 202

Терехова Анастасия Владиславовна
Проектирование автодорожного висячего моста в г. Минске через водохранилище «Дрозды» с использованием расчётного комплекса «SOFiSTiK» 205

Цыброва Алина Вячеславовна
Автодорожный висячий мост в г. Минске через реку «Свислочь» 208

Шпаков Святослав Сергеевич
Проектирование автодорожного вантового моста с использованием расчётного комплекса SOFiSTiK 213

Шпаков Святослав Сергеевич
Влияние строительства тоннеля метрополитена на существующую застройку, в г. Минск вдоль ул. Нововиленского 216

Шпаков Святослав Сергеевич
Строительство монолитного моста с использованием перемещающихся подмостей 219

Шпаков Святослав Сергеевич
Мост через реку Щара в агрогородке Большие Озёрки 221

Эртман Виктор Алексеевич
Несущая способность тавровой железобетонной балки 223

Якубович Александр Дмитриевич
Практика использования искусственного интеллекта в проектировании мостов 225

Секция 2
АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ

Анишин Егор Игоревич
Виды укрепления откосов 228

Балтрушайтис Юрий Эдуардасович
Экспериментальные исследования светотехнических
характеристик шероховатых поверхностей дорог 231

Барсукова Мария Сергеевна
Неразрушающие методы контроля прочности асфальтобетона 234

Вайтехович Егор Витальевич
Образование колеи износа на асфальтобетонных дорогах 236

Вечера Карина Геннадьевна
Технологические процессы приготовления щебеночных материалов
с использованием современных систем оборудования 238

Вечера Карина Геннадьевна
Использование вторичных материалов для получения асфальтобетона 241

Гопта Николай Андреевич
Строительство дорог в зонах вечной мерзлоты 244

Гопта Николай Андреевич
Дорожные знаки и их влияние на поведение водителей 247

Гопта Юлия Андреевна
Улучшение свойств битума с использованием химических добавок 251

Гопта Юлия Андреевна
Автоматизированные системы управления при приготовлении
асфальтобетонных смесей 254

Гопта Юлия Андреевна
Роль инноваций в работе дорожно-строительных предприятий 258

Дашковский Алексей Юрьевич
Актуальная мировая проблема – смертность
в дорожно-транспортных происшествиях 261

Драпеза Антон Витальевич
Современные технологии ремонта асфальтобетонных покрытий 265

Евтух Владислав Александрович
Использование программного продукта ТИМ КРЕДО
при проектировании автомобильных дорог 267

Костевич Надежда Игоревна
Армирование бетонных дорог 270

Кублашвили Никита Борисович
Влажность бетона и приборы для ее определения 273

Лаппо Андрей Игоревич, Пташиц Егор Олегович
Применение асфальтогранулята в основании под тротуарной плиткой 276

Лебедев Илья Вячеславович
Механизированные комплексы для строительства бетонных дорог 278

Лещинская Карина Александровна
Классификация дефектов асфальтобетонных дорожных покрытий 280

Митрофанов Савелий Александрович
Расчет дорожной одежды в ТИМ КРЕДО РАДОН 283

Михолап Максим Дмитриевич
Цветовые решения горизонтальной дорожной разметки
для повышения внимания водителей 286

Овчаренко Дмитрий Романович
Интеграция транспортных развязок в существующую
инфраструктуру без сноса зданий 288

Оздемиров Якуб Мусаевич
Теоретические исследования светотехнических характеристик дорожных покрытий 292

Опацкая Вероника Васильевна, Емельянова Маргарита Александровна
Влияние стабилизации оснований дорожных одежд неорганическими
вяжущими материалами на окружающую среду 294

Пташиц Егор Олегович, Лаппо Андрей Игоревич
Физико-механические характеристики органоминеральных смесей
на основе асфальтогранулята 299

Радкевич Антон Михайлович
Образование колеи износа на цементобетонных дорогах 302

Сазанчук Эмилия Павловна
Пьезоэлектрики как инновационные технологии в дорожном строительстве 303

Старовойтов Александр Витальевич
Лизинг в дорожной отрасли 306

Старовойтов Александр Витальевич
Механическая обработка каменных материалов для улучшения их свойств 309

Старовойтов Александр Витальевич
Использование современных технологий для повышения
экологической безопасности асфальтобетонных заводов 313

Толмачевец Полина Игоревна
Экономические основы проектирования автомобильных дорог 317

Трухнов Даниил Игоревич
Снижение аварийности на автомобильных дорогах путем
использования дорожных ограждений 319

Цегалко Иосиф Игоревич
Армирование земляного полотна 323

Швед Олег Александрович, Романцов Даниил Дмитриевич
Перспективы развития и новые функции ТИМ КРЕДО
в будущих обновлениях 325

Шинкевич Артём Сергеевич
Неразрушающие методы контроля прочности дорожного цементобетона 327

Секция 3
ГЕОДЕЗИЯ И АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ГЕОТЕХНОЛОГИИ

Абдуллаев Шохжахон Абдуманнап угли
Анализ инновационных геодезических методов при создании
топографических карт и планов 330

Алексейчик Алексей Сергеевич
Точность лазерного сканирования (LIDAR), при создания
3D-моделей исторических памятников 333

Алексейчик Алексей Сергеевич
Разработка методики мониторинга деформаций зданий
и сооружений с использованием современных геодезических методов 335

Андрушкевич Алексей Константинович
Сравнительный анализ возможностей лазерного сканирования и фотограмметрии 338

Антонович Тимофей Владимирович
Связь фотограмметрии и цифровой модели рельефа 341

Белозарович Владислав Леонидович
Анализ влияния технологий дистанционного зондирования
на геодезическое производство 343

Белозарович Владислав Леонидович
Построение поверхности в Civil 3D 345

Блышко Максим Васильевич
Эволюция геодезических инструментов: от ватерпаса Древнего Египта
до квантовых гравиметров 349

Вахнер Илона Васильевна
Искусственный интеллект и машинное обучение
в обработке геопространственных данных: революция в геодезии 351

Вахнер Илона Васильевна
Геодезическое обеспечение как фундаментальная основа
функционирования «умных городов» 353

Волженков Иван Валерьевич
Воздействие человека на ландшафты 355

Громова Милена Сергеева
Знаменитые люди в области геодезии 357

Давыдов Евгений Андреевич
Современные подходы к геодезическому обеспечению
мониторинга лесных массивов 360

Дмитриев Матвей Александрович
История развития универсальных стереофотограмметрических приборов в XX веке 363

Дмитриев Матвей Александрович
История развития отсчетных устройств оптико-механических
и оптико-электронных геодезических приборов 367

Зановская Дарья Сергеевна
Объемы для площадок разных конфигураций в ПО Civil 3D 371

Зановская Дарья Сергеевна
Исследование проблем точности и надежности геодезической съемки
в условиях густой растительности 374

Ковалёв Дмитрий Юрьевич
Применение геодезических методов для контроля устройства земляного основания при строительстве автомобильной дороги 376

Костючков Иван Александрович
Влияние крупных городов на природную среду (на примере Беларуси) 379

Маркевич Максим Вадимович
Морская геоморфология 382

Мартинкевич Глеб Юрьевич, Поченчук Кирилл Андреевич
Нейросетевой подход к решению задачи идентификации номенклатуры по геодезическим координатам 385

Момотюк Даниил Леонидович
Анализ возможностей применения технологии интернета вещей в геодезии 390

Моторная Дарья Александровна
Вычисление объёмов земляных масс различными способами 394

Рабецкий Тимофей Анатольевич
Архитектура единой информационной системы кадастрового учета и мониторинга недвижимости на региональном уровне 397

Саакян Степан Сейранович
Современные методы геодезии и аэрокосмической съемки для учета подземных коммуникаций в Минске 399

Супранёнок Дарья Михайловна
Анализ применения GPS-технологий в геодезии 402

Шешук Ольга Александровна
Разработка мобильного приложения для полевого контроля геодезических работ в строительстве с валидацией данных в реальном времени 404

Юхно Никита Владимирович
Интеграция БПЛА с искусственным интеллектом для автоматизированного мониторинга инфраструктуры 406

Юхно Никита Владимирович
Применение фотограмметрии для анализа микрорельефа и оценки эрозии почв 409

Юхно Никита Владимирович
Интеграция данных лидарной съемки и фотограмметрии для 3D-моделирования исторических зданий 411

Ярохович Лолита Анатольевна
Наноспутниковые системы для оперативного обновления топографических карт в труднодоступных регионах 413

Цітавец Глеб Уладзіміравіч
Картаграфія Вялікага Княства Літоўскага 415

Секция 4
МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Аврамов Александр Андреевич
История создания автобетоносмесителя 419

Мороз Даниил Алексеевич
Инженерная машина разграждения ИМР-2 421

Нежевец Владислав Игоревич
История развития автогрейдера 424

Шукан Станислав Михайлович
История развития гусеничных асфальтоукладчиков 427

Секция 5
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Авдей Владислав Валерьевич, Пронин Артем Александрович
Ряды Фурье: применение в быту и различных областях науки и техники 431

Асмакович Вероника Александровна
Роль аналитической математики в строительстве 434

Астапова Анастасия Николаевна, Титова Александра Николаевна
Векторы в строительстве 438

Бобарико Станислав Владимирович, Антонович Сергей Олегович
Применение тригонометрии и векторной алгебры в расчёте строительных кранов 442

Бурак Виолетта Андреевна, Кучеренко Артемий Ярославович
Фрактальная геометрия как инструмент повышения информативности архитектурных объектов 445

Бут-Гусаим Екатерина Сергеевна, Брановец Анастасия Анатольевна

Теория вероятности в практико-ориентированных задачах 448

Вилькевич Полина Юрьевна
Применение теории вероятностей и статистики для оценки надежности строительных конструкций 451

Главинский Дмитрий Дмитриевич, Урбанович Маргарита Дмитриевна
Использование интегрального исчисления при расчётах гидростатического давления на строительные сооружения 453

Гончаров Павел Андреевич, Малафей Александр Владиславович
Математика оригами: геометрия складок и преобразований 456

Горностаева Дарина Владимировна
Применение тройного интеграла для расчета объема бетона при устройстве арочного проема 460

Денис Дарья Владимировна, Шестакова Дарья Алексеевна
Применение интегралов как один из способов определения площадей реальных объектов 463

Диковицкий Иван Андреевич
Проектирование и реализация графического редактора с применением математических моделей и алгоритмов для точного построения геометрических объектов 465

Димитриев Самир Яковлевич
Метод «Монте-Карло» в действии 468

Ибрагимов Ренат Ильдарович
Применение интегралов в строительстве 471

Иванцов Иван Максимович
Парадокс Монти Холла: математическое исследование задачи, которая обманывает интуицию 474

Исаеня Захар Александрович, Степанович Владислав Дмитриевич
Применение интегрального исчисления в проектировании автомобильных дорог 478

Клепча Роман Алексеевич
Поверхности второго порядка, образующиеся при добыче полезных ископаемых 480

Ковальчук Софья Викторовна
Использование искусственного интеллекта при адаптивном обучении студентов технического университета 483

Козлов Тимофей Александрович, Новицкий Даниил Алексеевич
Исследование зависимости средней плотности бетона от водопоглощения 487

Колос Максим Андреевич, Конколович Даниил Георгиевич
Стратегия игры в покер, основана на теории вероятности 490

Копачев Вадим Станиславович
Моделирование температурных полей в ограждающей конструкции
с помощью дифференциальных уравнений теплопроводности 492

Кот Кирилл Сергеевич
Повышение точности 3D-моделирования городской среды
по данным спутника БКА на основе комплексной фотограмметрической
обработки с уточнением орбитальной модели 494

Курильчик Илья Сергеевич, Бегунов Максим Юрьевич
Использование дифференциальных уравнений для расчета устойчивости сооружений 497

Лапцевич Иван Андреевич
О компьютерно-математическом моделировании в автомобильной среде 500

Ларионова Яна Владимировна, Колесникович Виктория Михайловна
Отыскание решений одной системы линейных уравнений методом итераций 503

Микула Елизавета Вячеславовна, Шилович Наталья Дмитриевна
История развития интегрального исчисления. Рассмотрение вклада Ньютона,
Лейбница и других учёных в формирование теории интегралов 506

Мосейко Роман Андреевич
Об использовании информационных технологий в подготовке
инженеров-программистов 509

Петрова Снежана Павловна, Литош Карина Юрьевна
Вероятностный анализ обрушения здания из-за ошибки строительства 514

Погуляев Тимофей Михайлович
Математические методы управления запасами в строительстве 516

Полторан Денис Александрович, Ковш Егор Викторович
Применение математических методов в теплоснабжении и вентиляции 520

Рахманько Егор Сергеевич, Бурак Андрей Вячеславович
Геометрические методы оценки площади строительных участков по координатам 523

Рудая Илона Вацлавовна

Принцип работы сортировки с использованием двоичного дерева
на языке программирования Java 525

Рябычина Василиса Евгеньевна, Рудая Анастасия Олеговна
Применение теории вероятностей для оценки рисков в строительных проектах 530

Савицкий Максим Вадимович, Старицкий Алексей Вячеславович
Применение интегралов в теплоснабжении и вентиляции 533

Сазанчук Эмилия Павловна
Применение степенных рядов в расчётах добавок вяжущих веществ
для укрепления грунта 537

Скрипко Сергей Дмитриевич
Упругость, ползучесть и пластичность 541

Сташевский Роман Викторович, Шелег Матвей Валериевич
Применение распределения Пуассона в анализе редких событий
и его потенциал для строительной отрасли 545

Секция дополнительная 1
МОСТЫ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА 2024

Бушило Максим Евгеньевич
Проект многофункционального комплекса в России
между городами Теберда и Карачаевск 549

Бушило Максим Евгеньевич, Щербо Алексей Денисович
Проект висячего моста через реку Нёман 553

Жуков Дмитрий Анатольевич, Карабнева Анна Анатольевна
БНТУ и кафедра «Мосты и тоннели» вчера и сегодня, немного цифр 559

Ковалева Екатерина Ивановна, Гапонов Александр Сергеевич
Проектирование Борисоглебского моста в Tekla Structures 564

Красноперов Захар Алексеевич
Исследование технологии строительства надземных стальных
гофрированных путепроводов при помощи аддитивной технологии 569

Крыкова Лада Львовна, Витущенко Владимир Александрович
Эстетика мостовых сооружений Санкт-Петербурга 575

Крыкова Лада Львовна, Витущенко Владимир Александрович

Отечественный опыт применения современных полимерных
композиционных материалов в мостостроении 587

Кулаго Юлия Владимировна
Дипломное проектирование. Опыт 592

Леган Александра Дмитриевна, Данчиков Александр Владимирович
Курсовое проектирование в Revit 597

Лепустин Александр Евгеньевич, Туяков Бауржан Дэуренович
Применение БПЛА в мостостроении 602

Марков Виталий Иванович
Комплексный подход к повышению безопасности и эксплуатационной
пригодности надземных пешеходных переходов (антикоррозионная
защита и борьба с зимней скользкостью) 605

Потреба Вероника Георгиевна
Мониторинг напряжённо-деформированного состояния мостовых сооружений 627

Утяшева Лилия Рифовна
Оценка долговечности резиновых уплотнительных профилей обделки тоннелей 632

Щербо Алексей Денисович
Проект автодорожного тоннеля совмещённого с многофункциональным комплексом 639

Янушкевич Ксения Евгеньевна
Проектирование автодорожного моста в Revit 644

Секция дополнительная 2
МОСТЫ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА 2025

Белов Валерий Анатольевич
Экологически рациональное проектирование мостовых сооружений.
Концепция идеального моста и ее применение в мостостроении 649

Братчиков Илья Александрович
Цифровизация строительства мостовых сооружений. Цифровая платформа MStroy 657

Гречаник Алексей Сергеевич
BIM технологии в разработке многофункционального подземного
комплекса совмещенного со станцией метро в городе Гродно
с использованием катучей тоннельной опалубки 665

Заварзин Иван Вадимович
Проект развития транспортной сети 671

Канигин Максим Александрович
Проект организации строительства Велопешеходного тоннеля в городе Казань 673

Кулаго Юлия Владимировна
Особенности тоннелестроения в Республике Беларусь 687

Макаров Кирилл Сергеевич, Некрасова Анна Геннадьевна
Платформа MStroy 690

Потреба Вероника Георгиевна
Мониторинг напряженно-деформированного состояния
пролетного строения на стадии надвижки 695

Давтян Карина Эдуардовна, Пужайкин Дмитрий Андреевич
Оперативное восстановление мостовых сооружений на железной дороге 703

Рахунок Кирилл Александрович, Янушкевич Ксения Евгеньевна
BIM-технологии: от чертежа к цифровому двойнику
и эффективному управлению жизненным циклом объекта 707

Саванович Никита Андреевич
Проектирование моделей транспортных сооружений 710

Эртман Виткор Алексеевич
Модель наземного паркинга 713

Юрьева Арина Алексеевна
Исследование работы полимеркомпозитных стержней на срез
при различной влажности древесины 715

Секция 1

МОСТЫ И ТОННЕЛИ

УДК 624.31

Обзор зарубежных конструкций быстровозводимых мостов

***Москаев Илья Андреевич**, студент 3 курса*
базоваой кафедры АО «Мостострой-11»
Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень
Научный руководитель – Овчинников И.И., докт. техн. наук, и.о. заведующего базовой кафедрой АО «Мостострой-11»

Быстровозводимые мосты – это сборные мостовые сооружения с малыми сроками строительства и требующие минимального количества специализированной техники.

Область применения: оперативное устройство переправ и восстановление мостов, разрушенных вследствие природных катаклизмов, естественных причин, техногенных катастроф, ведения боевых действий и прочих факторов.

Рассмотрим иностранные решения:

1. Мост Каллендера-Гамильтона (Рис. 1) основывается на применении стандартизированных стержневых элементов и фасонных соединений, которые объединяют продольные и поперечные элементы, что облегчает и ускоряет монтаж конструкции.

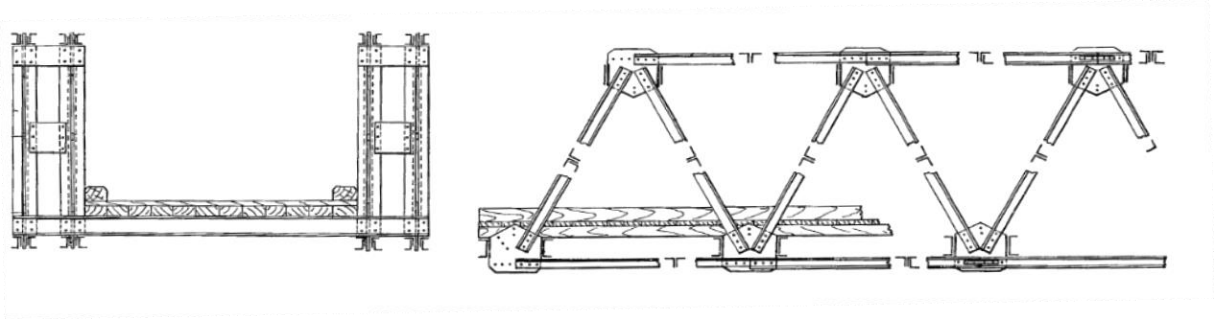


Рисунок 1 – Поперечное сечение и фасад моста Каллендера-Гамильтона [1]

2. Мост Бейли является модернизацией моста Каллендера-Гамильтона. В качестве основного конструктивного элемента используется панель (Рис. 2) длиной 3 метра, высотой 1,5 метра и шириной 16,5 сантиметра, масса панели составляет 262 кг. Панели имеют проушины для штифтового соединения. Возможно соединение ферм в продольном и поперечном направлении, а также в вертикальном. В зависимости от эксплуатационной нагрузки варьируют количество панелей в ярусе и количество ярусов

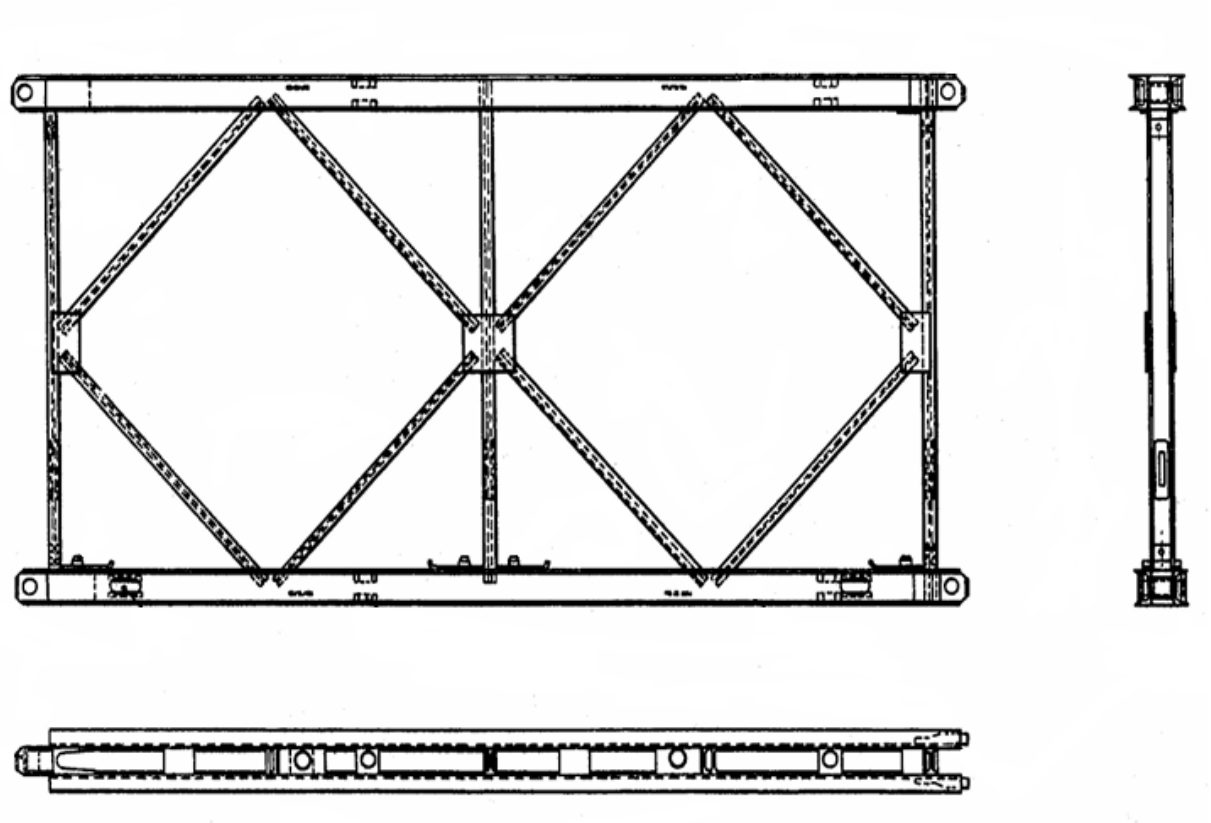


Рисунок 2 – Панель моста Бейли [3]

3. Мост Mabey & Johnson – развитие моста Бейли. Применение в мосту Бейли панелей единого размера позволяет упростить сборку, но одинаковая высота сечения по всей протяженности моста повышает материалоемкость конструкции. Для оптимизации конструкции была предложена схема с переменной высотой сечения, состоящая из двух панелей разных высот и соединительной переходной панели. Здесь также, как и в мосту Бейли, используется штифтовое соединение.

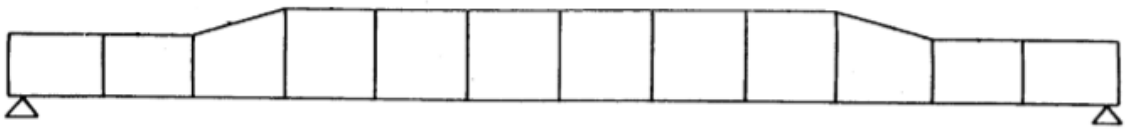


Рисунок 3 – Схема моста Mabey & Johnson [4]

4. Мост Acrow – следующий вариант совершенствования моста Бейли. Основной идеей является применение треугольных панелей. Панели соединяются между собой болтами или штифтами. По очертанию ферма моста Acrow имеет вид трапеции. Такая форма намного ближе к форме эпюры изгибающих моментов в балке, благодаря чему достигается рациональное использование материалов, что снижает собственный вес и повышает грузоподъемность конструкции.

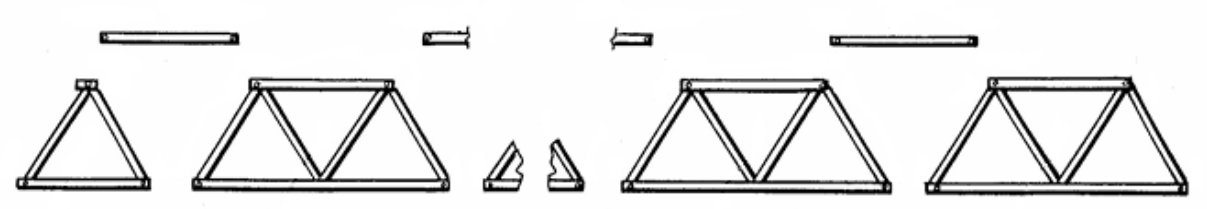


Рисунок 4 – Схема моста Acrow [5]

Рассмотренные конструкции быстровозводимых мостов запатентованы в США в период с 1935 г. по 1990 г. В представленной выборке развитие конструктивных решений происходило за счет укрупнения типового элемента (переход от стержневых элементов к панельным), что позволило ускорить сборку. Использование ферменных пролетных строений с увеличивающейся к середине пролета высотой позволило снизить материалоемкость конструкций. Применение штифтового соединения обеспечивало быстрое и надежное для своего времени объединение элементов.

Литература:

1. Patent US 2024001, IPC E01D6/00 ; CPC E01D6/00, E01D2101/30. Framed bridge or bridge-like structure : № 1607 : filling date 14.01.1935 : publ. date 10.12.1935 / Archibald Milne Hamilton ; applicant Callender's Cable and Construction Company Limited, London, England, a British company.
2. Field Manual: Bailey Bridge; FM 5-277; Headquarters Department of the Army: Washington, DC, USA, 1986. URL: http://www.bits.de/NRANEU/others/amd-us-archive/fm5-277%2886%29.pdf (Дата обращения: 27.11.2025).
3. Patent US 2376023, IPC E01D15/133 ; CPC E01D15/133. Improvements in and relating to the construction of bridges and other metal frame structures : № 472027 : filing date 11.01.1943 : publ. date 15.05.1945 / Donald Coleman Bailey ; applicant Donald Coleman Bailey.
4. Patent US 4706436, IPC E01D15/133 ; CPC E01D15/133. Lattice bridges : № 846717 : filing date 01.04.1986 : publ. date 17.11.1987 / Bevil G. Mabey, David G. Mabey ; applicant Mabey & Johnson Limited.
5. Patent US 4912795, IPC E01D15/133, E01D6/00; CPC E01D15/133, E01D6/00, E01D2101/30. Prefabricated unit construction modular bridging system : № 240687 : filing date 06.09.1988 : publ. date 03.04.1990 / John R. Johnson ; applicant Acrow Corporation of America.

УДК 624.21

Перспективы применения полимерных композитных материалов для усиления и ремонта мостовых конструкций в северных регионах

***Руссу Ольга Сергеевна**, магистрант 1 курса*
базовой кафедры АО «Мостострой-11»
Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень
Научный руководитель – Овчинников И.И., докт. техн. наук, доцент базовой кафедры АО «Мостострой-11»

Мостовые конструкции, эксплуатируемые в северных регионах, подвергаются экстремальным климатическим воздействиям, таким как низкие температуры, значительные колебания влажности и агрессивное воздействие химических реагентов, используемых для борьбы с льдом и снегом. Эти факторы существенно сокращают срок службы традиционных материалов и требуют поиска новых решений для повышения долговечности и надежности мостов. В таких условиях полимерные композитные материалы (ПКМ) представляют собой перспективную альтернативу, способную обеспечить эффективное усиление и ремонт конструкций (Рис. 1).



Рисунок 1 – Пример применения полимерных композитов для усиления мостовой конструкции в северных условиях

Для получения качественных деталей мостового каркаса применяются инновационные технологии вакуумной инфузии и пултрузии. Вакуумная инфузия представляет собой метод изготовления крупногабаритных элементов из полимерных композитов, при котором законченное изделие формируется

путем пропитки сухих армирующих материалов низковязкой смолой под воздействием вакуума. В процессе используется герметичная форма, покрытая вакуумной пленкой, из которой откачивается воздух, создавая разряжение. За счёт разницы давлений смола всасывается и равномерно пропитывает армирующие слои, что исключает необходимость ручного нанесения и обеспечивает однородность структуры материала, минимизируя пористость и дефекты.

Преимущества вакуумной инфузии для мостостроения в северных регионах включают возможность изготавливать крупные элементы за один подход, что существенно сокращает время производства и количество сборочных операций. Такая технология снижает риск деформаций, характерных для традиционных методов с высоким температурным воздействием, а также повышает коррозионную устойчивость изделий, что критично для эксплуатации в агрессивной среде с перепадами температуры и высокой влажностью. Срок службы мостов, построенных с применением вакуумной инфузии, может достигать 100 лет без необходимости капитального ремонта. Экономический эффект достигается за счет минимизации трудозатрат на сборку и сокращения себестоимости производства, что обеспечивает широкие перспективы применения этой технологии для создания надежных и долговечных мостовых конструкций.

Пултрузия, в отличие от вакуумной инфузии, представляет собой технологию непрерывного производства профилей из композитных материалов. В этом процессе армирующие волокна пропускаются через ванну с полимерной смолой, после чего материал формуется и проходит через нагретую матрицу, где происходит отверждение. Пултрузия преимущественно применяется для изготовления длинномерных профильных элементов, которые служат строительными блоками для сборки мостов.

Основной недостаток пултрузии заключается в необходимости соединения большого числа таких профилей для формирования полной конструкции, что значительно удлиняет время монтажных работ и увеличивает число стыков — потенциальных узлов ослабления. Тем не менее, этот метод хорош для изделий стандартной формы и позволяет получать профили с превосходной механической однородностью и постоянством геометрических параметров.

Выбор между вакуумной инфузией и пултрузией зависит от назначения и конфигурации мостового элемента. Для крупных панелей и пролетов предпочтительна вакуумная инфузия из-за возможности производить монолитные конструкции, снижая количество соединений и повышая долговечность. Пултрузия более подходит для изготовления повторяющихся профилей, таких как балки и несущие элементы, используемые в сборных

конструкциях. Обе технологии дополняют друг друга, комбинируясь в современных проектных решениях мостового строительства.

Использование вакуумной инфузии и пултрузии способствует развитию мостостроения с применением полимерных композитных материалов, позволяя создавать прочные, легкие и устойчивые к коррозии конструкции. Это особенно актуально для сложных климатических условий северных регионов, где требования к материалам и технологиям максимальны. Теперь рассмотрим особенности эксплуатации этих материалов именно в суровом климате северных регионов (Рис. 2).



Рисунок 2 – Технологические процессы производства полимерных композитов для мостостроения: схема вакуумной инфузии и пултрузии

Полимерные композиты предоставляют уникальные преимущества при ремонте и усилении мостов в суровом климате северных территорий. Одним из ключевых факторов является существенное снижение массы конструкций. Это облегчает монтажные работы и снижает нагрузку на старые фундаменты, что особенно важно при эксплуатации мостов на вечномерзлых и ослабленных грунтах, характерных для северных районов. Меньший вес одновременно уменьшает риск дополнительных деформаций и повышает общую устойчивость сооружений.

Стойкость к коррозии в условиях воздействий агрессивных сред и перепадов температуры значительно продлевает срок службы усиленных конструкций. Классические материалы, такие как сталь и бетон, подвержены коррозионному разрушению и повреждениям от циклов замораживания–оттаивания, что ведет к увеличению расходов на техническое обслуживание и ремонт. ПКМ сохраняют свои механические характеристики без структурного разрушения при воздействии реагентов и влаги, типичных для северного климата.

Непроводимость электрического тока проявляется как важное свойство, ограничивающее коррозионные процессы, связанные с электрохимическими

эффектами, и обеспечивающее дополнительную безопасность при эксплуатации мостов в условиях высокого содержания соли на поверхности. Это свойство ПКМ способствует уменьшению электрохимической коррозии металлических элементов, что затруднительно при их использовании в традиционных материалах.

Особое преимущество ПКМ состоит в возможности направленного изменения их свойств. За счет ориентации волокон и выбора состава матрицы можно создавать армированные элементы с повышенной прочностью в конкретных зонах напряжения, что позволяет эффективно усиливать поврежденные или перегруженные участки мостовой конструкции. Например, установка постнапрягаемых углепластиковых ламелей на растянутых зонах балок повышает несущую способность без существенного увеличения массы конструкции, что особенно востребовано при модернизации устаревших сооружений с недостаточной грузоподъемностью.

Кроме того, стандартизированные композитные элементы, такие как гибридные балки длиной до 24 метров, облегчают разработку и монтаж новых пролетных структур, снижая сроки и затраты на их строительство. Благодаря высоким физико-механическим свойствам и возможности изготовления в широком диапазоне размеров эти элементы адаптируются под специфические условия эксплуатации в северных регионах, включая очень низкие температуры и повышенную влажность воздуха. В совокупности эти преимущества позволяют использовать полимерные композиты как эффективное средство для ремонта и усиления мостов, способствуя повышению их долговечности, безопасности и эксплуатационной надежности в сложных климатических условиях севера. Рассмотрим примеры успешного применения ПКМ в таких условиях.

Практический опыт использования полимеркомпозитов демонстрирует эффективность их внедрения в сложных условиях северных регионов. В России одним из первых значимых проектов стало применение композитных накладок для усиления стыков железнодорожных рельсов, начатое в 1993 году на магистралях с суровым климатом. Эти накладки позволили повысить усталостную прочность соединений и снизить вибрационные нагрузки на опоры мостов, что заметно улучшило эксплуатационные характеристики.

В последующем применялось внешнее армирование главных балок железобетонных пролетных строений с помощью композитной системы MBrace. На примере железнодорожных мостов в северных областях усиливающие композитные слои увеличивали несущую способность балок без существенного увеличения массы конструкции, что существенно расширяло возможности реконструкции старых сооружений в условиях ограниченного времени и

ресурсов. Отметим, что коррозионная устойчивость армирования в сочетании с малыми габаритами и химической стойкостью обеспечивала значительное продление срока службы элементов мостов с минимальными затратами на техническое обслуживание.

Особое внимание заслуживают проекты, связанные с созданием цельнокомпозитных пролетных строений из пультрузионных стеклопластиковых профилей, реализованные с 2010 года. Эти облегчённые и при этом достаточно прочные решетчатые конструкции успешно эксплуатируются в северных широтах, демонстрируя устойчивость к морозным нагрузкам и высокой влажности. Благодаря низкой теплопроводности и коррозионной инертности композитов обеспечиваются стабильно высокие эксплуатационные показатели мостов с уменьшенным объемом ремонтных работ и продленным межремонтным периодом (Рис. 3).



Рисунок 3 – Пример мостовой конструкции в северных условиях

Кроме того, использование стандартизированных композитных элементов облегчает проектирование и монтаж новых мостовых пролетов, снижая время строительно-монтажных работ. Модули из композитных профилей длиной до 24 метров позволяют создавать конструкции с высокими прочностными характеристиками и адаптировать их под специфические требования северного климата, включая теплозащиту и устойчивость к механическим повреждениям.

Несмотря на положительные результаты и подтвержденную эффективность ПКМ в северных регионах, широкое применение технологий

ограничено существующими нормативно-техническими барьерами. Действующие стандарты, регулируют использование композитных материалов, но зачастую не охватывают полностью специфику северных климатических условий и особенности эксплуатации в этих регионах. Недостаточное нормативное регулирование усложняет внедрение инновационных решений и затрудняет оценку долговечности и безопасности конструкций из ПКМ. Таким образом, развитие нормативной базы является ключевым направлением для расширения применения полимерных композитов в мостостроении северных территорий.

Несмотря на техническую привлекательность, применение ПКМ сталкивается с нормативными сложностями. В современной нормативно-технической базе России присутствуют определённые документы, регламентирующие использование полимерных композитов в мостостроении, но комплексного и полнообъемного подхода пока не сформировано. ГОСТ Р 54928-2012 устанавливает технические условия для пешеходных мостов и путепроводов из ПКМ, однако его сфера ограничена элементами такого типа конструкций, не охватывая более сложные инженерные решения и крупномасштабные транспортные сооружения.

Отсутствие комплексных норм приводит к размытости требований к испытаниям, контролю качества и приемке ПКМ в строительстве мостов, что тормозит широкое внедрение инноваций. Это также осложняет интеграцию композитных материалов в действующие правила проектирования, поскольку отсутствует детальная нормативная база, учитывающая особенности материалов, геометрию элементов, методы монтажа и эксплуатационные нагрузки северного климата. В результате проектные организации сталкиваются с техническими рисками, а инвесторы и операторы инфраструктуры — с неопределённостью в отношении долговечности и безопасности конструкций.

Исторически практика применения ПКМ в России ограничивалась отдельными элементами, такими как композитные накладки для железнодорожных стыков (с 1993 года), при этом опыт комплексного применения в масштабных мостовых сооружениях и интеграции в системные проекты до настоящего времени ограничен. Композитные технологии развиваются быстрыми темпами, однако нормативная база не успевает адаптироваться к новым инженерным решениям и климатическим требованиям, особенно с учётом сложностей эксплуатации в северных регионах, где действуют повышенные требования к устойчивости и долговечности.

Отсутствие развитой нормативно-технической базы ведёт к замедлению модернизации мостового хозяйства и снижению темпов внедрения инновационных материалов, ограничивая потенциал повышения срока службы и

снижения эксплуатационных затрат. Это негативно отражается на общем развитии транспортной инфраструктуры и безопасности эксплуатации в сложных климатических условиях севера, где традиционные материалы и технологии не справляются с возрастающими требованиями.

Таким образом, преодоление существующих нормативных ограничений и разработка комплексных, адаптированных к северным условиям стандартов являются ключевыми задачами для эффективного использования ПКМ в мостостроении. Это требует дальнейших исследований и формализации правил проектирования.

Для расширения использования ПКМ в северном строительстве требуется активное развитие научно-исследовательских направлений. Ведущие отечественные организации, включая кафедру «Мосты» и Научно-исследовательскую лабораторию «Мосты» СГУПС в Новосибирске, совместно с компаниями ООО «Опора» и ООО «Сибирские проекты», уже достигли значительных результатов в разработке и внедрении полимерных композитных материалов для автодорожных мостов. Полученный опыт подтверждает перспективность применения ПКМ не только для пешеходных и автодорожных, но и для железнодорожных мостов, однако выявленные конструктивные и технологические проблемы требуют дальнейшего внимания для масштабного внедрения.

Одним из приоритетных направлений является разработка и совершенствование нормативной базы, учитывающей климатические и эксплуатационные особенности северных регионов, что способствует унификации требований к материалам, конструктивным решениям и методам контроля качества. Научно-технические исследования позволяют выявлять критические факторы, влияющие на долговечность композитных конструкций, и формировать обоснованные рекомендации для проектировщиков и строителей, что играет ключевую роль в снижении технических рисков при реализации пилотных и серийных проектов.

Оптимизация технологий производства элементов из ПКМ, адаптированных к условиям низких температур и повышенной влажности, является вторым важным направлением. Разработка новых рецептур полимерных матриц и внедрение инновационных методов армирования повышают механическую стойкость, адгезионные свойства и теплозащитные характеристики изделий. Экспериментальные работы по моделированию многолетнего воздействия климата и циклов замораживания-оттаивания способствуют созданию материалов с заданным сроком службы и надежностью, необходимыми для северных условий.

Совершенствование методов мониторинга состояния крышевых и опорных элементов с применением бесконтактных технологий — таких как инфракрасная термография, акустическая эмиссия и волоконно-оптические датчики — позволяет получать оперативные данные о появлении дефектов и разрушений в композитных слоях. Внедрение цифровых систем диагностики способствует своевременному выявлению критических состояний, снижая риски аварий и исключая излишние ремонты, что особенно актуально при ограниченных возможностях регулярного технического обслуживания в северных отдалённых территориях.

Важным аспектом является комплексное изучение взаимодействия полимерных композитов с традиционными материалами в условиях арктического климата. Научные проекты направлены на разработку технологий соединения и совместной эксплуатации, что позволяет создавать гибридные конструкции с оптимальными характеристиками несущей способности и долговечности. Это способствует расширению сферы применения ПКМ при реконструкции и модернизации существующих мостов, сохраняя при этом эксплуатационные параметры и снижая материалоёмкость.

Накопленный опыт и проведение систематических исследований в различных регионах России, включая северные территории Сибири и Поволжья, подтверждают растущий интерес и успехи в развитии этой сферы. Акцент на междисциплинарное сотрудничество научных институтов, промышленных предприятий и органов управления позволит эффективно преодолевать возникающие препятствия и расширять возможности применения ПКМ в мостостроении на Севере.

Это позволит обеспечить надежность инфраструктуры даже при самых жестких климатических вызовах.

Литература:

1. Вакуумная инфузия - технология изготовления стеклопластика [Электронный ресурс]. – URL : www.drive2.ru (Дата обращения: 28.11.2025).
2. Особенности строительства мостов в северных регионах [Электронный ресурс]. – URL : most-tonnel.ru (Дата обращения: 28.11.2025).
3. Усиление мостов с использованием композитных материалов [Электронный ресурс]. – URL : https://usn-development.ru/blog/usilenie-mostov-s-ispolzovaniem-kompozitnyh-materialov (Дата обращения: 29.11.2025).
4. Проблемы применения полимерных композитных материалов [Электронный ресурс]. – URL : https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-primeneniya-polimernyh-kompozitsionnyh-materialov-v-nesuschih-konstruktsiyah-zheleznodorozhnyh-mostov (Дата обращения: 29.11.2025).

5. Полимерные композиты в транспортном строительстве [Электронный ресурс]. – URL : http://vestkhimprom.ru/posts/polimernye-kompozity-v-transportnom-stroitelstve-i-mostostroenii (Дата обращения: 29.11.2025).
6. Кратко о композитных изделиях из стеклопластика [Электронный ресурс]. – URL : https://solidt.ru/o-kompanii/novosti-i-stati/kratko-o-kompozitnyh-izdelijah-stekloplastik-ugleplastik (Дата обращения: 30.11.2025).
7. Особенности содержания мостов и труб в суровых климатических условиях [Электронный ресурс]. – URL : https://studfile.net/preview/7804244/page:9 (Дата обращения: 01.12.2025).

УДК 624.21

Особенности проектирования интегральных мостов в месте сопряжения с насыпью подходов. Обзор иностранной литературы

***Сухарский Лев Максимович**, студент 3 курса*
базовой кафедры АО «Мостострой-11»
Тюменский индустриальный университет,
Строительный институт, г.Тюмень
Научный руководитель – Овчинников И.И., докт. техн. наук, профессор, и.о. заведующего кафедрой базовой кафедра АО «Мостострой-11»

Интегральные мосты (англ. Integral bridge) - мостовые сооружения, содержащие концевые опоры в виде интегральных устоев на однорядных гибких сваях. Интегральный устой, в свою очередь, представляет собой железобетонную, либо сталежелезобетонную плиту, расположенную по всей ширине строения и жёстко объединённой с балками пролётного строения. Главной особенностью данного типа мостов является отсутствие подвижных опорных частей и, как следствие, деформационных швов, что позволяет сэкономить на этапах строительства и обслуживания. Однако на этапе проектирования возникает проблема – сложное сопротивление грунта при повторяющихся температурных и динамических нагрузках.

В общем говоря, для любого строительства отличным материалом основания являются скальные грунты, т.к. они не подвержены пучению, влагостойки, имеют высокую прочность и модуль упругости. Однако, в большинстве своём, в качестве основания выступают мелкодисперсные грунты, которые либо залегают на месте строительства, либо ими заменяют непригодные для строительства грунты (например торф). О таких насыпных грунтах в дальнейшем и пойдёт речь.

Точное прогнозирование горизонтального давления грунта за опорами, вызванного расширением надмостовых конструкций, имеет решающее значение для проектирования и эксплуатации опор. Однако результат расчёта может сильно отличаться в зависимости от метода определения давления грунта. Расчёт может проводиться по активному, пассивному, прерывистому давлению грунта и различной комбинации оных. Также большую роль играет схема распределения давления грунта по опорной стенке. Существует общепринятый в странах СНГ вариант (Рис. 1), однако в зарубежной практике встречается и другая схема (Рис. 2)

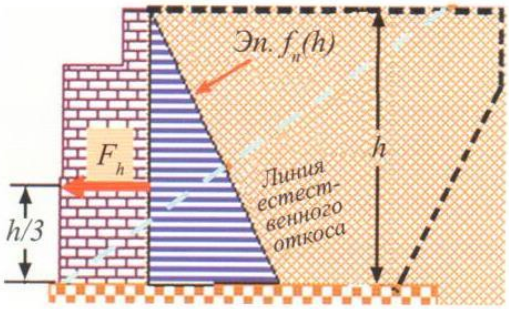


Рисунок 1 – Эпюра распределения давления грунта в СНГ
(F_h- равнодействующая давления грунта; $h/3$ – высота приложения равнодействующей)

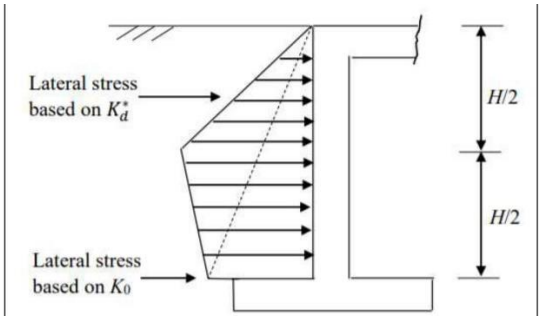


Рисунок 2 – Эпюра распределения давления грунта в Британии (K_d^*- расчетное значение коэффициента давления на землю, основанное на φ' - Угол сопротивления сдвигу по отношению к эффективному напряжению; K_0- коэффициент давления грунта в состоянии покоя)

По данным теоретических и лабораторных исследований сопротивление грунта растёт по мере увеличения циклов загружения, что связано с уплотнением грунта при каждом новом цикле. Одно из таких исследований провели в Саутгемптонском университете: проводившиеся при трёхосном сжатии испытания дали основу для понимания трещиноватости грунта при циклических нагрузках. Моделирование проводилось с использованием 3х материалов с разным размером частиц: глина, песок и стеклянные шарики баллотини (фракция 150-240мкм). В результате выяснилось, что только у песка наблюдалось явление изменения структуры, как у наиболее пустотного, что позволило сделать следующий вывод: форма частиц и контакт между ними играет главную роль в данном явлении.

Взглянув с точки зрения создания компьютерной модели интегрального моста, можно увидеть два способа задания модели грунта. В первом случае, грунт создаётся как упругое полупространство (сплошная однородная упругая среда, ограниченная сверху плоскостью и бесконечно простирающаяся вниз и в стороны), во втором случае жёсткость слоя грунта была заменена константами упругости, полученными для неглубокого фундамента, на основе теории упругости. В результате, второй, более простой способ даёт приемлемые (по

сравнению с первым методом) данные для предварительного проектирования моста.

Вторая проблема сопряжения интегральных мостов с насыпью, а конкретно в месте окончания переходной плиты – просадка грунта. В общем виде имеется два решения этой проблемы: 1) увеличить глубину погружения торца плиты; 2) укрепить грунт при помощи геосинтетических материалов. Оба варианта позволят уменьшить влияние смещений, возникающих на поверхности дорожного покрытия, однако первый является более дорогостоящим ввиду большей трудоёмкости.

Также стоит отметить, что и в сфере геотехнического укрепления существует крайне мало нормативных документов, регламентирующих порядок проектирования.

Литература:

1. Almeida João, Gama, D., Fartaria, C. / INTEGRAL ABUTMENT BRIDGES APPROACH EMBANKMENT: DESIGN SOLUTION USING SOIL REINFORCEMENT ABOVE THE TRANSITION SLAB. – Portugal, Lisbon, 2016, 10 p.
2. Featherston N. - Parametric modelling of integral bridge soil spring reactions - Stellenbosch University, April 2022 – 192 p.
3. Studia Geotechnica et Mechanica 46(4) / A. Helowicz - Analysis of numerical models of an integral bridge resting on an elastic half-space, 1 p., 2024.
4. Built Environ Geotechnical Engineering Volume 8 – 2022 Liu Hao , Han Jie, Parsons Robert L / Integral bridge abutments in response to seasonal temperature changes
5. Conference: 4th International Young Geotechnical Engineering ConferenceAt: Alexandria, Egypt, 3-4 October 2009 / Petrella, F. “Soil-structure interaction analysis for the design of integral bridges.” – 289 p.
6. Мосты и трубы, Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84, СП 35.13330 Приложение Е

УДК 624.1

Напряженно-деформированное состояние грунтового массива при разработке полезных ископаемых

***Маршкова Софья Андреевна**, студент кафедры «Горные работы»*
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Щербо А. Д., преподаватель-стажёр
кафедры «Мосты и тоннели»

Границы карьера предопределены границами земельных участков согласованного к разработке, контурами подсчета запасов месторождения, границами полученного горного отвода.

Борта карьера в плане имеют смешанное заложение, по отношению к контуру подсчета балансовых запасов и внутреннее по отношению к границам согласованных земельных участков, а также к горному отводу. По глубине карьера его границы проходят по контуру подсчета балансовых запасов и горному отводу.

Плодородный слой снимается с разрабатываемого участка карьерного поля и площадей, на которых предусматривается располагать отвалы вскрышных пород. Плодородный грунт складируется в отвалы вдоль границы земельного отвода. В последующем он будет использован при рекультивации карьера.

Вскрышные породы сначала складируются в расположенный в южной части карьерного поля пионерный отвал, а затем во внутренние отвалы вдоль бортов карьера. С этой целью на нижнюю площадку добычного уступа проводятся временные съезды, положение которых по мере развития добычных работ будет меняться.

Полезное ископаемое месторождение представлено глинами и суглинками низкодисперсными, умереннопластичными, реже малопластичными.

Оценка качества и нормирование химического состава проводилась как по линии полезной части – SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 и CaO, так и по линии вредных примесей – MgO, SO_3, K_2O+Na_2O; TiO_2, P_2O_5. Содержание SiO_2 в глинистом сырье изменяется от 49, 85 до 67,65%. Содержание Al_2O_3 изменяется от 8,40 до 13,4%. Содержание CaO составляет 5,23-10,58%. Содержание Fe_2O_3 изменяется от 3,33% до 5,44%. Содержание оксидов вредных примесей в глине не превышают допустимых.

В ходе выполнения работ разработку месторождения обычно предусматривается вести двумя уступами: одним вскрышным и одним добычным уступом (в соответствии с условиями залегания полезного

ископаемого), а также глубиной черпания экскаватора, принятого для производства добычных работ.

Углы откоса уступов обычно принимаются с учетом типа используемого в работе горного оборудования и свойств разрабатываемых пород. Для добычного уступа: рабочий – 60°, нерабочий – 33°. Для вскрышного уступа: рабочий – 50°, нерабочий (устойчивый) – 33°. При погашении уступов на конечном контуре угол откоса добычного уступа не должен превышать 33°, вскрышного 28°.

Со временем отвалы достигают предельной высотной отметки и не эксплуатируются. Природно-климатические факторы оказывают свое воздействие насыщают его влагой и на поверхности начинают образовывается оползни и обвалы, что негативно влияет на безопасность разработки месторождения. Выполнен расчет поперечного сечения месторождения с учетом расположенных вблизи отвалов, рассмотрев изменение влажности породы. Результаты напряженно-деформированного состояния грунтового массива приведены на рисунке 1.

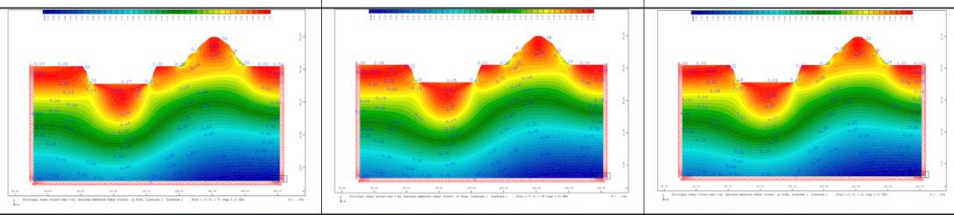
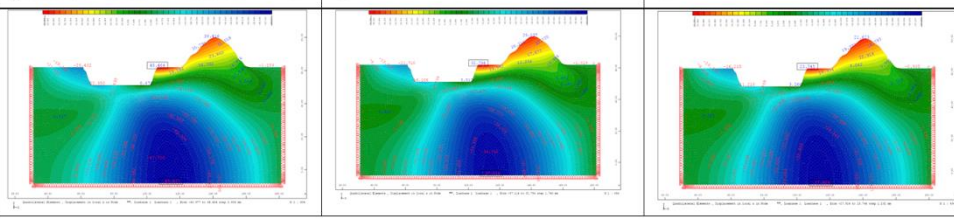
	Изменение влажности грунтового основания		
	0	+10%	+20%
Напряжения			
Перемещения			

Рисунок 1 – Напряженно-деформированного состояния грунтового массива
Примечание – Источник: собственная разработка

Выполнен анализ изменения напряженно-деформированного состояния грунтового массива при изменении его влажности с учетом стадийности выполнения работ по разработке месторождения полезных ископаемых.

Литература:

1. Винников, Ю. Л. Моделирование напряженно-деформированного состояния системы «реконструируемое здание – фундаменты – основание» / Ю. Л. Винников, А. В. Суходуб, О. В. Кичаева // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2015. № 2. С. 50–63.

2. Булычев, Н. С. Механика подземных сооружений в примерах и задачах / Н. С. Булычев. М.: Недра, 1989. 270 с.
3. Леган, А. Д. Интеллектуальные технологии в обследовании и проектировании мостов / А. Д. Леган, Е. А. Мойсейчик, Е. Н. Савина // Автомобильные дороги и мосты. – 2025. – № 1 (35). – С. 71–78.
4. Савина, Е. Н. Социальные и технические аспекты применения БПЛА и облака точек на примере транспортного сооружения при создании BIM-модели / Е. Н. Савина, Е. А. Мойсейчик, А. А. Яковлев // Автомобильные дороги и мосты. – 2025. – № 1 (35). – С. 48–57.

УДК 624.21 (004)

Перспективы цифровизации строительной отрасли на примере ПО «Кремний»

Руснак Тарас Александрович, *студент 1 курса*
кафедры «Программное обеспечение информационных систем и технологий»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Савина Е.Н., инженер кафедры «Мосты и тоннели»

Автоматизация процессов проектирования и графического отображения данных является актуальной задачей уже длительный промежуток времени. Внедрение современных алгоритмов и применение ИИ-агентов позволяет оптимизировать затрачиваемое время для изготовления сайта. Разработана оболочка и присвоено название «Кремний» – являющейся гибридной CMS с элементами CRM, позволяющая создавать свой шаблон сайта с последующей возможностью ее редактирования, имеющую модульную систему. Интерфейс программы представлен на рисунке 1.

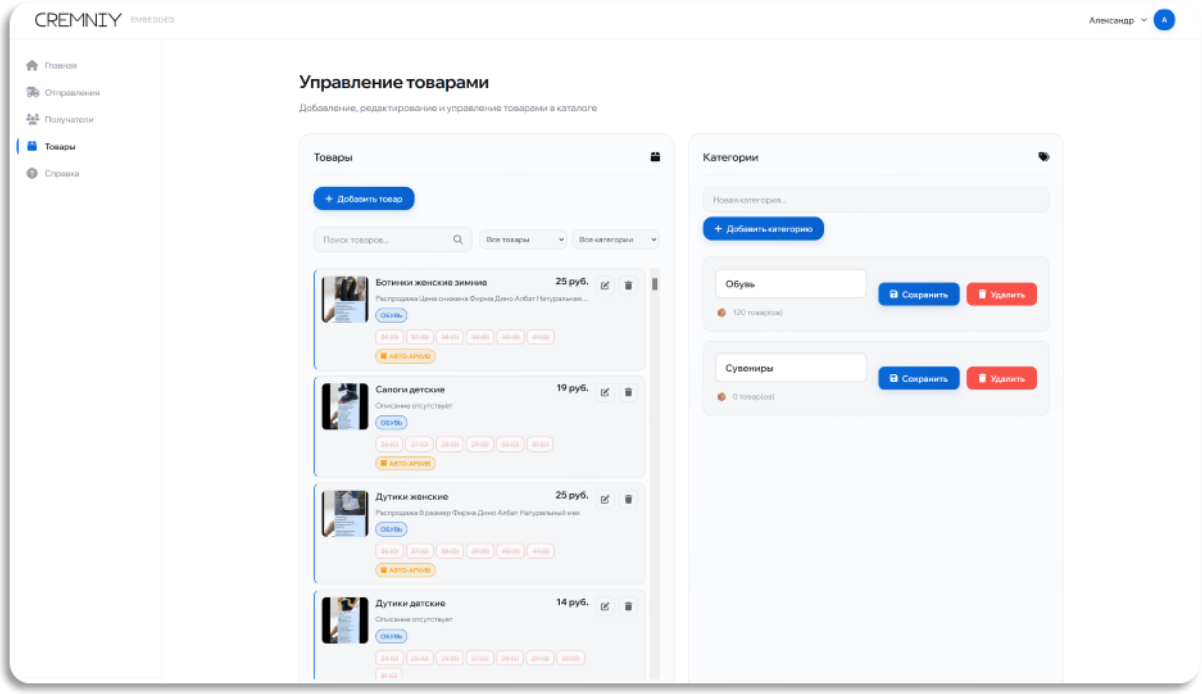


Рисунок 1 – Интерфейс разработанного программного обеспечения
Примечание – Источник: собственная разработка

«Кремний» – это ядро, вокруг которого имеется возможность применять различные многофункциональные KPKG-модули. Такая концепция в составе с современной архитектурой программирования, позволяет эффективно, надежно

и безопасно управлять, администрировать и масштабировать проект под любые задачи, исключая дорогие и сложные «PHP» и «Ruby» – специально созданные для Интернета языки программирования (HTML, CSS, JS). Использование данного технического решения обеспечивает экономию материальных и вычислительных ресурсов за счет внедрения принципа "COPILOT" (человек + модель искусственного интеллекта). Изучение системы не занимает много времени за счет простоты интерфейса, разработанного с учетом пожеланий и правок простых людей.

«Кремний» разработан для использования как физических, так и юридических лиц и имеет следующие варианты: «Embedded» (для корпоративного сегмента) и «Standart» (для обычных пользователей).

Данный программный комплекс был апробирован на простых сайтах-лэндинги для туристических агентств («Кремний» обеспечил управление отображением туров и организовал приемом заявок). Сайт «ПулЗнаний» – «Кремний» позволил строить аккаунты с определенными правами, которые имеют/не имеют доступ к определенным функциям сайта. Интернет-магазины, что позволило автоматизировать на 80% привычных ручных процессов. «Кремний» – позволяет интегрировать цифровую модель объекта, разработанную на основе BIM-технологий, на сайт и корректно отображать результаты работы с объектом как в дополненной, так и виртуальной реальности.

Литература:

1. Леган, А. Д. Интеллектуальные технологии в обследовании и проектировании мостов / А. Д. Леган, Е. А. Мойсейчик, Е. Н. Савина // Автомобильные дороги и мосты. – 2025. – № 1 (35). – С. 71–78.
2. Савина, Е. Н. Социальные и технические аспекты применения БПЛА и облака точек на примере транспортного сооружения при создании BIM-модели / Е. Н. Савина, Е. А. Мойсейчик, А. А. Яковлев // Автомобильные дороги и мосты. – 2025. – № 1 (35). – С. 48–57.

УДК 624.131

Тоннель, сооружаемый щитовым способом

***Адамович Даниил Александрович**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

В рамках научной работы требуется решить проблему больших пробок в городе Брест, Беларусь. Соответственно предложить пути решения проблемы. Мной было предложено концептуальное решение строительства сети из тоннелей под существующей застройкой. Конкретное место расположения представлено на Рис. 1.

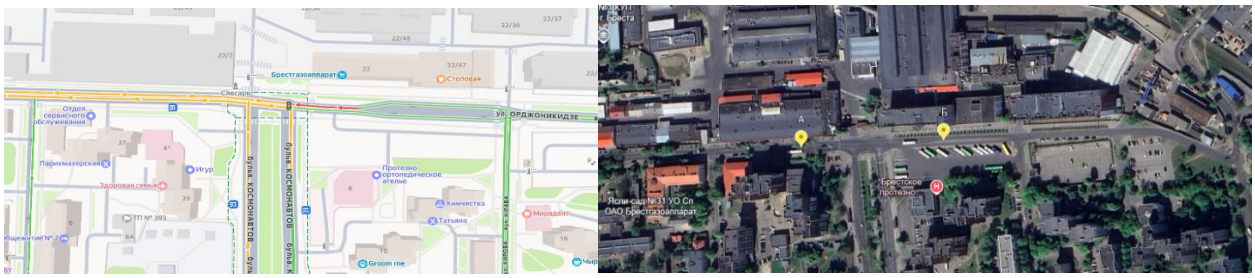


Рисунок 1 – Место расположения объекта

Сеть тоннелей представлена на Рис. 2. Также к туннелям я решил построить подземный паркинг, который представляет трехэтажное сооружение вместимостью до 400 автомобилей, что позволит разгрузить надземные парковки в близлежащих строениях и упростить парковку.

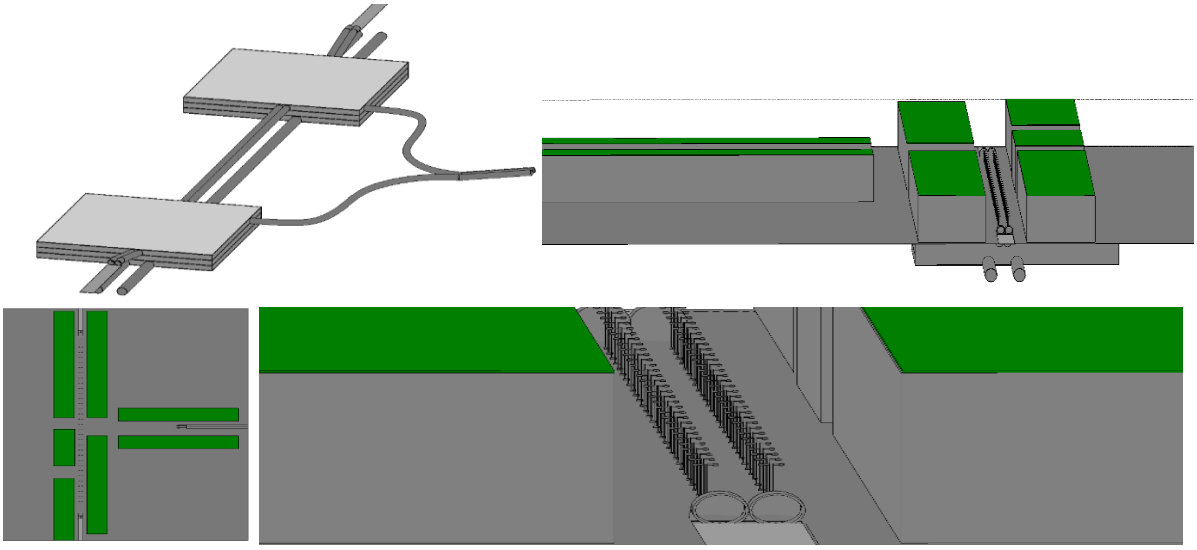


Рисунок 2 – Общий вид сооружения

Данную работу я выполнял в программном комплексе для автоматизированного проектирования (BIM) Revit, которая позволяет создавать 3D модели любых сооружений и любой сложности, досконально прорабатывать каждую деталь проекта.

Литература:

1. Информационный портал: Молодой ученый [Электронный ресурс]. – Режим доступа: (sc-os.ru) – Дата доступа: 11.12.2025.
2. Scos: Подземный эксперт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: (sc-os.ru) – Дата доступа: 11.12.2025.

УДК 624.131

Станция метрополитена мелкого заложения в городе Бресте на пересечении улиц Хорошая и Плохая

***Адамович Даниил Александрович**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

В данной научной работе требовалось разработать проектное решение новой станции метрополитена в городе Бресте, на пересечении улиц Орджоникидзе и Космонавтов. Мной было принято решение об использовании типовых железобетонных конструкций станции метрополитена. Данный проект был разработан в цифровой модели с применением BIM-технологий. Результаты представлены на рисунке 1 и рисунке 2.

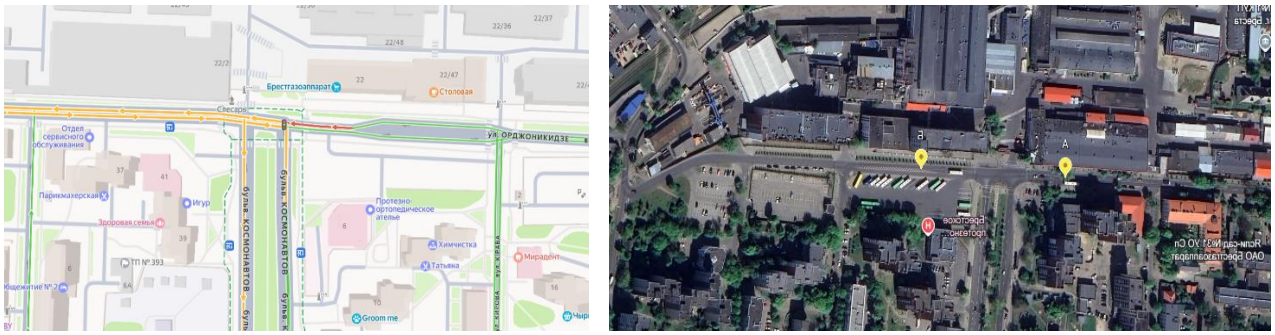


Рисунок 1 – Место расположения объекта

Станции метрополитена играют ключевую роль в системе общественного транспорта, обеспечивая эффективное и быстрое перемещение пассажиров в крупных городах. Данные сооружения позволяют разгрузить дороги общего пользования, следовательно снижают выброс загрязняющих веществ в атмосферу тем самым спасая экологию Земли.

Основными функциями станций метрополитена являются быстрое, комфортное передвижение пассажиров из одной части города в другую. Данное метро находится на глубине 6 метров, такие станции называют мелкого заложения. Позволяя сократить затраты на строительство, а также время возведения данного сооружения, однако данные станции более подвержены внешним воздействиям (Рис. 2).

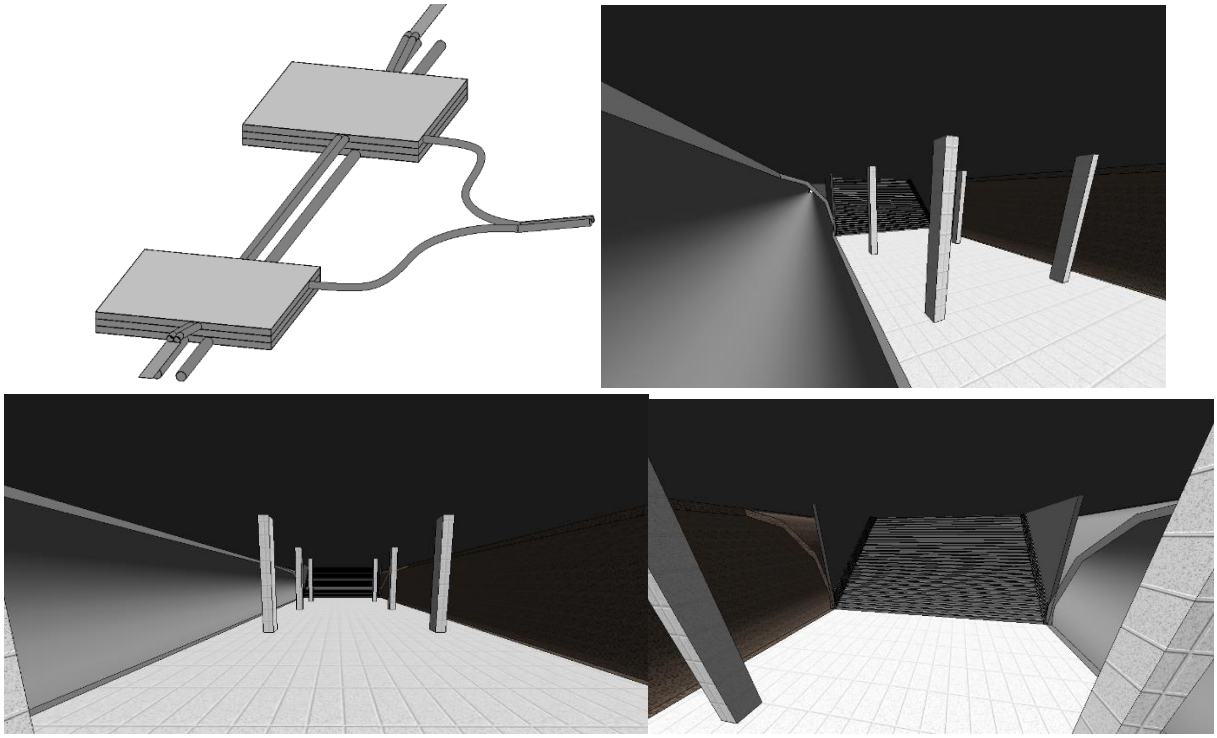


Рисунок 2 – Общий вид сооружения

Станции метрополитена представляют из себя сложные много функциональные объекты, которые не только обеспечивают транспортную доступность, так же особое влияние на стиль и качество жизни в городе. Их проектирование и эксплуатация требует большого профессионализма, внимательного подхода ко всем деталям, чтобы создавать комфортные и безопасные перевозки пассажиров.

Литература:

1. «Большая Российская энциклопедия: Железнодорожный тоннель». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: (bigenc.ru) 15.12.2025.
2. «Scos: Новые технологии в строительстве тоннелей». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: (sc-os.ru) 15.12.2025.

УДК 624.19

Подземная транспортная развязка, совмещенная со станцией метрополитена и многофункциональным комплексом (г. Брест)

***Андрейчик Ярослав Александрович**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Предлагаемый проект предусматривает создание подземной транспортной развязки, интегрированной со станцией метрополитена и крупным многофункциональным комплексом (Рис.1). Основная цель – существенно разгрузить центральные улицы Бреста от автомобильного трафика. В данной работе рассматривается проект транспортной развязки на загруженном пересечении ул. 28 Июля и ул. Московская, тем самым стимулируя людей переходить к передвижению пешком и использованию метро внутри города.



Рисунок 1 – Генеральный план

Строительство комплекса предоставит возможность сделать центр города Бреста более комфортным для прогулок и снизить загрязнения решив вопрос с логистикой внутри города. По итогу многофункциональный комплекс поспособствует экономическому росту за счёт привлекательности Бреста как современного и удобного города.

Пересечение ул. 28 Июля и ул. Московская располагается в черте города, и зачастую там образуются пробки. Это вызывает потери времени, повышенный расход топлива, рост выбросов и снижение общей мобильности населения. Текущая наземная инфраструктура не справляется с увеличивающимся потоком транспорта, что негативно влияет на качество жизни и экономику региона.

Проект предлагает новое в Республике решение: перенос части автодорожного трафика под землю с использованием подземной транспортной

развязки (Рис.2), которая позволит оптимизировать потоки автомобилей. Главный элемент – обширные парковки в многофункциональном комплексе. Данный комплекс также будет оснащён офисами, торговыми зонами, прокатом велосипедов, фуд-корт и другими объектами. Водители автомобилей смогут оставлять машины на длительное время. Это замотивирует людей пересаживаться на метро, передвигаться пешком или на велосипедах. Тем самым количество автомобилей на поверхности будет снижаться, делая город более экологичным и тихим.

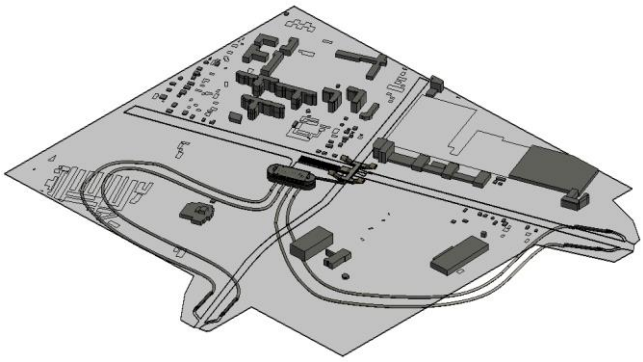


Рисунок 2 – Общий вид транспортной развязки с привязкой к городской ситуации

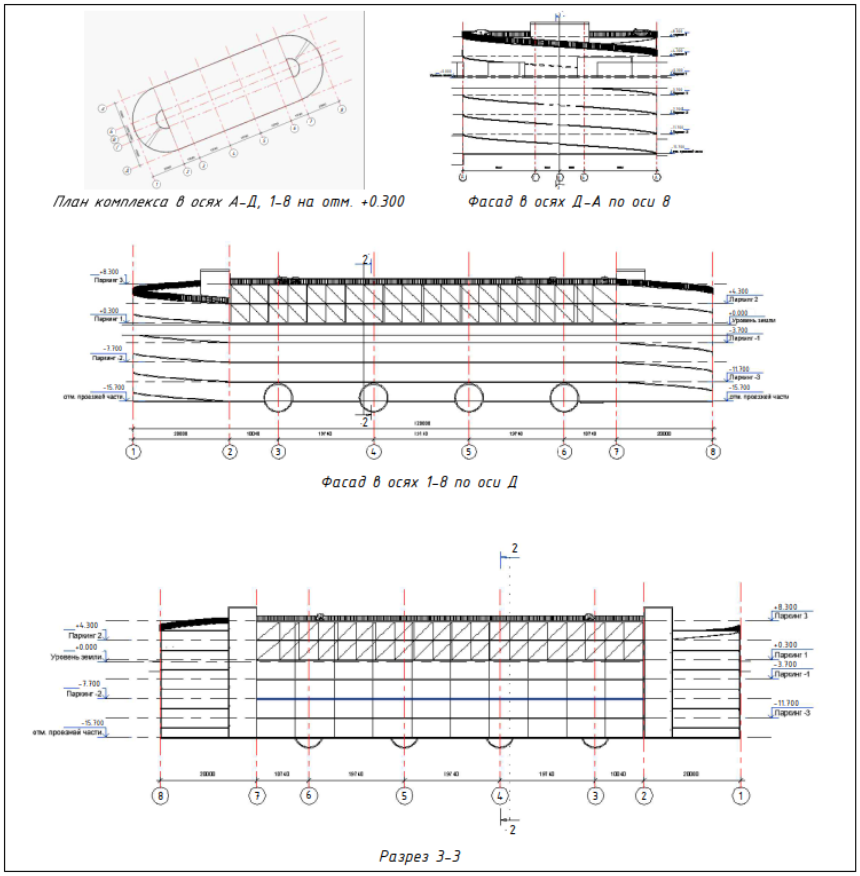


Рисунок 3 – Архитектурно планировочные решения

Для автоматизации расчета подземного сооружения был выбран расчетный комплекс SOFiSTiK.

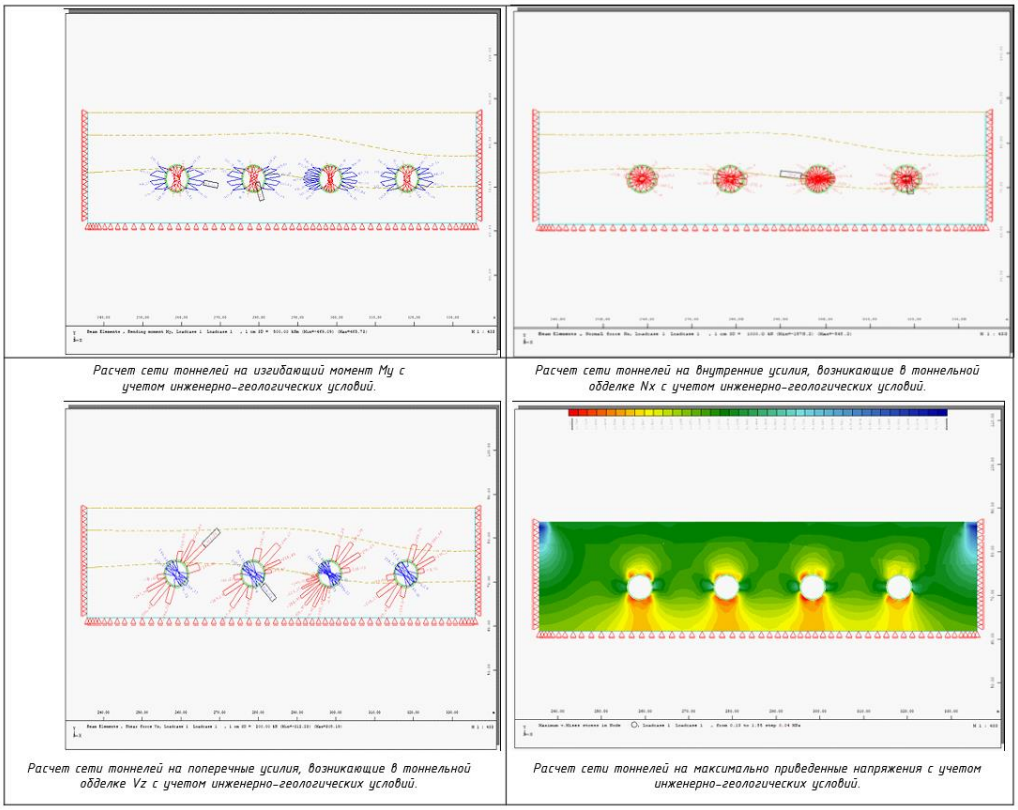


Рисунок 4 – Результаты расчетов

Реализация проекта станет первым шагом для развития полноценной системы брестского метрополитена и подземной инфраструктуры в целом. В городе Бресте также можно рассматривать строительство дополнительных тоннелей вплоть до создания кольцевой линии метро.

Литература:

1. Колокова Н.М., Копац Л.М., Файнштейн И.С. «Искусственные сооружения». М., Маковский Л.В. «Проектирование автодорожных и городских тоннелей». М., Транспорт, 1993 г.
2. Волков В.А., Наумов С.Н., Пирожкова А.Н., «Тоннели и метрополитены»

УДК 624.19

Станция метрополитена мелкого заложения

***Андрейчик Ярослав Александрович**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Предлагаемый проект предусматривает возведение станции метрополитена мелкого заложения с целью разгрузки наземного общественного транспорта в г. Бресте. Внедрение подобного решения позволит значительно сократить время поездок и повысит привлекательность города для проживания и туризма.

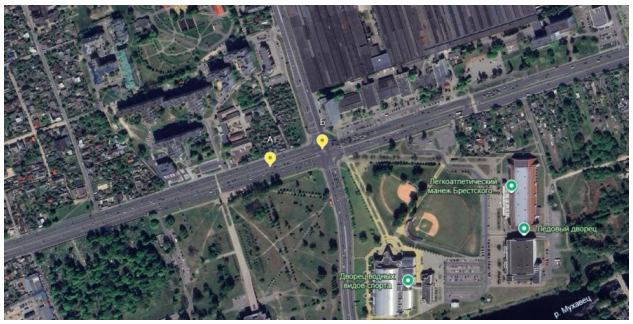


Рисунок 1 – Генеральный план

Брест является крупным городом на юго-западе Беларуси с населением свыше 346 тысяч жителей и выступает важным транспортным узлом и туристическим центром на границе с Польшей. В часы пик общественный транспорт часто переполнен, а на дорогах регулярно возникают заторы. Метрополитен в городе поможет решить эти проблемы, перераспределив часть пассажиропотока под землю. Кроме того, метрополитен обеспечит оперативное сообщение между жилыми кварталами, промышленными объектами, центральной частью города и Брестской крепостью.

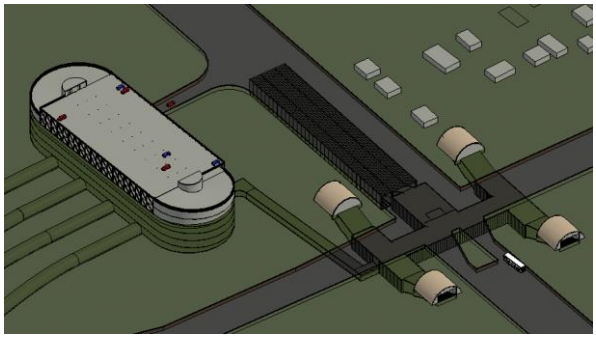


Рисунок 2 – Общий вид станции метрополитена с привязкой к городской ситуации

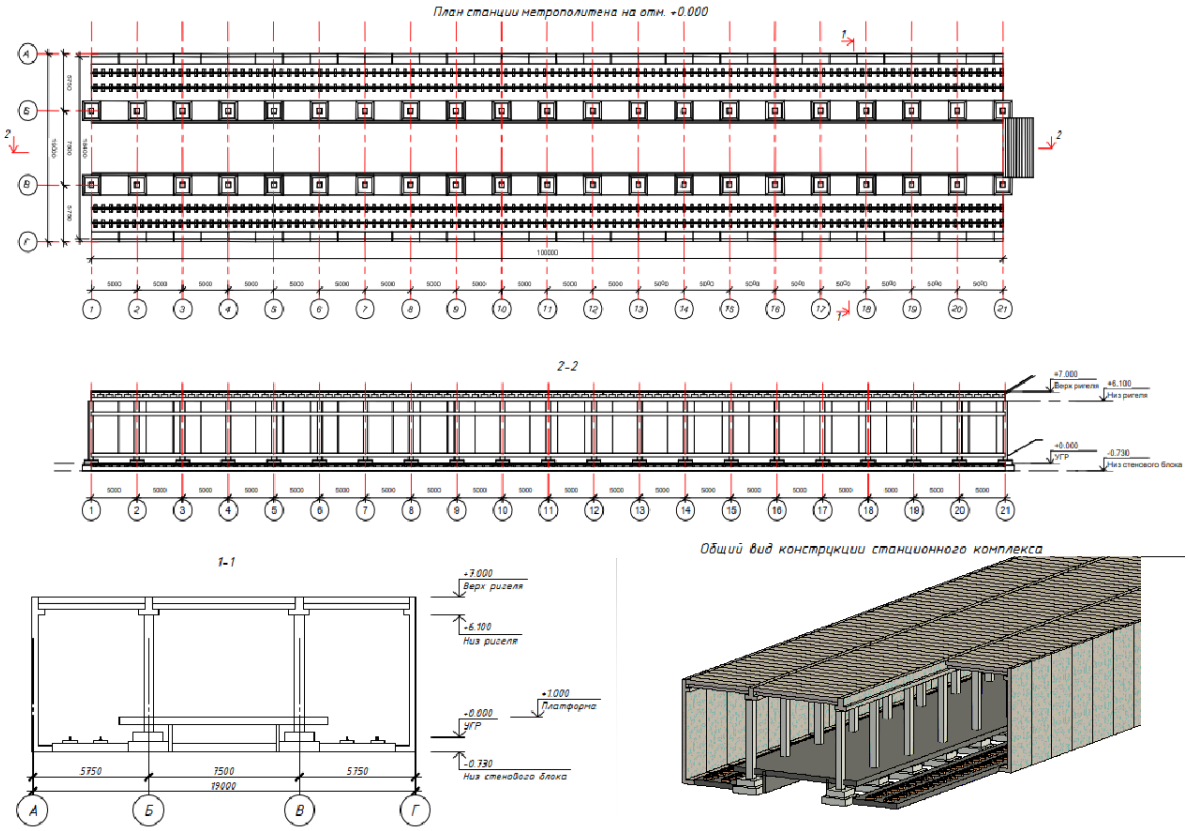
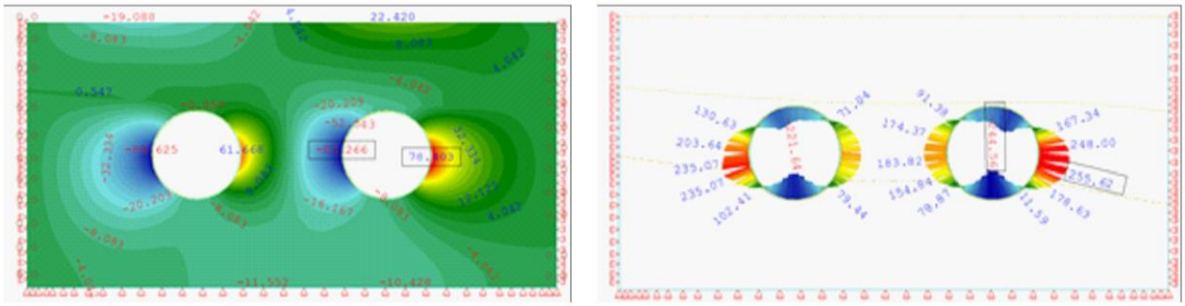


Рисунок 3 – Архитектурно планировочные решения

Для автоматизированного расчета конструкций подземного объекта был использован программный комплекс SOFiSTiK.



Расчёт сети тоннелей на максимально приведенные напряжения с учетом инженерно-геологических условий

Расчёт сети тоннелей на изгибающий момент My с учетом инженерно-геологических условий

Рисунок 4 – Результаты расчетов

Внедрение данного проекта послужит первым шагом к формированию полноценной системы брестского метрополитена. Это существенно повысит мобильность населения и укрепит позиции города как западных ворот Беларуси.

Литература:

1. Колокова Н.М., Копац Л.М., Файнштейн И.С. «Искусственные сооружения». М., Маковский Л.В. «Проектирование автодорожных и городских тоннелей». М., Транспорт, 1993 г.
2. Волков В.А., Наумов С.Н., Пирожкова А.Н., «Тоннели и метрополитены».

УДК 656.1

Современные нагрузки на железные дороги

***Бакей Никита Константинович**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Современные железные дороги функционируют в условиях постоянного роста массы перевозимых грузов, что напрямую отражается на величине расчётных транспортных нагрузок, учитываемых при проектировании и модернизации верхнего строения пути. Расчётная нагрузка — это совокупность вертикальных, горизонтальных и динамических воздействий, создаваемых колёсными парами подвижного состава на рельсы, шпалы, балласт и основание. Наибольшее значение при определении несущей способности пути имеет осевая нагрузка, то есть масса, приходящаяся на одну ось вагона или локомотива.

Традиционным стандартом для большинства направлений оставалась осевая нагрузка 22,5 т на ось, характерная для четырехосных грузовых вагонов с двухосными тележками. Однако развитие тяжеловесного движения привело к постепенному переходу к увеличенным нагрузкам — 25 т, 27 т, а на ряде специализированных участков применяются нагрузки до 30 т на ось. Каждое повышение осевой нагрузки требует соответствующего усиления конструктивных элементов пути: применения более тяжёлых профилей рельсов (Р65, Р75), высокопрочных железобетонных шпал, упругих и клеммных скреплений, а также улучшенных балластных материалов с повышенной устойчивостью к измельчению.



Рисунок 1 – Этапы разработки исполнений тележки

Не менее важна и конфигурация осей, поскольку путь воспринимает нагрузку не только величиной, но и характером её распределения. Наиболее распространённой остаётся схема четырёхосного вагона с двумя двухосными тележками. Внутритележечное расстояние между осями составляет обычно около 1,8–2,0 м, а расстояние между тележками — 7,5–9 м в зависимости от типа грузового вагона. Такая схема обеспечивает относительную равномерность нагружения пути и допустимые значения динамических воздействий.

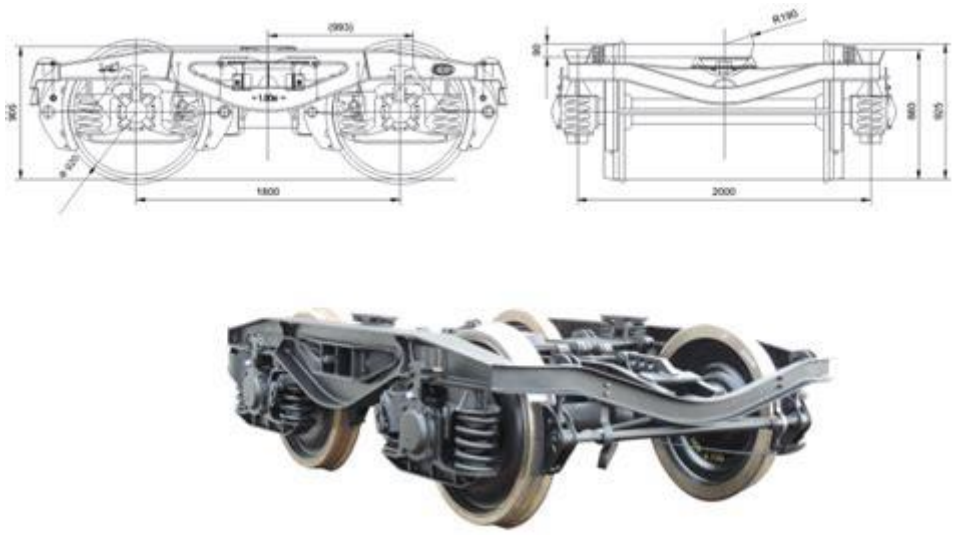


Рисунок 2 – Двухосная тележка грузового вагона

В условиях тяжеловесного движения используются также шестиосные вагоны, где масса распределяется на три оси в каждой тележке. Это позволяет значительно увеличивать массу брутто состава при сохранении допустимых нагрузок на каждую ось. Впрочем, такая схема предъявляет повышенные требования к прочности элементов пути, особенно на участках с горизонтальными кривыми, где возрастают поперечные силы и износ рельсов.

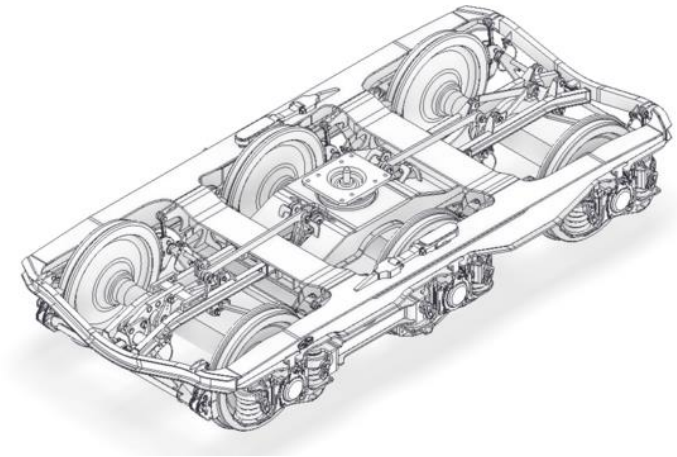


Рисунок 3 – Трёхосная тележка грузового вагона

Для инженерных расчётов применяются стандартные нагрузочные схемы, описывающие упрощённую модель расположения колёсных пар и величины передаваемых нагрузок. Эти схемы учитывают помимо статической массы также динамическое воздействие, возникающее при неровностях пути, торможении, разгоне и прохождении стрелочных переводов. В современных нормативных документах уделяется внимание также дополнительным горизонтальным нагрузкам, связанным с взаимодействием колёсной пары и рельса в кривых малого радиуса.

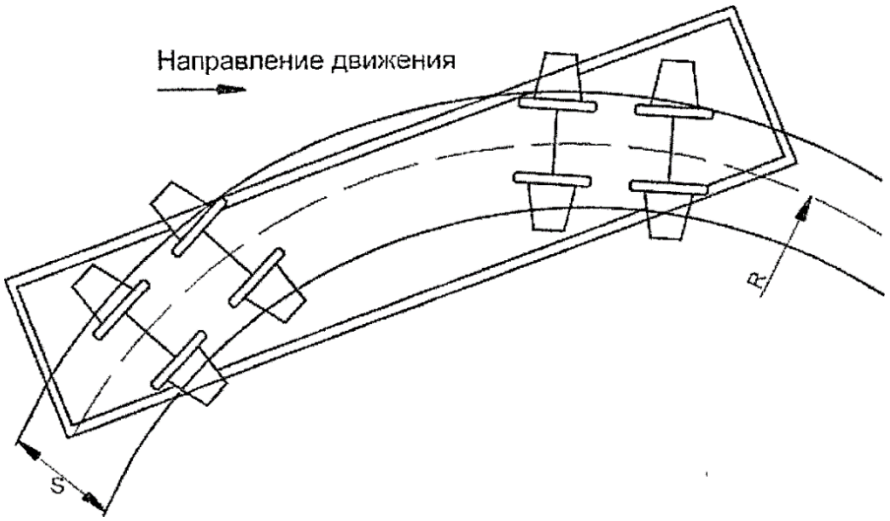


Рисунок 4 – Геометрическая схема вписывания тележки в кривую: смещение осей и корпуса вагона, создающее боковые силы на рельсы

Современные транспортные нагрузки на железных дорогах характеризуются ростом осевых нагрузок, усложнением тележечных схем и повышением требований к прочности элементов пути, что требует совершенствования рельсов, шпал, балласта и точного расчёта взаимодействия железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава.

Литература:

1. ГОСТ Р 55050-2012 (нормы допустимого воздействия на путь) – URL: https://meganorm.ru/Data2/1/4293787/4293787514.htm.
2. Эффективность эксплуатации вагонов с повышенной осевой нагрузкой (Центр Транспортных Технологий) – URL: https://tt-center.ru/about-company/about-company/sector-news/effektivnost-ekspluataczii-vagonov-s-povyishennoj-osevoj-nagruzkoj.html.
3. СП 119.13330.2017 Железные дороги колеи 1520 мм (актуализированная редакция СНиП 32-01-95). URL: https://smetdlysmet.ru/snip/snip-32-01-95-zhdorogi-kolei-1520.pdf.

УДК 624.21

Стеклопластиковая арматура в строительстве

***Барановский Кирилл Александрович**, студент 3 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Развитие науки и технологий привели к созданию новых материалов, которые обладают совершенно уникальными свойствами. Они позволяют оптимизировать строительство: выполнить его качественно и с меньшими затратами. К их числу относится стеклопластиковая арматура, первые образцы которой появились в середине XX в. в Советском союзе. Композитный материал, в то время не получил массового распространения (Рис.1). Применение его на строительных площадках в некоторых случаях позволяет снизить итоговую себестоимость работ до 50% и повысить срок эксплуатации объекта.



Рисунок 1 – Стеклопластиковая арматура

Стеклопластиковая арматура представляет собой ребристый стержень, изготовленный из стеклянных волокон. Максимальной длина армирующего средства, имеющего спиралеобразный профиль, может достигать 12 метров. Арматура состоит из основного ствола, созданного из параллельных волокон, которые соединяются при помощи полимерной смолы. Внешний слой имеет вид волокнистого тела, накрученного вокруг ствола, поверхность которого делается ребристой, что улучшает сцепление с бетоном, фибробетоном и полимером.

Стеклопластиковая арматура используется в: мостостроении, для укрепления насыпей и откосов в дорожном строительстве, для армирования

бетонных конструкций при строительстве промышленных и гражданских жилых зданий, укреплении линии речного и морского побережья, в усилении опор и пролётных строений мостовых конструкций, возведении небоскрёбов с высокой сейсмической устойчивостью. Применение стеклоэластиковой арматуры является рациональным в случаях, когда её специфические характеристики оказываются эффективнее аналогов.

Стеклопластиковая арматура обладает рядом преимуществ над стальной: сравнительно небольшим весом (в 9 раз меньше стали), устойчива к коррозии (в некоторых случаях до 10 раз выше антикоррозийная устойчивость в сравнении со стальными изделиями), низкая теплопроводность, является диэлектриком, доступная стоимость.

Композиционный материал, не смотря на свои достоинства, широкого применения в строительстве не получил. К существенным недостаткам стеклопластиковой арматуры относят: недостаточную термостойкость, невысокий модуль упругости при растяжении (не используют в балках межэтажных перекрытий), невозможность сгибания под углом в 90 градусов, снижение прочности арматуры при длительной эксплуатации.

Однако применение этого вида арматуры целесообразно в ряде случаев, когда металлическая не удовлетворяет требованиям проекта. Композиционный материал все чаще используется при строительстве частных домов с небольшими нагрузками.

Возможно развитие современных технологий строительства позволит устранить недостатки использования стеклопластиковой арматуры, что приведёт к более широкому её применению.

Литература:

1. Arsvest [Электронный ресурс]. – URL: www.arsvest.ru (Дата обращения: 06.12.2025).

УДК 69.07

Аквапарк «Питерлэнд»

***Барановский Кирилл Александрович**, студент 3 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Аквапарк «Питерлэнд» открыл свои двери для посетителей летом 2012 года. Расположен комплекс на берегу Финского залива в Приморском районе города Санкт-Петербурга (Рис.1). Спроектировал комплекс в начале 2000-х годов архитектор Евгений Подгорный по заказу компании «Стремберг». Строительство было начато в 2005 году, но экономический кризис 2008 года внёс свои коррективы в проект и сроки его сдачи. Около двух лет стройка не велась.



Рисунок 1 – Аквапарк «Питерлэнд»

Площадь крупнейшего аквапарка в России составляет 25 тысяч квадратных метров. Объём инвестиций в проект составил 320 млн долларов.

Уникальным комплекс делает купол, которым он накрыт. Его разработали в Центральном научно-исследовательском институте строительных конструкции им. В.А. Кучеренко, г. Москва. Изначально проект предполагал строительство купола в бетоне, заем в металле, но выбор был сделан в пользу более лёгкого природного материала – дерева. На сегодняшний день купол аквапарка является

самой большой из клееных деревянных конструкций в России. Он собран из 60 формообразующих ферм, объединённых между собой поперечными связями. Купол поднимается на высоту 43 метра, имеет диаметр 90 м (Рис. 2). Купол покрыт негорючей сверхпрочной трёхслойной тефлоновой плёнкой, которая не накапливает пыль, снег и воду, зато пропускает ультрафиолетовый свет. В случае возгорания вся конструкция может выдержать огонь более часа не обрушившись.



Рисунок 2 – Вид купола изнутри здания

Купол рассчитан на любую погоду: мороз, жару, штормовой ветер. В период, когда строительство остановилось, он прошёл проверку сильным питерским холодом, штормовыми ветрами Финского залива и аномально высокой летней температурой для Санкт-Петербурга.

Отличительной особенностью строения, является то, что купол имеет форму гигантской беседки, так ка его фермы доходят почти до земли. Деревянная конструкция «парит» над огромным внутренним пространством. Конструкция купала представляет из себя уникальные инженерное сооружения, которая может стать новой визитной карточкой города Санкт - Петербурга и отечественной инженерной школы.

Литература:

1. Asninfo [Электронный ресурс]. – URL: https://m.asninfo.ru/articles/1610-torgovyy-gigant-na-poberezhye (Дата обращения: 14.12.2025).

УДК 624.19

Автомобильный тоннель Субьяко-Ливата

***Бахмач Кирилл Романович**, студент 4 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулаго Ю.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

Тоннель Субьяко-Ливата проходит под горным массивом в центральной части Италии и соединяет район города Субьяко с городом Ливата. Сооружение имеет протяжённость около 3,8 км и обеспечивает прямую и всесезонную связь между населёнными пунктами, минуя извилистые серпантины горной дороги. Ширина проезжей части составляет 7м, что позволяет организовать две полосы движения. Высота тоннеля 5,4 м обеспечивает проход легкового и грузового транспорта, а также туристических автобусов, обслуживающих горный курорт.

Портал со стороны Субьяко расположен у подножия склона, где дорога постепенно уходит в толщу массива Монте-Ливата. На противоположной стороне, в районе Ливата, тоннель выходит в более открытое горное пространство, которое используется как рекреационная и курортная зона. По правую сторону от тоннеля расположен санаторий, ориентированный на приём туристов и отдыхающих, прибывающих в горы для лечения и восстановления. По левую сторону устроен небольшой парк с прогулочными дорожками и озеленением, который служит местом отдыха для жителей и гостей, предлагая красивый вид на горы.

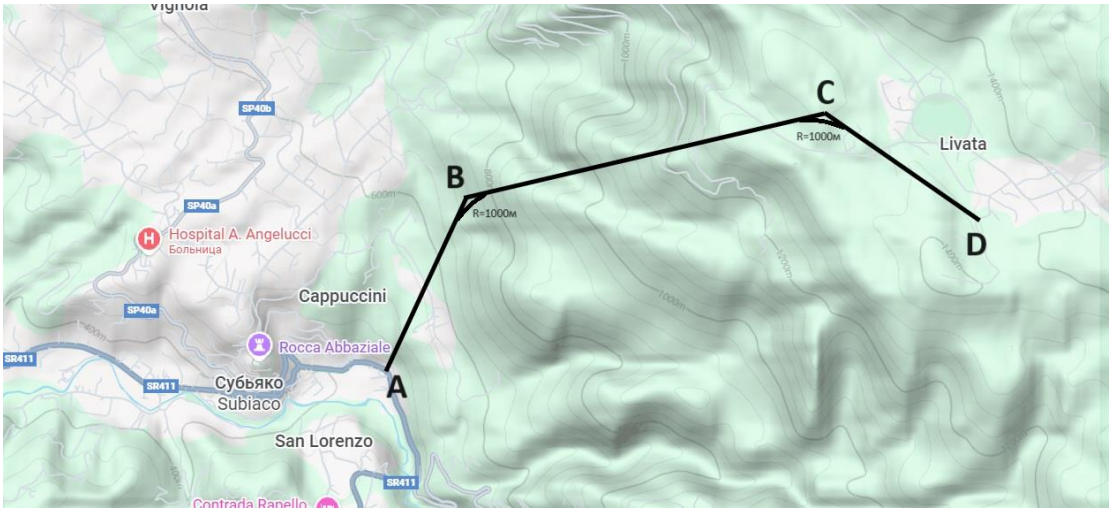


Рисунок 1 – Расположение автомобильного тоннеля на карте



Рисунок 2 – Общий вид 3D модели автодорожного тоннеля

Литература:

1. Маковский Л.В. Проектирование автодорожных и городских тоннелей / Л.В. Маковский, , Н.А. Сула. Москва: Кнорус, 2022. – 534 с.
2. Пастушков Г.П. Проектирование тоннелей, сооружаемых горным способом: учеб.-метод. пособие / Г.П. Пастушков. В.А. Кузьмицкий, В.Г. Пастушков, В.Ю. Олляк, Д.В. Кузьмицкий. Минск: БНТУ, 2005. – 96 с.

УДК 624.19

Автомобильный тоннель Суродая – Мирик

***Бегунов Глеб Витальевич**, студент 4 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулаго Ю.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

Для реализации проекта автомобильного тоннеля были выбраны города-Суродая, Непал и Мирик, Индия. Данный проект может стать важным элементом дорожной сети, который разгрузит существующую дорогу и повысит транспортную доступность (Рис. 1).

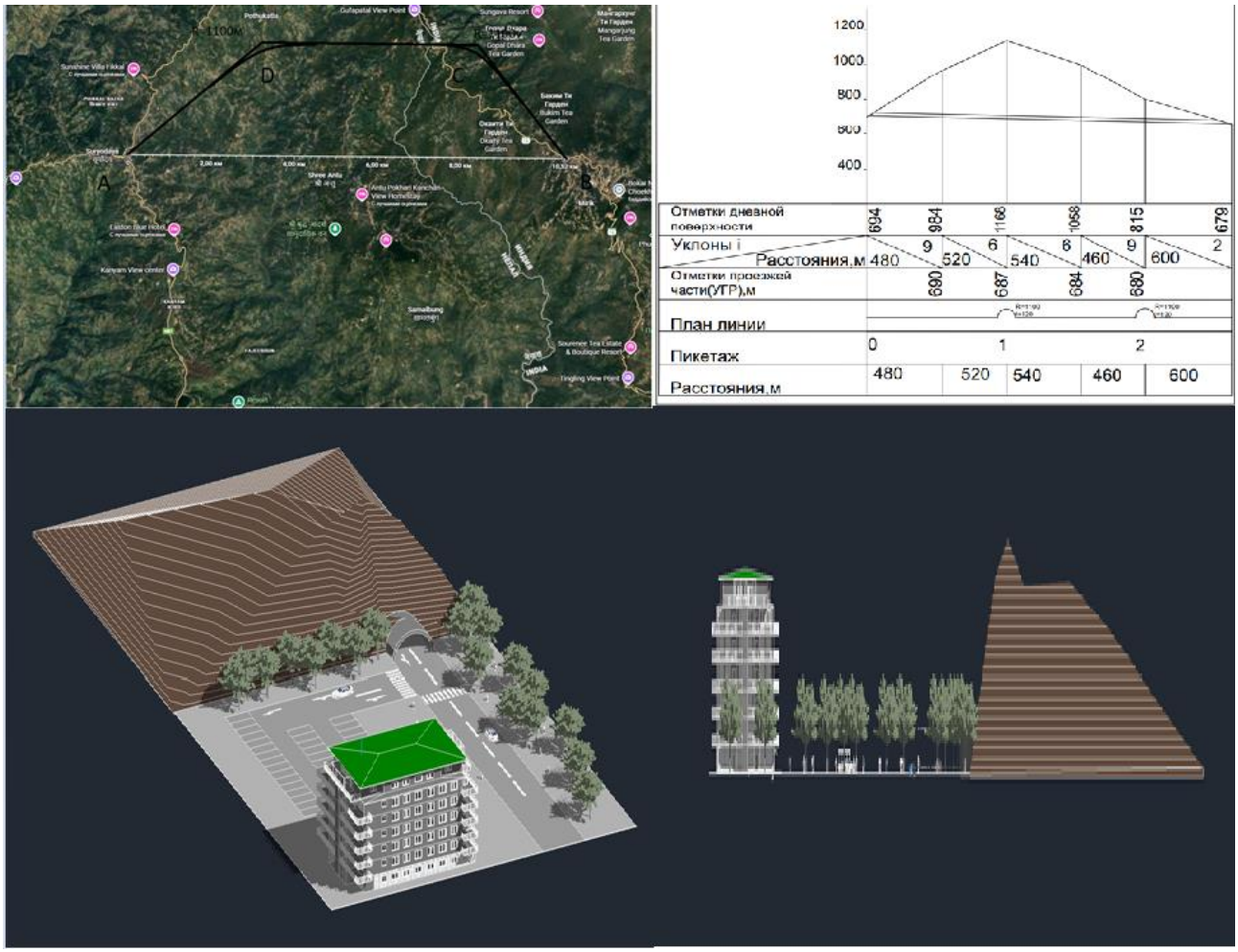


Рисунок 1 – Расположение автомобильного тоннеля на карте, продольный профиль участка автомобильного тоннеля, общий вид 3D модели, фасад

Длина данного горного тоннеля равна 10520 метров, глубина заложения тоннеля равна 150м, радиусы поворота трассы R=1100м. При возведении тоннеля была использована чугуна обделка диаметром 15 м. В данном тоннеле присутствуют системы пожаротушения, системы видеонаблюдения.

Этот тоннель послужит достойной заменой основной дороге, а также на въезде в тоннель со стороны г. Суродая был возведен Мотель, в который может вместиться до 20 полных семей, а также парковка на 25 парковочных мест.

Литература:

1. Маковский Л.В. Проектирование автодорожных и городских тоннелей / Л.В. Маковский, В.В. Кравченко, Н.А. Сула. Москва: Кнорус, 2022. – 534с.
2. Пастушков Г.П. Проектирование тоннелей, сооружаемых горным способом: учеб.-метод. пособие / Г.П. Пастушков. В.А. Кузьмицкий, В.Г. Пастушков, В.Ю. Олляк, Д.В. Кузьмицкий. Минск: БНТУ, 2005. – 96с.

УДК 624.9

Многофункциональный комплекс на 282 автомобильных парковочных места на Партизанском проспекте в г. Минске

***Бохан Фрол Денисович**, студент 3 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Савина Е.Н., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

На сегодняшний день появилась потребность в увеличении парковочных мест возле торговый центр «МОМО». Мной была разработана цифровая модель паркинга возле станции метро «Могилевская» в г. Минске, с применением BIM-технологий, что позволит дополнительно обеспечить 282 парковочных места. Общая площадь паркинга составляет 9624,6м2.

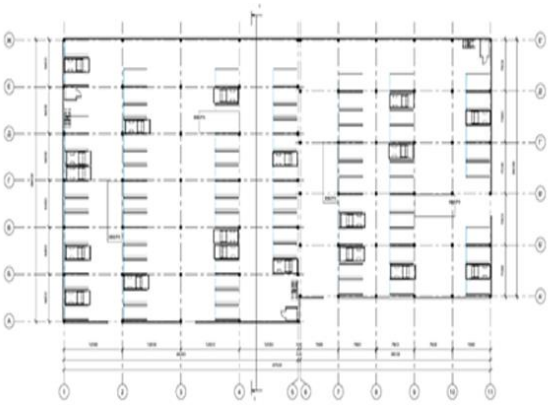


место расположения объекта общий вид сооружения

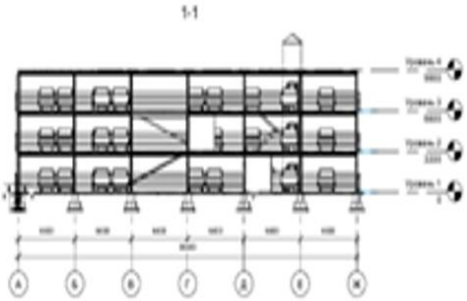
Рисунок 1 – Цифровая модель объекта с указанием места строительства

Объект имеет трехэтажное исполнение, с высотой этажа – 3,3 м, выполнен из отдельно стоящих двух блоков – А и Б. Общий вид сооружения представлен на рисунке 1. Конструктивная схема – каркасная из металлических конструкций. Балки и колонны сопряжены между собой шарнирно, а колонны с фундаментами – жёстко (Рис. 2). Цифровая модель сооружения выполнена в программе Autodesk Revit 2025

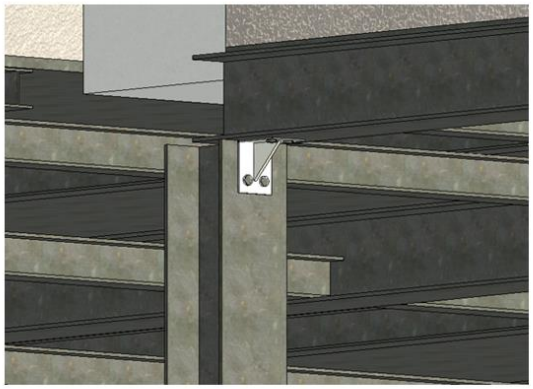
Технические решения (блок А): пролет главной балки – 12,0 м; шаг главной балки – 6,4 м; количество пролетов – 4; количество шагов – 6; пролет второстепенной балки – 6,4 м; шаг второстепенной балки – 2,0 м. Технические решения (блок Б): пролет главной балки – 7,8 м; шаг главной балки – 7,0 м; количество пролетов – 5; количество шагов – 5; пролет второстепенной балки – 7,0 м; шаг второстепенной балки – 2,6 м.



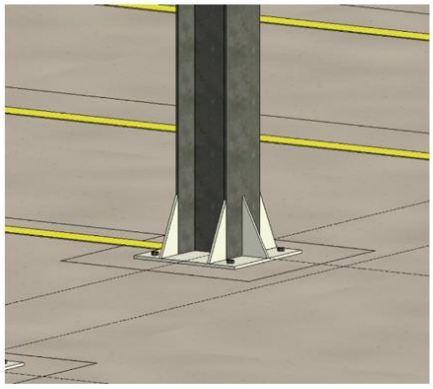
План сооружения на отм. +0.000



Разрез 1 – 1



Узел опирания балки на колонну



Узел опирания колонны

Рисунок 2 – Конструктивные решения здания паркинга

Несущие конструкции паркинга были рассчитаны с использованием комплекса «SCAD Office» (Рис. 3). Расчетная схема была загружена собственным весом конструкций (вычисляется автоматически), нагрузкой от автомобилей (5 кН) и снеговой нагрузкой (согласно действующих нормативных документов).

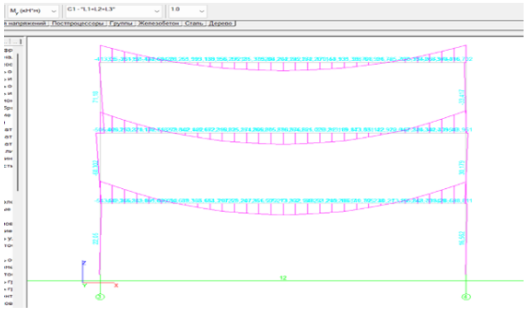
	№	Загружения	Тип загружения	Вид нагрузки	Коэффициент надежнос	Доля длительности	Нормативное загруже	Исключить из расчета
1	1	с/в	Постоянн	Вес мета	1,05	1		
2	2	автомобили	Длительн	Нагрузки	1,2	1		
3	3	снеговая	Кратковр	Полные с	1,4	0,5		

Нагрузки, используемые при расчете

Колонны	30К16
Главная балка 1	40Ш7
Плита перекрыт.	h=0.15
Второстепенная балка	35Ш3
Лестницы и пандусы	h=0.2
Главная балка 2	35Ш7

Принятые конструктивные решения

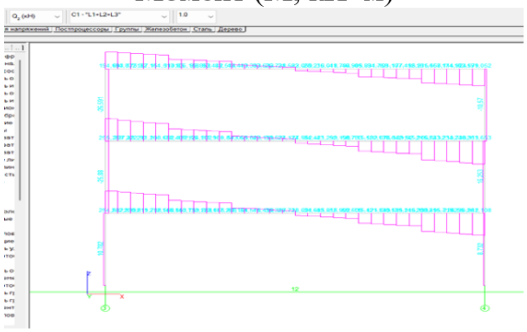
Рисунок 3 – Исходные данные для проекта



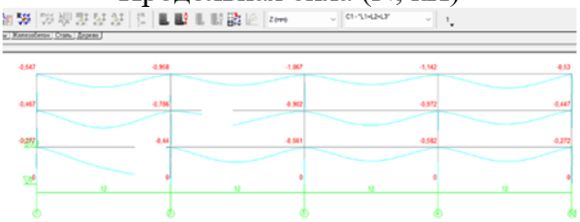
Момент (M, кН*м)



Продольная сила (N, кН)



Поперечная сила (Q, кН)



Перемещение узлов (Z, мм)

Рисунок 4 – Результаты расчета (блок А)

Была разработана цифровая модель объекта с применением BIM-технологий, выполнен экспорт конструктивных элементов в расчетный комплекс с последующим расчетом и анализом полученных результатов.

УДК 624.19

Виды опорных частей мостовых сооружений

***Брейво Александр Иванович**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Опорные части представляют собой конструкции, размещенные между пролетным строением и опорой, которые воспринимают и передают нагрузку на опоры, а также компенсируют различные деформации и небольшие перемещения пролетного строения.

Рассмотрим основные виды опорных частей, начнем с металлических конструкций. К ним относятся тангенциальные, катковые, скользящие, стаканные, сферические опоры. Их принцип действия основан на скольжении или перекатывании металлических частей. Данные конструкции способны воспринимать достаточно большие нагрузки и переносить значительные перемещения пролетного строения. Здесь же хочу упомянуть металлическую маятниковую опорную часть марки ММОЧ-К2 – это изолирующая сейсмозащитная опорная часть, представляющая собой изолятор-слайдер со сферической поверхностью, использующий гравитацию для возвращения в исходное положение после прекращения сейсмического воздействия. Маятниковая опорная состоит из нижнего элемента-слайдера, радиус кривизны которого определяет период колебаний, промежуточного скользящего балансира, нижняя часть которого соответствует поверхности скольжения нижней части, а верхняя часть соответствует поверхности скольжения верхнего вогнутого элемента-слайдера.

Рассмотрим резинометаллические опорные части, на примере опорной части марки РОЧС-К2 – это изолирующая сейсмозащитная опорная часть, представляющая собой изделие, состоящее из чередующихся слоев эластомера и стальных пластин, соединенных методом горячей вулканизации, снабженная одним или несколькими цилиндрическими свинцовыми сердечниками. За счет упругого сдвига резины и ее внецентренного обжатия РОЧС-К2 обеспечивают линейные и угловые перемещения пролетного строения. РОЧС-К2 имеют низкую горизонтальной жесткость при высоких вертикальной жесткости и способности рассеивания энергии (демпфирования). Свинцовый сердечник РОЧС-К2 при значительных деформациях в результате сейсмического

воздействия эффективно рассеивает энергию такого воздействия, в то время как армированный стальными пластинами эластомер обеспечивает высокую несущую способность и виброизоляцию, а также благодаря упругим свойствам резины возвращает сооружение в исходное положение после прекращения сейсмического воздействия.

Полимерные опорные части обладают повышенной стойкостью к агрессивным внешним воздействиям. Механические свойства данных опорных частей легко подобрать под конкретные цели, что дает положительный экономический эффект. Конструктивно они изготавливаются в виде армированных слоистых пакетов или монолитными элементами, как правило, в основном используют полиуретан и фторопласт, который осуществляет скольжение материалов за счет низкого коэффициента трения.

Опорные части мостов – это одна из важнейших составляющих, которая требует тщательного инженерного подхода и учета эксплуатационных условий. Современные разработки позволяют создавать более надежные и экономичные опорные конструкции, что способствует развитию мостостроения в целом.

Литература:

1. К2 Инжиниринг. Назначение опорных частей мостов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://k2-engineering.ru/news/naznachenie-opornykh-chastey-mostov// - Дата доступа: 17.12.2025.
2. Опорные части мостов: виды и назначение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://b-monitoring.ru/company/articles/opornye-chasti-mostov-vidy-i-naznachenie/ - Дата доступа: 17.12.2025.

УДК 624.19

Подземная транспортная развязка, расположенная в многофункциональном комплексе в г. Бресте на пересечении проспекта Машерова, бульвара Космонавтов и бульвара Шевченко

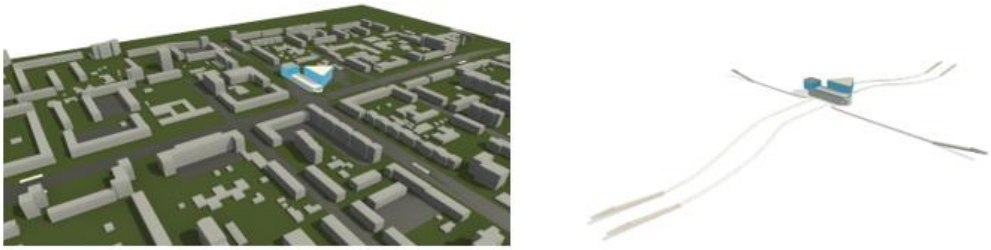
***Вайтюшенко Артём Петрович**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Пересечение проспекта Машерова, бульвара Космонавтов и бульвара Шевченко является одним из ключевых транспортных узлов Бреста. В условиях роста автомобилизации и статуса города как «западных ворот» Беларуси, существующая плоскостная развязка исчерпала свой ресурс.

Основной задачей было оптимизировать транспортные потоки в центральной части города, эффективно используя подземное пространство. Для этого использовался программный комплекс для автоматизированного проектирования «Revit», который основан на BIM технологиях.



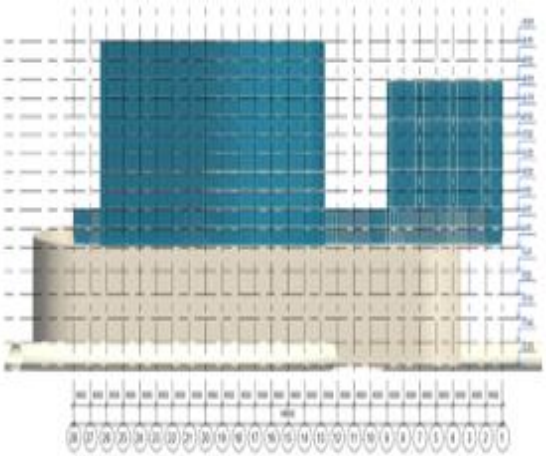
Рисунок 1 – План месторасположения проекта



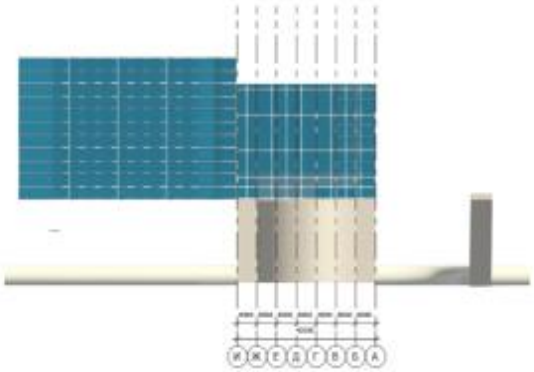
3D модель в Revit

Цифровая модель комплекса

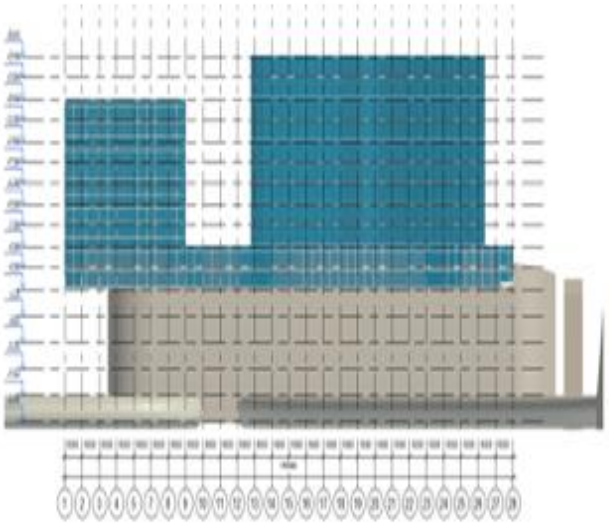
Рисунок 2 – Концепция формирования подземного станционного комплекса метрополитена с системой перегонных и пешеходных тоннелей



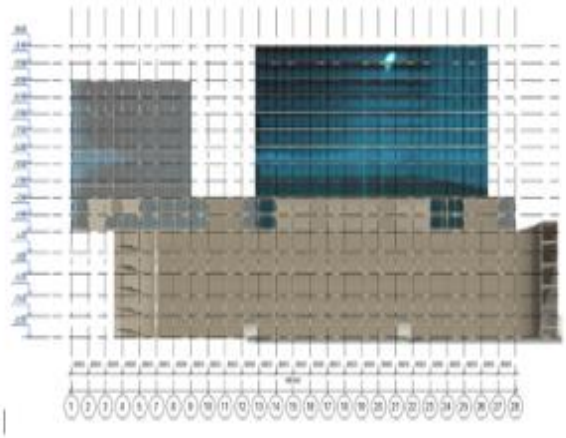
Фасад в осях 28-1 по оси И.



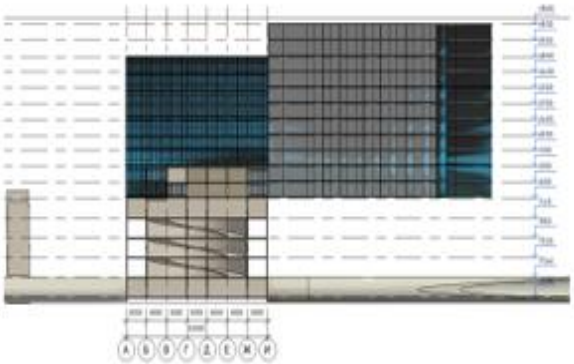
Фасад И-А по оси 28



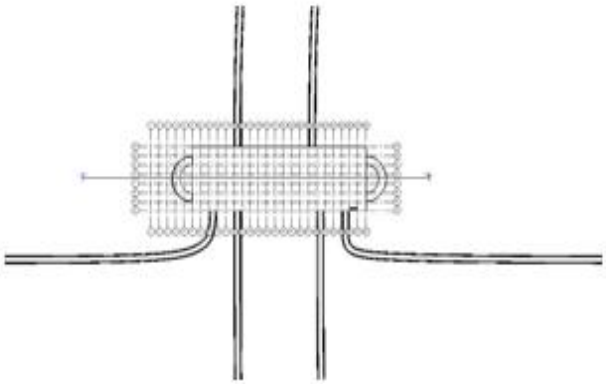
Фасад 1-28 по оси А



Разрез 1-1



Разрез 2-2



План комплекса на отм. -20.000

Рисунок 3 – Архитектурно планировочные решения

Проходку тоннеля целесообразно выполнять щитовым способом с применением сборной железобетонной обделки. Такой метод позволит снизить риски и существенно повысить скорость строительства, поскольку проходческий щит способен проходить до 1 километра в месяц и более, в зависимости от типа грунта и инженерно-геологических условий.

Особое внимание уделяется системам вентиляции, освещения и дымоудаления, что гарантирует безопасность движения в замкнутом пространстве.

Чтобы оценить возможность возведения всех подземных сооружений и исключить риск обрушения в процессе эксплуатации, была выбрана расчетная программа «SOFiSTiK».

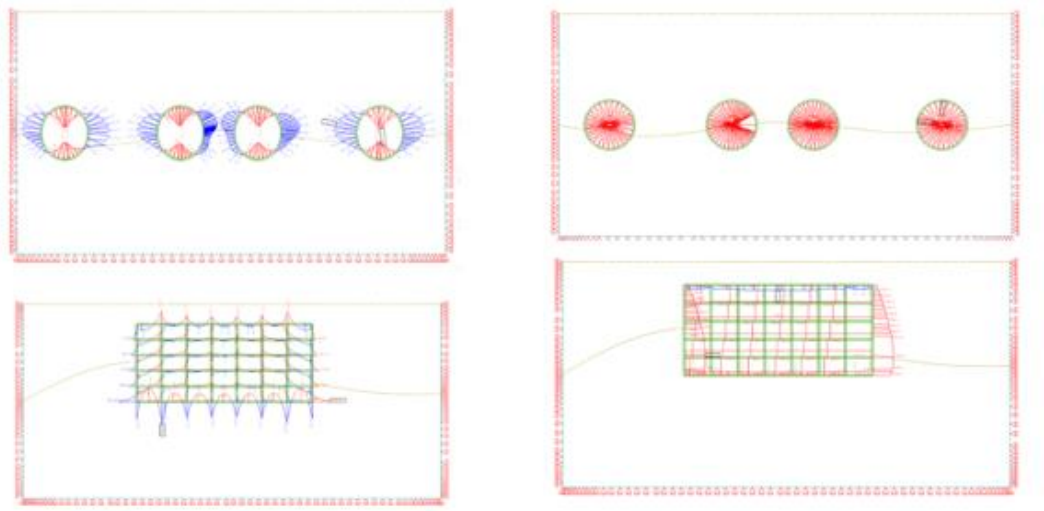


Рисунок 4 – Результаты расчета «SOFiSTiK»

По данным расчета видно, что несущая способность элементов конструкций комплекса обеспечена, соответственно, строительство и последующая эксплуатация технически будут реализованы.

Данный проект позволяет повысить пропускную способность транспортного узла, сократить время в пути и улучшить связность различных уровней и функциональных зон комплекса. За счёт компактного размещения транспортных, пешеходных и инженерных коммуникаций в едином подземном пространстве достигается более рациональное использование городской территории и повышается общий уровень безопасности и комфортности транспортной инфраструктуры.

Литература:

1. Кузьмицкий В. А., Пастушков В. Г. Проектирование тоннелей, сооружаемых щитовым способом. – Минск: БНТУ, 2009.

УДК 623.685

Разрушение мостов

***Гак Артем Дмитриевич**, курсант 3 курса*
кафедры «Военно-инженерная подготовка»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулаго Ю.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

Мостовое сооружение – это инженерное сооружение, предназначенное для преодоления речных препятствий. Эстакада - инженерное сооружение для поднятия одной дороги над другой в месте их пересечения, а также для размещения на определенной высоте дороги, которая не имеет съездов на другую дорогу. Мостовые сооружения создаются из таких материалов как: металл, железобетон, бетон, камень, дерево или из их сочетания.

В зависимости от материала моста, его главных несущих конструкций определяют выбор разрушения моста. В зависимости от этих факторов существует пять методов подрыва: способ сечений, деформирования, частичных сечений и деформирования, перемещений и комбинированный.

Суть метода сечений заключается в одновременном подрыве взрывчатки, установленной на всех опорных конструкциях моста. Это позволяет разрушить опоры (металлические, железобетонные, бетонные, деревянные) за один раз. Метод деформирования предполагает одновременный подрыв группы зарядов, которые целенаправленно деформируют несущие опоры моста до потери ими устойчивости. В результате, под действием собственного веса, мост обрушивается. Этот метод в основном используется для железобетонных мостов, но применяется редко из-за ограниченного расхода взрывчатых веществ, что делает его резервным вариантом. Метод частичных сечений и деформирования подразумевает подрыв основных опор моста с помощью взрывчатки, в то время как остальные опоры разрушаются под воздействием взрывной волны и последующей деформации под весом моста. Этот метод применяется для демонтажа стальных и железобетонных мостов. Суть метода перемещений заключается в том, что взрывная волна, вызванная подрывом заряда, заставляет мост подпрыгивать, смещаться и отбрасываться. Этот способ применяется крайне редко.

Комбинированный способ сочетает в себе все вышеперечисленные способы.

Все вышеперечисленные способы подрыва заключаются в неполном уничтожении моста, а в приведении его в неустойчивое положение с минимальными затратами ВВ.

При применении одного из вышеперечисленных способов нужно разрушить заданное количество опор. Это может быть задано непосредственно или через показатели разрушения: степень повреждения $С_п$ и ущерб У.

Степень повреждения определяется по формуле: $С_п = 1 - \frac{ГП}{Г_о П_о}$,

где Г и $Г_о$ - грузоподъемность мостового сооружения соответственно до и после взрыва; П и $П_0$ - пропускная способность мостового сооружения до и после взрыва.

Оценка степени повреждения мостовых сооружений: два ключевых показателя

Существует параметр, который отражает исключительно степень повреждения мостового сооружения, и именно поэтому он получил свое название. Важно отметить, что этот параметр не реагирует на степень полного уничтожения объекта. Независимо от того, насколько масштабны разрушения – будь то незначительные или значительные – значение этого показателя всегда будет равно единице.

Для того чтобы различать объем разрушений, используется другой показатель – ущерб У. Он рассчитывается по следующей формуле:

$У = \frac{l_p}{L} C_{пс} + \frac{n_{оп}^{р}}{n_{оп}} (1 - С_{пс})$, где:

l_p – длина поврежденной или обрушенной части моста.

L – общая длина мостового сооружения.

$n_{оп}^{р}$ – число опор, которые были разрушены.

$n_{оп}$ – общее количество опор в мосту.

$С_{пс}$ – относительная стоимость пролетного строения (то есть, какая доля от общей стоимости моста приходится на пролетное строение).

При проектировании мостов часто стремятся к тому, чтобы стоимость пролетного строения составляла примерно половину стоимости опоры. Это соотношение является ориентиром для классификации повреждений и разрушений.

Классификация разрушений по степени тяжести (на основе показателя У):

Малые разрушения: У <0,15

Средние разрушения: 0,15 <У <0,25

Большие разрушения: 0,25 <У <0,5

Чрезмерные разрушения: 0,5 <У <1

Полные разрушения: У = 1

При проведении работ по подрыву мостовых сооружений, необходимо учитывать, что ожидаемый ущерб от разрушения должен быть не менее У=0,25. При этом, разрушения, приводящие к ущербу более 0,5, считаются нецелесообразными.

Подготовка разрушению железобетонных мостовых сооружений

Существует множество разнообразных конструктивных решений и статических схем для железобетонных мостов, среди которых наиболее распространены балочные, рамные, рамно-балочные, рамно-консольные, арочные и вантовые, также комбинированные.

Взрывное разрушение железобетонных элементов, даже при непосредственном контакте, оказывается неэффективным. Поэтому наиболее целесообразным способом их разрушения является создание деформации. Для достижения этой цели в несущих конструкциях определяются участки с минимальным армированием, которые при этом испытывают существенные изгибающие моменты от постоянной нагрузки (собственного веса). В этих зонах размещаются заряды (в первую очередь внутренние, или контактные, если внутреннее размещение невозможно). Их задача – выбить бетон и обнажить арматуру. Длина выбивания подбирается таким образом, чтобы обнаженная арматура в сжатой зоне, потеряв устойчивость под действием постоянной нагрузки, привела к формированию пластического шарнира. Предельный изгибающий момент, который еще способна принять на себя обнаженная арматура

$M_{пл} = \frac{\pi^3}{32} nhE \frac{d^4}{l^2}$,

где n - количество стрежней арматуры в сжатой зоне элемента;

d - диаметр арматуры;

1 - длина обнаженной арматуры;

h - расстояние между сжатыми растянутыми стержнями арматуры;

E - модуль упругости арматуры.

Для гарантированного образования пластического шарнира необходимо, чтобы действующий изгибающий момент был больше предельного момента в пластическом шарнире, т. е. выполнялось условие $M > M_{пл}$. Следовательно, с учетом $M_{пл}$ участок выбивания бетона должен быть $l > \frac{\pi}{4} d \sqrt{\frac{\pi}{2} nEd^2 \frac{h}{M}}$.

Литература:

1. Взрывные работы, учебное пособие Ю.Ш. Юнусов, Д.В. Быковский, Д.В. Шепелькевич, БНТУ 2020 – 270 с.

УДК 624.21

Расчет висячего автомобильного моста с учетом предварительного натяжения канатов

***Гапонов Александр Сергеевич**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Щербо А.Д., преподаватель-стражёр
кафедры «Мосты и тоннели»

Мною была разработана расчетная схема металлического висячего моста, со следующими характеристиками: сооружение расположено на автомобильной дороге III технической категории; габарит Г-10; схема 35+160+35 м; марка стали 15ХСНД; нагрузка АК-14. Пролётное строение выполнено балочным с ортотропной плитой. Пилоны коробчатого сечения высотой 20 м. Конструкция каната типа К7 состоит из 7 пучков диаметром 72 мм. Подвески выполнены из канатов диаметром 62 мм. Общий вид сооружения представлен на рисунке 1.

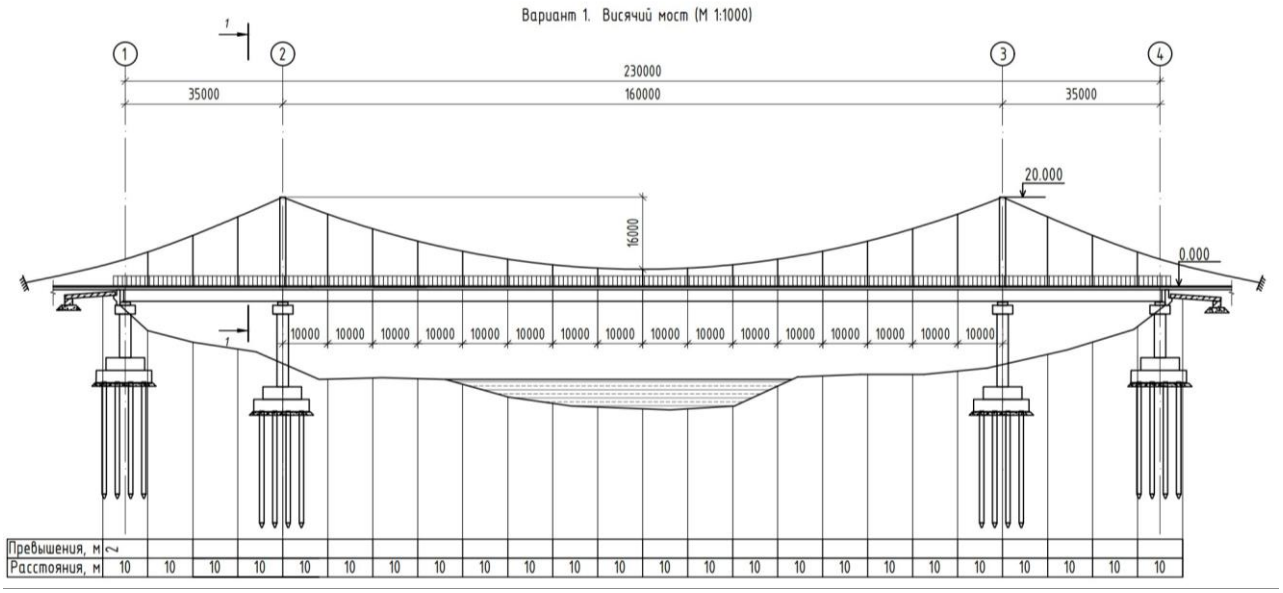


Рисунок 1 – Фасад висячего моста в осях 1 – 4

Расчетная схема была разработана с использованием программного комплекса «AutoCAD», которая в дальнейшем была экспортирована в расчетный комплекс «SOFiSTiK», заданы геометрические характеристики и физико-механические свойства материалов, приложены внешние нагрузки с учетом собственного веса сооружения, предварительное натяжение канатов (рисунок 2, рисунок 3).

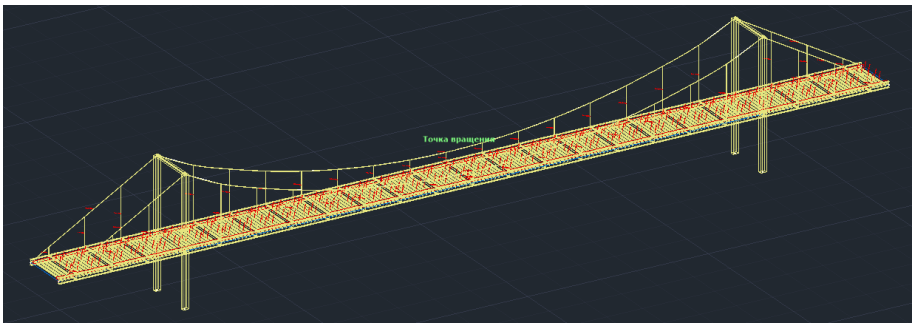
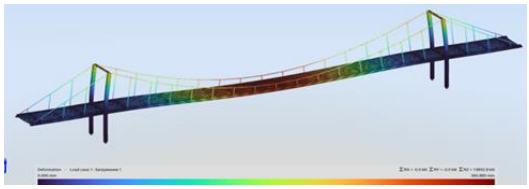
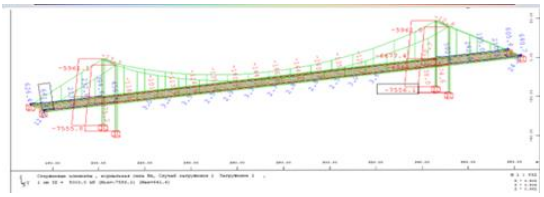


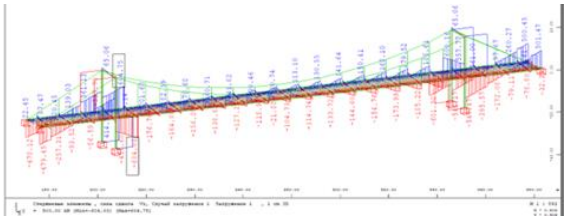
Рисунок 2 – Расчетная схема сооружения



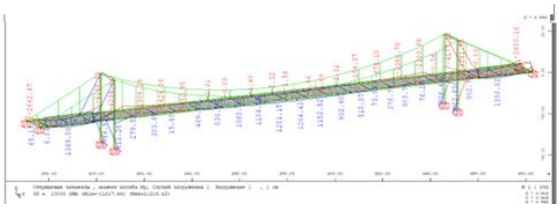
1. Деформации сооружения



2. Эпюра продольных сил N_{max}



3. Эпюра поперечных сил Q_{max}



4. Эпюра моментов M_{max}

Рисунок 3 – Расчетная схема сооружения

В соответствии с действующими нормативными документами (СН 3.03.01-2019, пункт 6.2.2), прогиб ортотропной плиты, в середине пролёта не превышает предельно допустимых значений, несущая способность применяемых элементов обеспечена. Использование расчетного комплекса «SOFiSTiK» оптимизировало время, затрачиваемое на разработку расчетной схемы.

Литература:

1. СН 3.03.01-2019 – Мосты и трубы. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020 – 279с.
2. Проектирование металлических мостов: Учеб. /Под ред. А. А. Петропавловского. — М.: Транспорт, 1982. — 320 с.

УДК 624.21

Влияние строительства тоннеля метрополитена на существующую застройку, в г. Минск вдоль ул. Притыцкого

***Гапонов Александр Сергеевич**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Щербо А.Д., преподаватель-стражёр
кафедры «Мосты и тоннели»

При разработке проекта строительства нового тоннеля метрополитена был выполнен комплекс технических расчётов, направленных на принятие актуального проектного решения с учетом безопасности и долговечности подземного сооружения, а также его влияния на существующую городскую застройку. Место расположения объекта – город Минск, вдоль улицы Притыцкого, имеющий координаты 53.906447, 27.445806 (Рисунок 1).

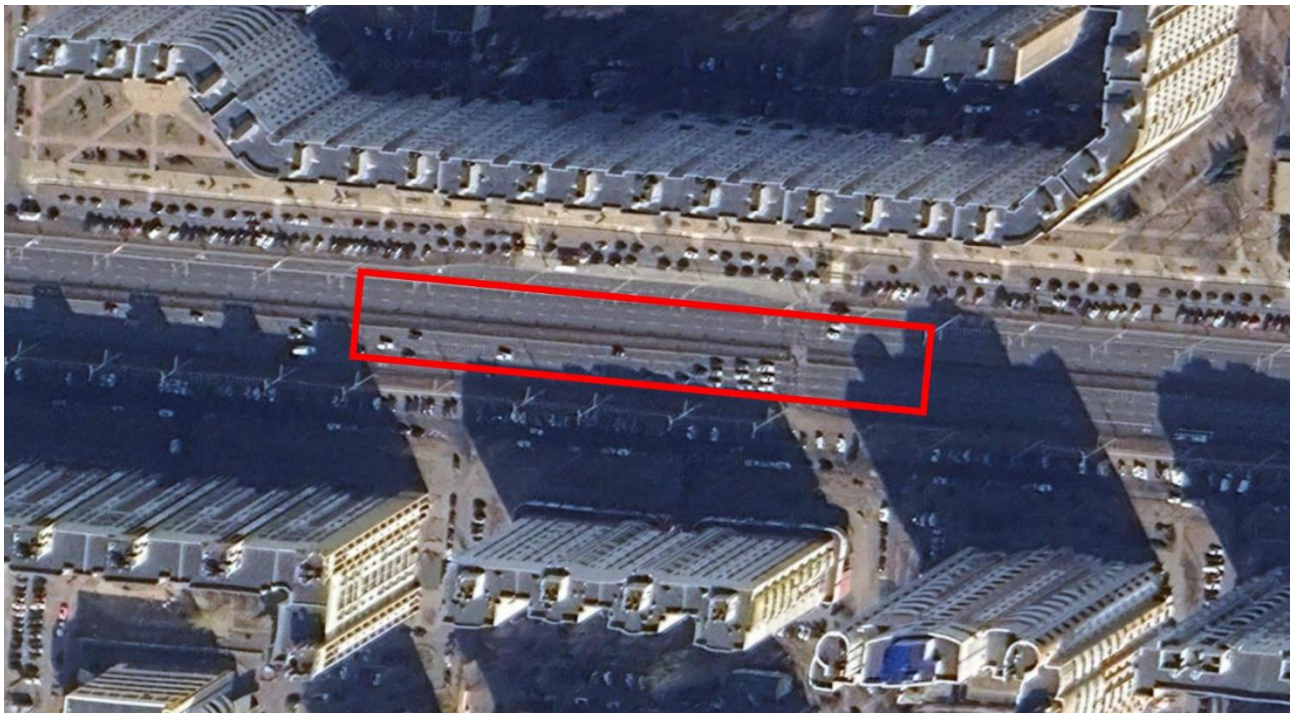


Рисунок 1 – Трасса тоннеля

Перегонный тоннель расположен вблизи жилого кварта, здания которого попадают в зону влияния строительно-монтажных работ. В связи с этим необходимо выполнить детальный расчёт влияния конструкций на этапе строительства и последующей его безопасной эксплуатации. Определены

величины деформаций грунтового основания, влияния на обделку перегонного тоннеля и выполнена оценка вероятности осадки конструкций жилых домов.

С использованием многофункционального расчетного комплекса «SOFiSTiK» на основе данных инженерно-геологических изысканий, была разработана расчетная схема сооружения (Рисунок 2).

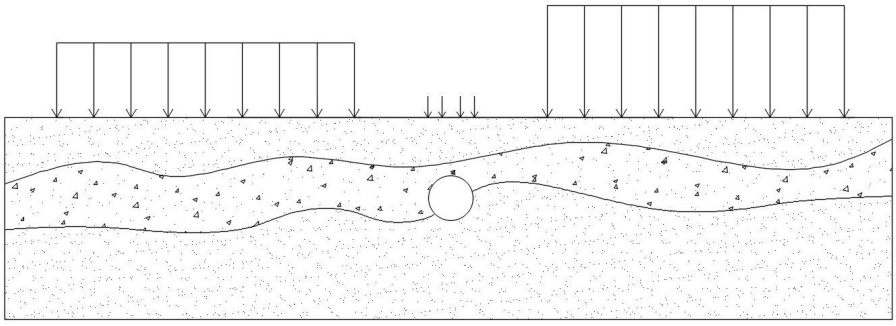


Рисунок 2 – Общий вид расчётной схемы

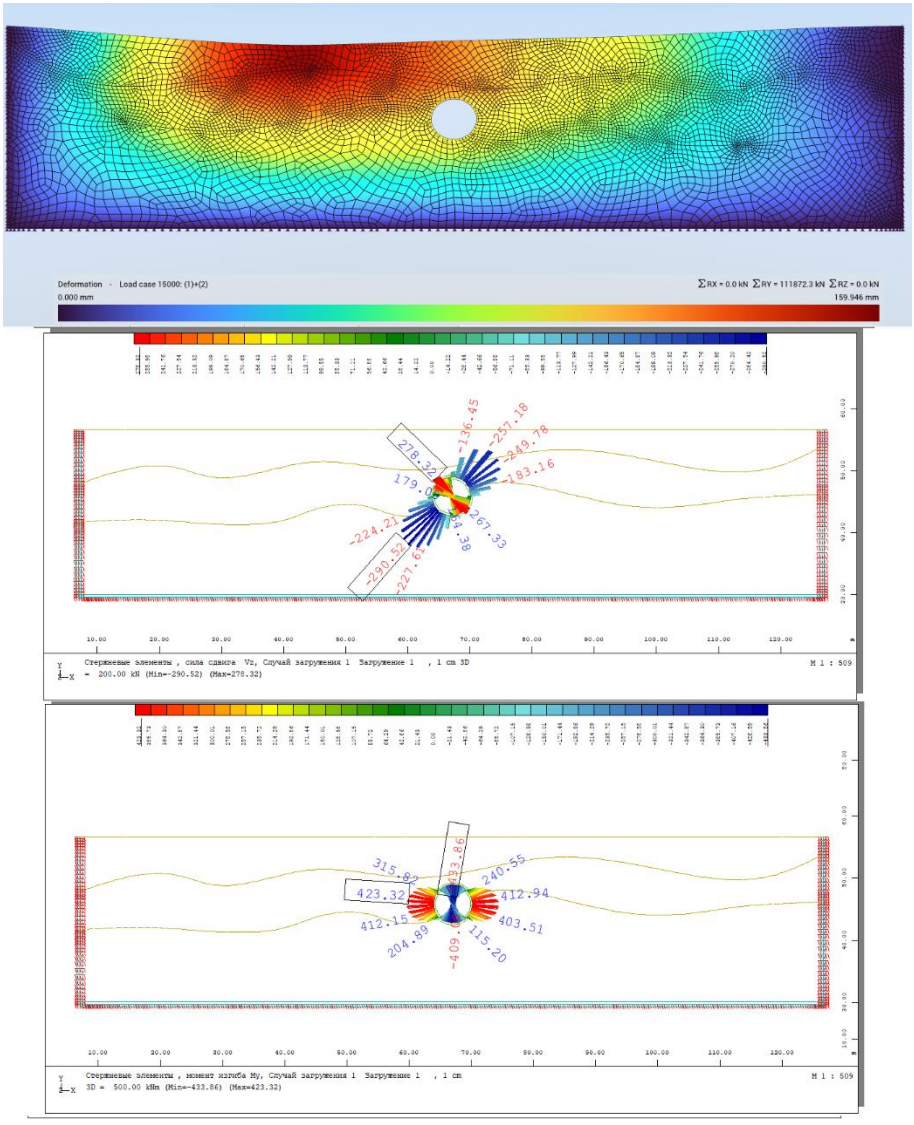


Рисунок 3 – расчёт SOFiSTiK: 1. Перемещения грунтового массива; 2. Расчётные усилия в сечении (поперечная сила Vz); 3. Расчётные усилия в сечении (изгибающий момент My)

Исходные данные: Глубина заложения – 7,7 м.; Диаметр тоннеля – 6,2 м.; Ширина тюбинга – 0,5 м.; Жилые железобетонные дома – 8 этажей (ширина 40 м.), 13 этажей (ширина 40 м.), что соответствует распределённой нагрузке 800 и 1300 тонн.

На основании результатов выполненных расчетов, можно сделать вывод, что несущая способность основных конструкций перегонного тоннеля обеспечена, осадка грунтового основания не превышает предельно допустимых величин. Здания попадающие в зону влияния строительно-монтажных работ обеспечивают восприятие внешних воздействий, усиление основания не требуется.

Литература:

1. Л. В. Маковский, В. В. Кравченко, Н. А. Сула – «Строительство автодорожных и городских тоннелей». -2024 г.- 408 стр.

УДК 625.855.2

Применение неметаллических арматурных сеток при строительстве дорог

***Гирейко Александр Валентинович**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, Минск
Научный руководитель – Ходяков В. А. старший преподаватель, кафедры «Мосты и тоннели»

Современное дорожное строительство характеризуется стремлением к повышению долговечности конструкций, снижению материалоемкости и эксплуатационных расходов. Для армирования дорожных одежд, в частности асфальтобетонных покрытий, стальные арматурные сетки используются. Однако развитие композитных технологий открывает новые возможности за счет применения сеток на основе неметаллических материалов, таких как стеклопластик, базальтопластик и углепластик.

Основной функцией арматурной сетки в дорожных конструкциях является восприятие растягивающих напряжений, возникающих от транспортных нагрузок и температурных воздействий, что позволяет предотвратить или замедлить развитие трещин. Композитные материалы, в отличие от стали, обладают рядом принципиально иных физико-механических свойств. (Рис. 1) Наиболее значимыми из них являются высокая прочность на растяжение, превосходящая прочность стали класса S500. Коррозионная стойкость неметаллической арматуры является другим ее преимуществом, что особенно актуально в условиях воздействия противогололедных реагентов.

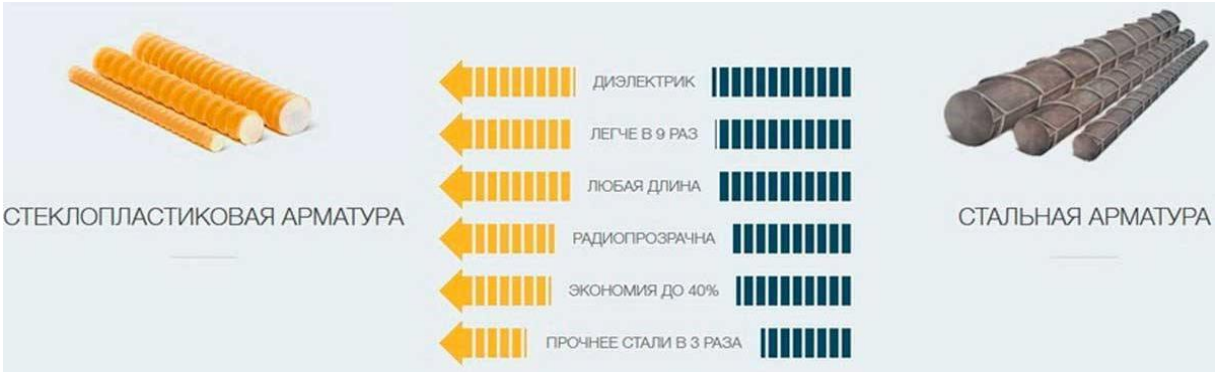


Рисунок 1 – Сравнение композитной арматуры и металлической

Что касается ценовых аспектов: поскольку материалы имеют различную плотность, то и определить, какая из арматур дешевле, выгоднее с точностью

сложно. Нужно учитывать параметры расхода асфальтобетона, качество готовых конструкций, затраты на транспортировку и устройство покрытия.

Кроме того, композиты являются диэлектриками, что исключает проблемы с блуждающими токами и позволяет использовать такие сетки в особых условиях, например, в близи энергетической инфраструктуры.

В асфальтобетонных покрытиях неметаллические сетки предотвращают или замедляют проявление отраженных трещин с нижних слоев покрытия на поверхность. Такие сетки не разрушаются от контакта с битумом и не требуют специального защитного покрытия. Укладка такой сетки осуществляется непосредственно на подготовленное основание перед укладкой асфальтобетонной смеси. Важным этапом является обеспечение надежного сцепления сетки с асфальтобетоном, для чего могут использоваться специальные адгезионные пропитки или механические анкеры.

Использование неметаллических арматурных сеток в дорожном строительстве представляет собой перспективное направление, особенно для условий, где критически важна коррозионная стойкость и снижение массы конструкций.

Литература:

1. [Электронный ресурс] https://armatura-tut.by/stati/sravnenie-kompozitnoj-armatury-i-metallicheskoj/.
2. Фролов Н.П. «Стеклопластиковая арматура стеклопластбетонные конструкции»[/ Н.П. Фролов – Москва: Стройиздат, 1980.
3. [Электронный ресурс] Репозиторий БНТУ, «Строительство автомобильных дорог» 1-70 03 01, Зиневич С.И., Ходан Е.П., Реут Ж.В., Жуковский Е.М., - Минск, 2021.

УДК 624.21

Путепровод по магистрали М-3 Минск-Витебск

***Гречаник Алексей Сергеевич**, студент 4 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научные руководители – Шарко Е.А., ассистент, Кулаго Ю.В.,
ассистент кафедры «Мосты и тоннели»

Путепровод входит в состав транспортной развязки по типу «обжатый ромб» на ПК 544+14 автомобильной дороги М-3 Минск-Витебск и пересекает ПК1+25,51 автомобильной дороги подъезд к мемориальному комплексу «Хатынь» (Рис. 1).



Рисунок 1 – Общий вид путепровода

Исходя из инженерно-геологических условий крайние опоры запроектированы свайными двухрядными козлового типа со сваями сечением 35х35 см с шагом 1,3 м в поперечном направлении моста и 0,6 м – в продольном направлении. Количество свай в одном ряду 18 штук. Длина свай для опор №1 и №5 принята 12 м и 14 м соответственно.

Насадки, шкафные, щековые стенки запроектированы монолитными. Выполняются сливы. Верх насадок, шкафные стенки со стороны торцов балок, подферменный ряд покрываются гидрофобизирующей грунтовкой. Фасадные

поверхности опор окрашиваются фасадной водно-дисперсионной акриловой краской в соответствии с цветовым решением (Рис. 2).

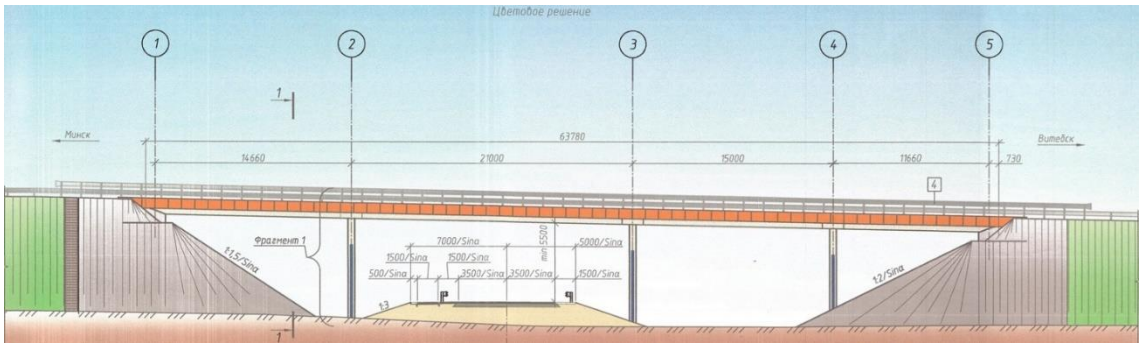


Рисунок 2 – Цветовое решение путепровода

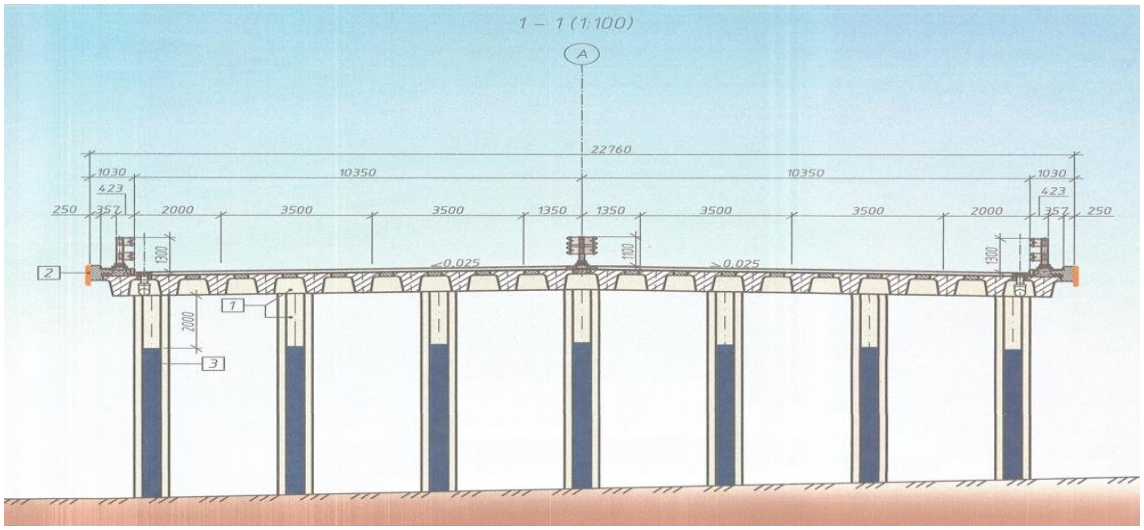


Рисунок 3 – Разрез путепровода

Промежуточные опоры запроектированы в виде стоечных опор с фундаментами на двухрядном свайном основании. Сваи сечением 35х35 см приняты по типовому проекту серии Б 3.503.1-5.03.2. Длина свай на опоре №2 – 6 м, на опоре №3, №4 – 8 м.

Пролетное строение железобетонное рамно-неразрезной конструкции по схеме 15+21+15+12 м.

Пролеты путепровода перекрыты индивидуальными железобетонными балками длиной 12, 15, 21 м и высотой 0,76 м. Шаг балок составляет 1,12 м, а в зоне разделительной полосы – шаг 1,2 м.

В поперечнике 20 балок, которые объединены в рамно-неразрезное пролетное строение при помощи надопорных монолитных участков над промежуточными опорами №2 - №4 и продольных швов омоноличивания балок (Рис. 3). Балки на крайних опорах опираются на металлические опорные части.

УДК 624.21

Экомосты

***Грушевский Алексей Николаевич**, студент 3 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Конструкция пролетного строения экомоста представляет собой несущую систему, предназначенную для перекрытия транспортной магистрали и восприятия всех вертикальных и горизонтальных нагрузок от грунта, растительности, животных и климатических воздействий.

В мировой практике для устройства экомостов применяются различные типы пролетных строений, однако наибольшее распространение получили железобетонные и сталежелезобетонные балочные системы.

Железобетонные конструкции выполняются в виде сборных или монолитных балок высотой порядка 1,2 – 2,0 м с монолитной плитой толщиной 200 – 300 мм. Такие конструкции отличаются высокой жесткостью и долговечностью, что делает их удобными для сооружений, поверх которых размещается значительный слой грунта.

Сталежелезобетонные конструкции применяются при необходимости перекрыть более крупные пролёты, поскольку обладают меньшей массой и позволяют выполнять монтаж над действующей дорогой без значительных ограничений движения (Рис. 1).

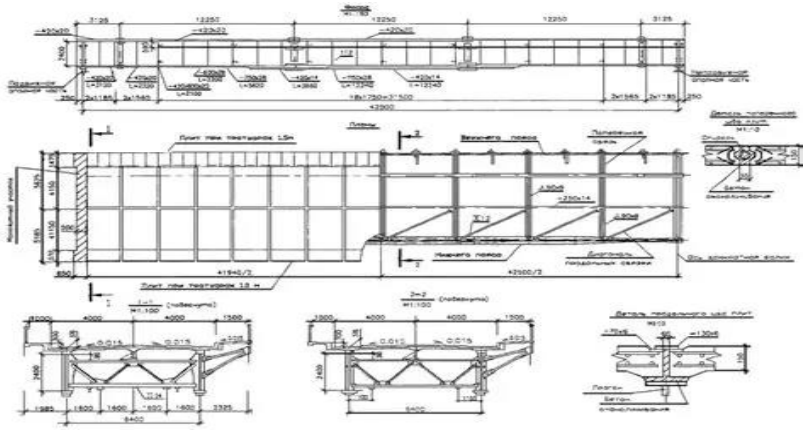


Рисунок 1 – Сталежелезобетонные конструкции

На пролетное строение действует комплекс постоянных и временных воздействий. К постоянным относят собственный вес конструкций и вес

грунтовой засыпки. Толщина плодородного слоя над пролетным строением составляет, как правило, 0,6 – 1,0 м. При средней плотности влажного грунта 1800 – 2000 кг/м³ нагрузка достигает 12 – 20 кН/м², что требует учета значительных равномерно распределённых давлений.

Дополнительные нагрузки связаны с размещением травяной и кустарниковой растительности, а также воздействием животных. Нагрузка от животных составляет порядка 0,5 – 1,5 кН/м² и рассчитывается по аналогии с пешеходной. Временные климатические воздействия, снеговые и ветровые, определяются по СН 2.01.05-2019, СП 12.330, СН 2.01.04-2025. Снеговые нагрузки могут составлять от 1,2 до 4,8 кН/м². Помимо перечисленного конструкция воспринимает температурные воздействия, усадочные деформации бетона и, при необходимости, сейсмические усилия. Все эти факторы определяют подбор сечения пролетного строения, его геометрические размеры, тип армирования и конфигурацию опорных узлов (Рис. 2).

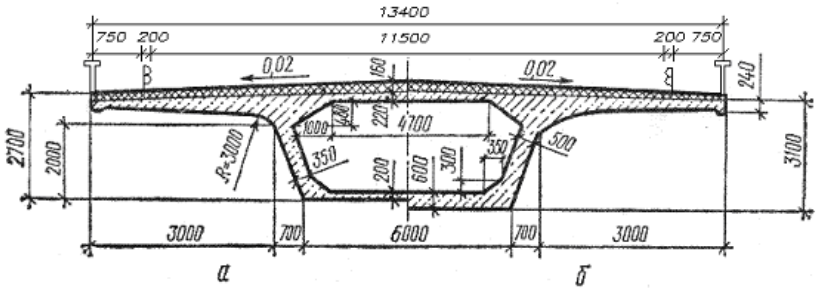


Рисунок 2 – Подбор сечения пролетного строения

Ширина экомостов выбирается с учетом того, как перемещаются животные. Зарубежный опыт показывает, что зеленая часть перехода должна быть не уже чем 35 – 50 метров, однако наиболее благоприятные условия для крупных видов обеспечиваются при ширине от 50 до 80 метров. В отдельных ситуациях она может достигать и 100 метров, если этого требуют экологические условия местности. Высота сооружения над проезжей частью определяется нормативами для транспортных объектов. Для автомобильных дорог она обычно составляет от 5 – 5,5 метров, а для железных дорог примерно от 6,5 – 7 метров. Итоговая конструкция пролетного строения формируется с учетом требований безопасности движения, а также особенностей ландшафта и будущего благоустройства территории.

В разных странах можно встретить самые разнообразные примеры таких сооружений. В Нидерландах, например, мосты строят с использованием стальных пролетных балок, которые затем засыпают слоем грунта толщиной до полутора метров. В Канаде широко применяются массивные бетонные арочные переходы, обычно достигающие около шестидесяти метров в ширину (Рис. 3). В

России, в частности на трассе М-11, используются железобетонные балочные пролёты длиной от 24 – 33 метров, поверх которых размещают зеленую зону шириной примерно 50 метров.



Рисунок 3 – Мост в Канаде

Эти примеры показывают, что выбор типа пролетного строения всегда зависит от сочетания инженерных требований, экологических условий и особенностей существующей дорожной инфраструктуры.

Литература:

1. Clevenger A.P., Huijser M.P. – Wildlife Crossing Structure Handbook: Design and Evaluation. Federal Highway Administration, USA. (2009) – 223 с.
2. СН 2.01.05-2019 – Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск(2019) – 78 с.
3. СН 2.01.04-2025 – Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск(2025) – 81 с.

УДК 624.21

Опыт использования искусственного интеллекта в проектировании мостов

***Драпеза Антон Витальевич**, студент 2 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулан А.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

В работе рассмотрен процесс создания архитектурного проекта, включающего этапы концепции, трехмерного моделирования и визуализации. Смоделирован цифровая модель железнодорожного моста с металлической фермой.

Ввиду активного развития искусственного интеллекта повысилась скорость развития строительной отрасли. Нейросети позволяют облегчить и ускорить многие этапы в архитектуре и дизайне, генерировать концепции любых объектов. Концептуальные визуализации на ранних этапах дают лучшее представление о проекте заказчику.

В рамка работы с помощью нейросети было создано изображение железнодорожного моста с металлической фермой с ездой по низу в горной местности (Рис. 1).



Рисунок 1 – Результат визуализации идеи моста

Следующим этапом работы была реализация данной концепции с помощью программного комплекса Autodesk Revit. Используя шаблоны семейств категории «Фермы», создана цифровая модель металлического пролетного строения, смоделированы параметрические массивные железобетонные опоры (Рис. 2).

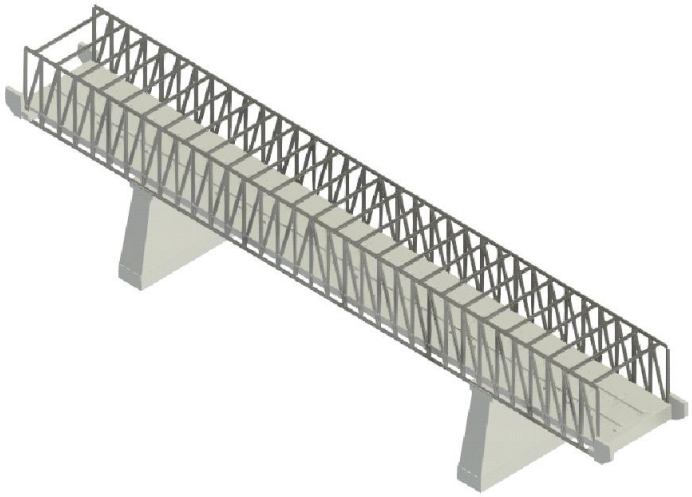


Рисунок 2 – 3D модель моста

Заключительный этап включает визуализацию созданной 3D-модели моста с помощью генеративных моделей искусственного интеллекта (Рис. 3). Используемый промт включал идеи реалистичного изображения железнодорожного моста в условиях горной местности.



Рисунок 3 – Результат визуализации 3D модели моста

Генеративные модели ИИ позволяют решить большую часть архитектурных задач и ускорить процесс проектирования. В данной работе были выполнены этапы создания концепции железнодорожного моста, проектирование в Autodesk Revit и визуализация 3D-модели.

ИИ является инструментом, который облегчает многие этапы работы и создается для усиления возможностей инженера, а не замены.

Литература:

1. Пастушков, Г. П Проектирование мостов: пособие для студентов специальности 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены»: в 2 ч. Ч.1 / Г. П. Пастушков, Л. Г. Расинская. – Минск: БНТУ, 2017. – 41.
2. Тимохин, М.Ю., Шаранин, В. Ю. Искусственный интеллект и теория принятия решений: современные тенденции// Инженерный вестник Дона, 2023, № 10.

УДК 624.21

Дорожный тоннель через Шамони-Морже

***Доронин Глеб Евгеньевич**, студент 4 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулаго Ю.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

Тоннель является важным строительным объектом, который упрощает передвижение транспорта, позволяя сократить путь, сделать его более безопасным и удобным для водителя. Тоннелестроение один из сложнейших строительных работ, требующих точные расчёты, замеры и диагностику местности.



Рисунок 1 – Общий вид

Мною были выбраны два города Шамони и Морже, так как они нуждались в тоннеле через гору, для облегчения передвижения транспорта. Инженерная геология показала, что горный массив не сложен, устойчивых пород не наблюдалось, а именно: гранит, прочные сланцы. Таким образом, порода не сможет выдержать давление без массивной поддержки. Из-за не стабильной породы был выбран закрытый способ строительства тоннеля, для безопасности строительства. Трасса тоннеля специально была проложена в обход крупных разломов и зон повышенной сейсмической активности, сделано это для того, чтобы обеспечить безопасность сооружения и долговечность.

Гидрогеологические условия показали, что уровень грунтовых вод в выбранной мной местности находиться на приемлемой глубине. Из-за этого снижаются затраты на водопонижение и дренаж во время строительства и риск интенсивных водопритоков, которые могут привести к затоплению и осложнить работу.

Выбранный перевал в горном хребте имеет среднюю высоту, из-за этого придётся увеличить длину тоннеля и уменьшить продольный уклон подъездных путей, для безопасности движения тяжёлого транспорта.

Местность так же была выбрана так как тоннель оказывает минимальное воздействие на природный ландшафт и не фрагментирует среду обитания животных на большой площади. Соблюдается баланс достаточно короткой длины для минимизации затрат.

Кратко подведём итоги выбранной мной местности. Проведя испытания, можно с уверенностью сказать, что местность является оптимальной для строительства автодорожного тоннеля. Он обеспечит быстрый, безопасный путь водителю, сократив его время вдвое.

Литература:

1. СН 1.03.01-2019 – Дата доступа: 19.11.2025.
2. СН 4.03.01-2019 – Дата доступа: 19.11.2025.
3. СП 4.04.01-2022 – Дата доступа: 19.11.2025.

УДК 624.19

Подземная транспортная развязка, совмещённая со станцией метрополитена, расположенная в многофункциональном комплексе в г. Гродно на пересечении улицы Советских пограничников, улицы Победы и улицы Горновых

***Дорощенок Никита Сергеевич**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Объектом исследования выступает ключевой градостроительный узел г. Гродна — на пересечение улицы Советских Пограничников, улицы Победы и улицы Горновых.Численность населения города Гродно (Республика Беларусь) составляет примерно 361 тыс. человек, при плотности около 40 человек на квадратный километров. В настоящее время участок характеризуется конфликтом транспортно-пешеходных связей, что нарушает целостность зелёного каркаса города.



Рисунок 1 – План месторасположения проекта

Географическое положение на пересечение улицах в Гродно создаст узел связности:

Улучшение доступности к центру города и крупным районным центрам.

Ускорение перемещение между жилыми районами и деловыми зонами.

Снижение перегруженности надземных перекрестков.

Технологический спек проектирования, включающий программные продукты Autodesk Revit и инструменты глубокого анализа SOFiSTiK, гарантирует надежность проектных решений. Внедрение таких инноваций в 2025 году способствует формированию устойчивой транспортной сети, отвечающей долгосрочным потребностям развития современного города».

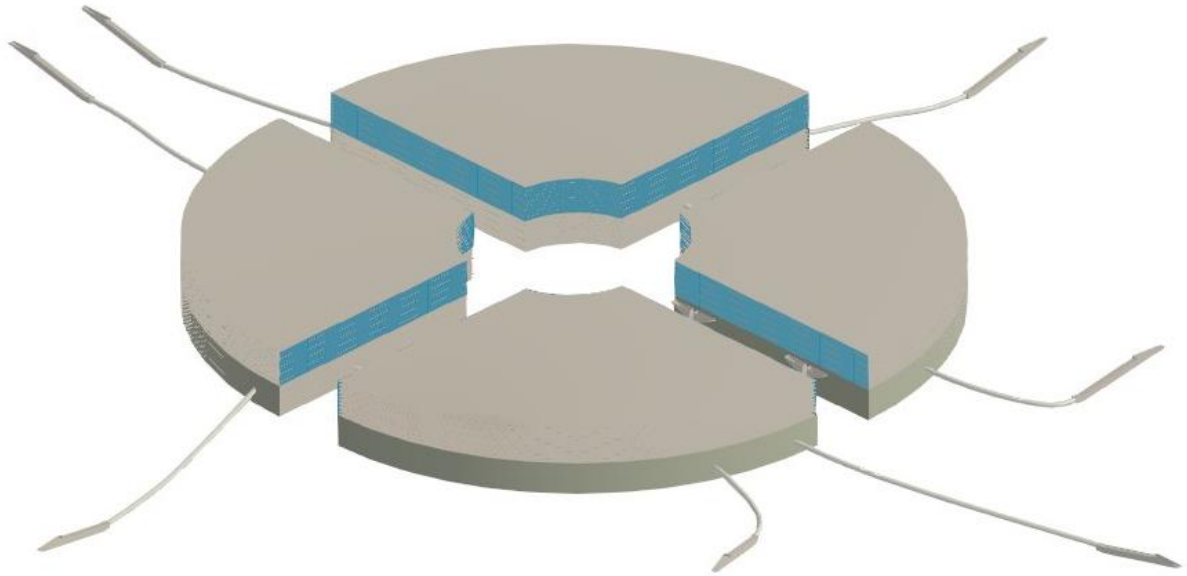


Рисунок 2 – 3D модель в Revit

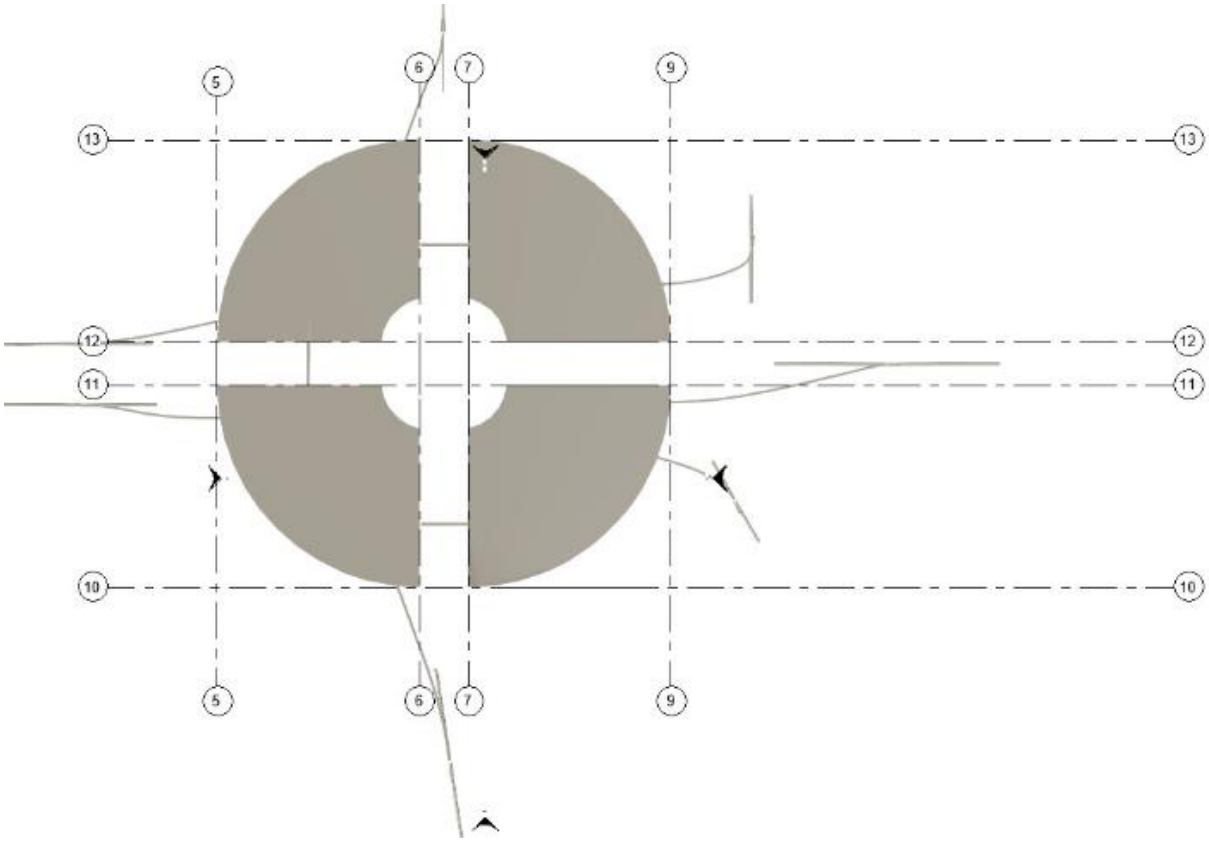


Рисунок 3 – План комплекса на отметке -20.000

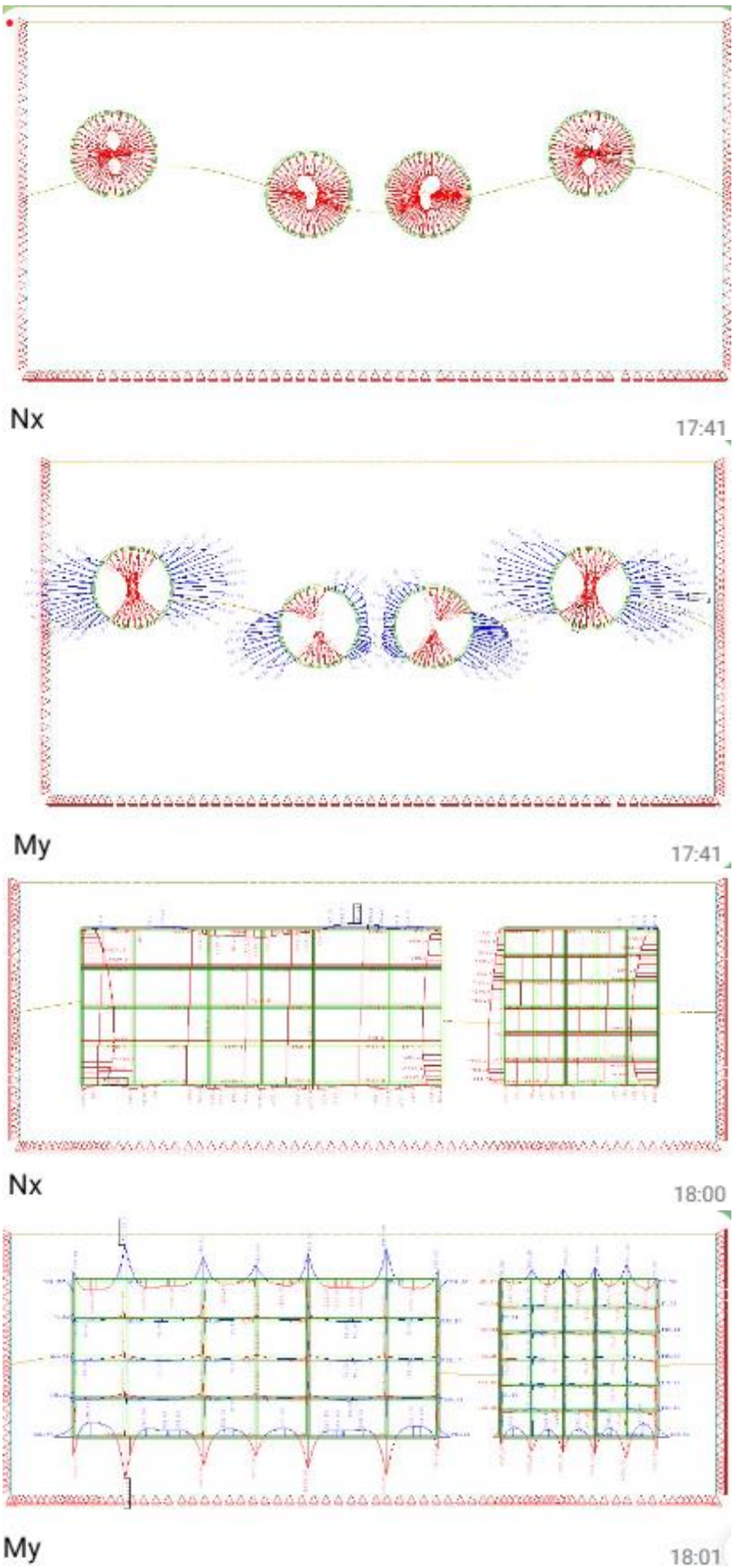


Рисунок 4 – Расчет сети тоннелей, многофункционального комплекса и станции метро на изгибающий момент My и на внутренние усилия, возникающие в тоннельной обделке Nx с учетом инженерно-геологических условий

Литература:

1. Маковский Л.В. «Проектирование автодорожных и городских тоннелей». М., Транспорт, 1993 г.
2. Храпов В. Г. и др. «Тоннели и метрополитены» М: транспорт, 1989 г.
3. Кузьмицкий, В.А. Проектирование тоннелей,сооружаемых щитовым способом: пособие к курсовому и дипломному проектированию/ В.А. Кузмицкий, В.Г. Пастушков.-Минск: БНТУ, 2009. – 211 с.

УДК 624.21

Железнодорожный тоннель в Пятигорске (Россия)

***Дубяго Максим Валентинович**, студент 4 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулаго Ю.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

Железнодорожный тоннель через гору Машук находится в городе Пятигорске, Ставропольский край, Россия. Этот тоннель является одним из символов этого курортного города. Тоннель проложен под горой Машук, что позволяет поездам проезжать через гору и связывать различные районы города. Этот железнодорожный тоннель является важным элементом инфраструктуры города Пятигорска и облегчает транспортную доступность для местных жителей и туристов.

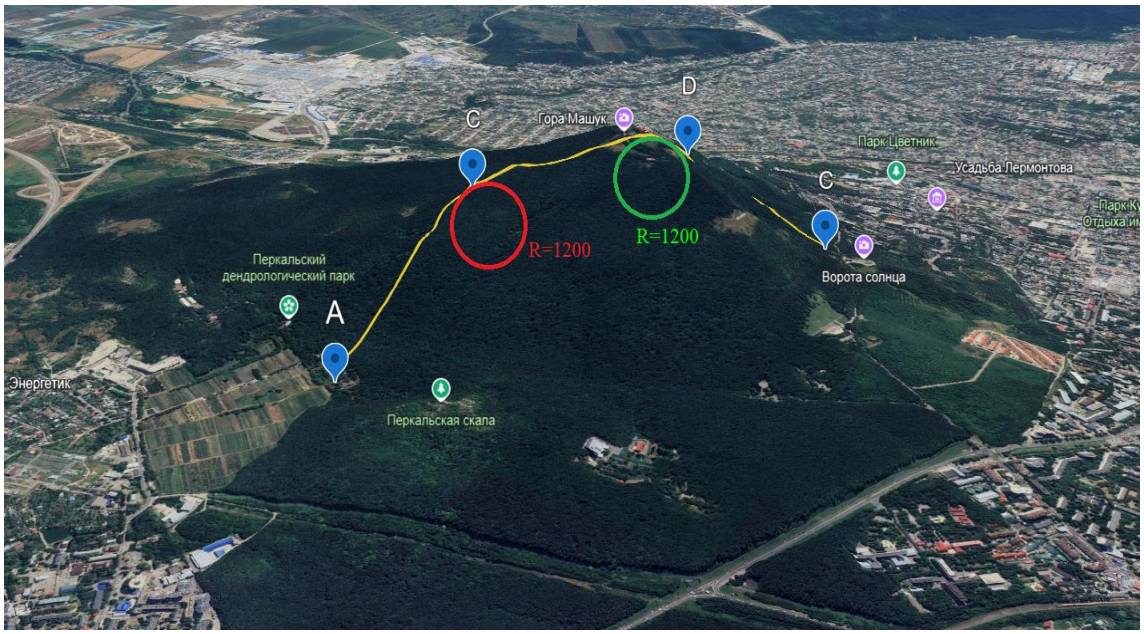


Рисунок 1 – План местности

Данный проект строительства предусматривает прохождение тоннеля длинной 3,5 км с двумя поворотами радиусами равные 1200 метров. Максимальный уклон трассы не превышает 15 ‰ . Расчетная скорость движения в тоннеле составляет максимум 65 км/ч. Причиной этому является ограничение пространства в тоннеле, наличия острых поворотов или недостаточная видимость. Железнодорожный тоннель имеет 2 железнодорожных пути. Присутствует вертолётная площадка непосредственно над основным объектом.

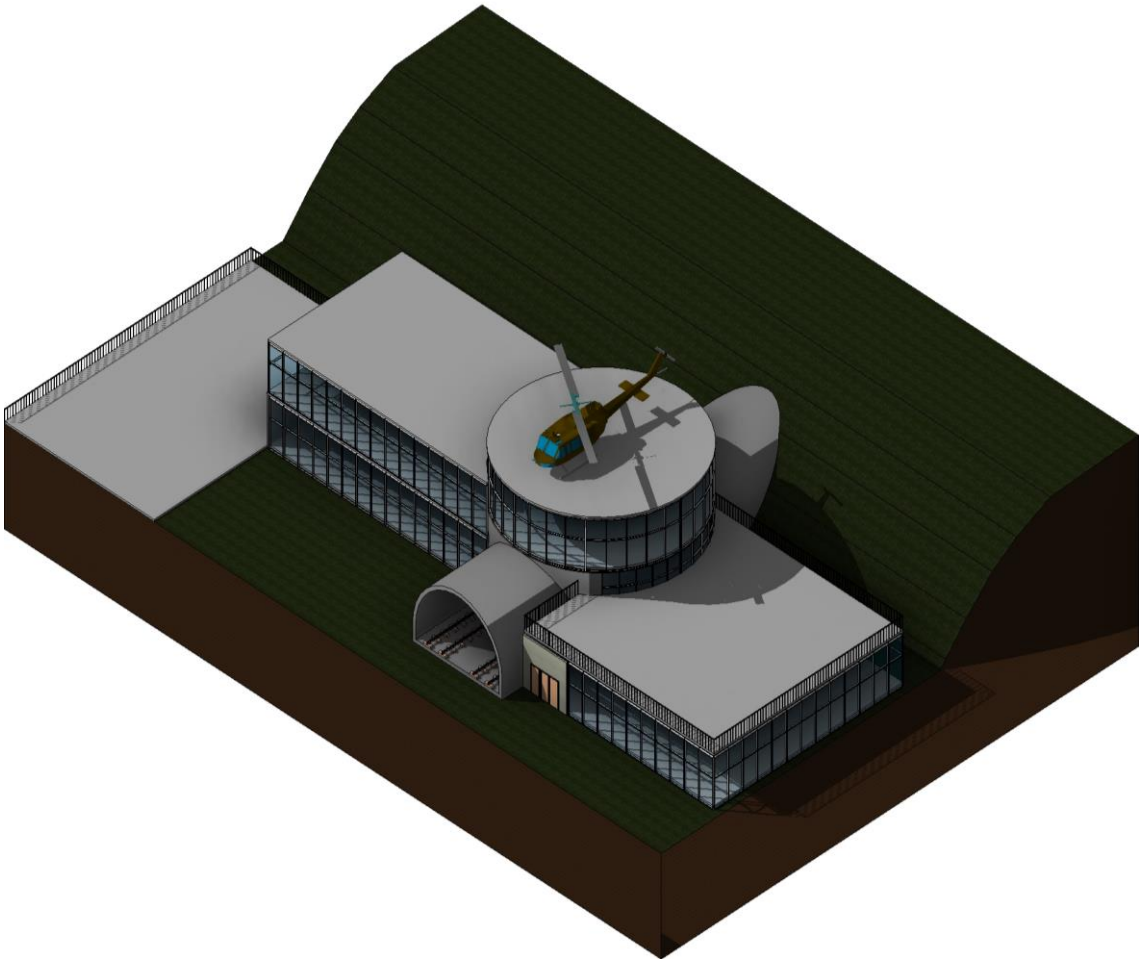


Рисунок 2 – Общий вид портала

Литература:

1. Маковский Л.В. «Проектирование автодорожных и городских тоннелей». М., Транспорт, 1993 г.

УДК 624.21

Алюминиевые мосты

***Дыдышко Алексей Сергеевич**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Алюминиевые мосты представляют собой значительный технологический прорыв в мостостроении. Их появление и развитие обусловлено комплексом уникальных физико-механических свойств алюминиевых сплавов. Ключевым преимуществом является низкая плотность материала, составляющая примерно одну треть от плотности стали. Это свойство напрямую ведет к снижению собственного веса конструкции, что имеет фундаментальное значение для транспортировки и монтажа, особенно в труднодоступных районах или при реконструкции существующих объектов с ограничениями по несущей способности фундаментов опор. Кроме того, снижение массы постоянных нагрузок позволяет увеличить полезную нагрузку, или оптимизировать габариты несущих элементов.

Важнейшим аспектом применения алюминия в мостовых конструкциях является его выдающаяся коррозионная стойкость. В отличие от стали, алюминий при контакте с атмосферным кислородом немедленно пассивируется, формируя на поверхности тонкий, но чрезвычайно прочный оксидный слой. Этот слой обладает способностью к самовосстановлению, что обеспечивает долговечность материала без необходимости применения сложных систем лакокрасочной защиты. Это свойство кардинально снижает эксплуатационные расходы на обслуживание конструкции на протяжении всего жизненного цикла, минимизируя затраты на периодическую очистку и покраску, которые являются обязательными для стальных мостов.

Современные алюминиевые мосты преимущественно изготавливаются из высокопрочных сплавов системы алюминий-магний-кремний. Эти материалы сочетают в себе достаточную прочность (сопоставимую со строительными сталями) с высокой пластичностью и ударной вязкостью. Технология изготовления конструкций основывается на экструзии и механическом соединении. Метод экструзии позволяет создавать сложные профили с оптимальным распределением материала, что повышает эффективность сечения. Основным способом монтажа является применение болтовых соединений, что

исключает необходимость выполнения полевой сварки и существенно ускоряет процесс сборки непосредственно на строительной площадке.

Исторический анализ показывает, что первые опыты строительства алюминиевых мостов относятся к середине двадцатого века. Однако их широкому распространению долгое время препятствовали относительно высокая стоимость материала и недостаточная изученность поведения конструкций в условиях длительных циклических нагрузок. Переломным моментом стало совершенствование сплавов, развитие расчетных методов и, что немаловажно, переход к оценке жизненного цикла. При таком подходе более высокая начальная стоимость алюминиевых конструкций компенсируется значительной экономией на эксплуатации, делая их экономически конкурентоспособными в долгосрочной перспективе.

Области применения алюминиевых мостов сегодня разнообразны. Они особенно эффективны в качестве пешеходных и велосипедных переходов, где требования к массе и скорости монтажа являются критическими. Активно используются в качестве надземных пешеходных переходов, пролетных строений для реконструкции старых мостов и в качестве конструкций временных или быстровозводимых мостов для нужд строительной и военной отраслей. В регионах с агрессивной промышленной или морской атмосферой коррозионная стойкость алюминия становится решающим фактором выбора материала.

К основным проблемам, требующим внимания при проектировании, относится более низкий модуль упругости алюминия по сравнению со сталью. Это обуславливает повышенную гибкость конструкций и требует тщательной проверки по критериям жесткости и виброустойчивости. Вопрос усталостной прочности также является ключевым, особенно для мостов, подверженных интенсивной динамической нагрузке. Современные нормы проектирования предусматривают специальные коэффициенты и методики расчета, учитывающие особенности поведения алюминиевых сплавов. Пожаростойкость конструкций является достаточной, поскольку алюминиевые сплавы не горят, однако при высоких температурах происходит значительная потеря прочности, что необходимо учитывать в расчетах.

Перспективы развития данного направления связаны с появлением новых поколений сплавов, обладающих еще более высокими прочностными характеристиками, а также с интеграцией композитных материалов в гибридные конструкции. Тенденция к модульности и заводской готовности элементов будет усиливаться, что соответствует принципам индустриального строительства. Расчет методом конечных элементов на основе компьютерной модели проектирования позволяют оптимизировать форму и сечение каждого элемента, минимизируя материалоемкость. Экологический аспект, связанный с

практически полной и энергоэффективной перерабатываемостью алюминия, также добавляет значимости этому материалу в контексте устойчивого развития инфраструктуры.



Рисунок 1 – Пешеходно-велосипедный алюминиевый мост

Таким образом, алюминиевые мосты представляют собой жизнеспособную и прогрессивную альтернативу традиционным решениям. Их технико-экономические преимущества в виде низкой массы, долговечности и минимальных эксплуатационных затрат наиболее полно раскрываются в специфических областях применения. Дальнейшие исследования в области материаловедения и совершенствование нормативной базы будут способствовать расширению границ использования алюминиевых сплавов в мостостроении, открывая новые возможности для создания легких, прочных и экономически эффективных инфраструктурных объектов.

Литература:

1. Корфельд М.И. «Алюминиевые конструкции мостов».
2. СП 128.13330.2021 "Конструкции из алюминиевых сплавов.

УДК 624.21

Многофункциональный подземный комплекса в г. Гомель в Республике Беларусь с разработкой цифровой модели объекта

***Зенович Антон Андреевич**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулаго Ю.В. – ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

С использование Revit смоделировал многофункциональный комплекс в Гомеле. Проект учитывал рельеф, грунт, городскую населенность и основные маршруты передвижения горожан (Рис. 1).

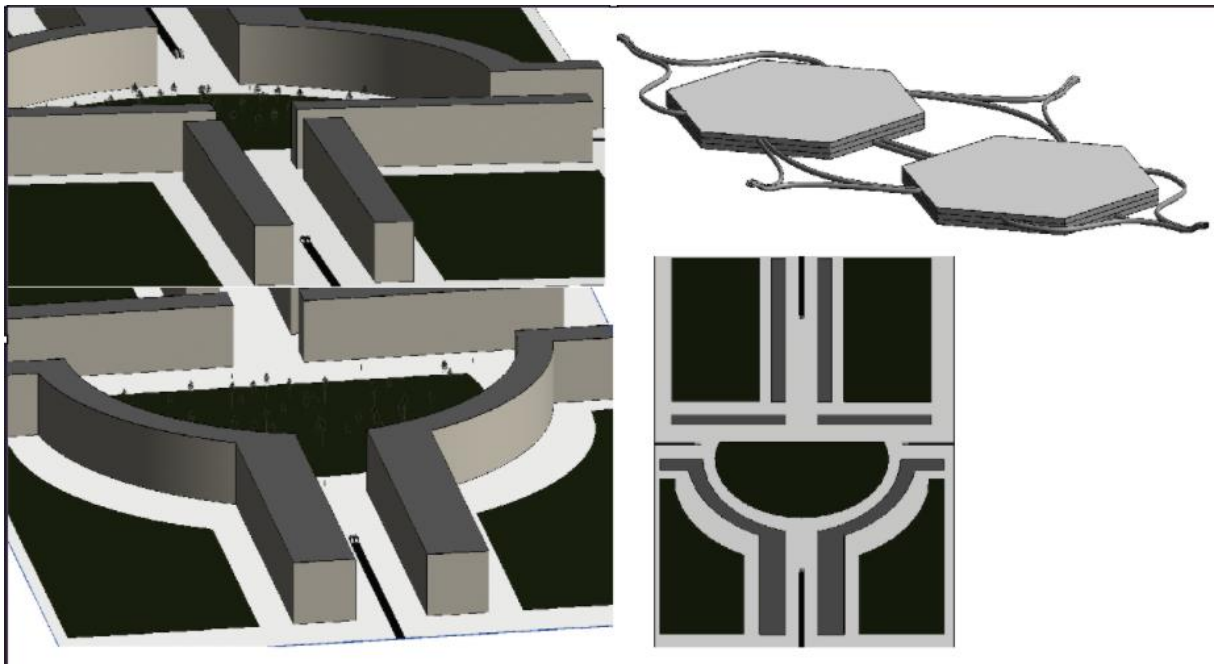


Рисунок 1 – Модель в Revit

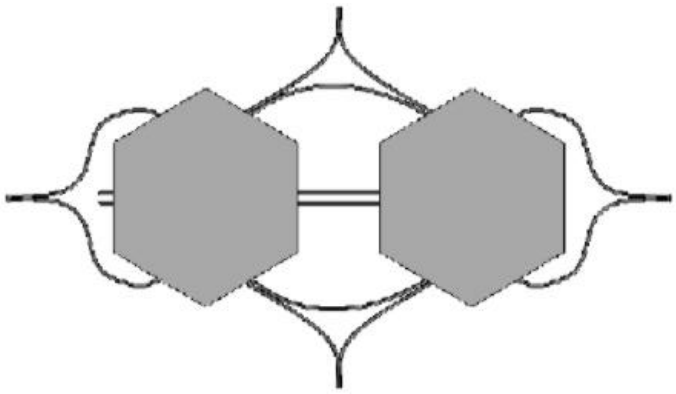


Рисунок 2 – Концептуально решение сети тоннелей (вид сверху)

Проведен анализ поперечных сечений тоннеля для определения неблагоприятных загружений. Выполнен расчет, установивший максимальные изгибающие моменты и внутренние усилия в железобетонных элементах.

В рамках курсового проекта я создал цифровую модель объекта с помощью BIM-технологий, сделал динамическую картинку транспортного объекта и его окрестностей, а также проверил, насколько прочны конструкции и грунт.

Литература:

1. Grok: расчетный комплекс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.grok.de. – Дата доступа: 20.05.2025.
2. Gemini: расчетный комплекс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.gemini.de. – Дата доступа: 20.05.2025.
3. DeepSeek: расчетный комплекс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.deepSeek.de. – Дата доступа: 20.05.2025.

УДК 624.19.035.2

Станционный комплекс в г. Гомель

***Зенович Антон Андреевич**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулаго Ю.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

Для строительства станции метрополитена был выбран город Гомель, Беларусь. Население составляет 526 873 человека. Место строительства станции мной было выбрано на проспекте Ленина и ул. Кирова.

Координаты подземного комплекса:

Начало тоннеля, точка А – широта 52°42'29.3"С; долгота 31°00'91.16"В.

Конец тоннеля, Точка Б - широта 52°42'42.60"С; долгота 31°00'80.35"В.



Рисунок 1 – Генеральный план

Современное городское развитие требует не только грамотного проектирования и обустройства территорий, но и улучшения транспортной системы, особенно в части пассажирских перевозок. Увеличение пассажиропотока, рост расстояний поездок и стремлении к экономии времени диктует необходимость повышении скорости, надежности, безопасности и комфорта передвижения.

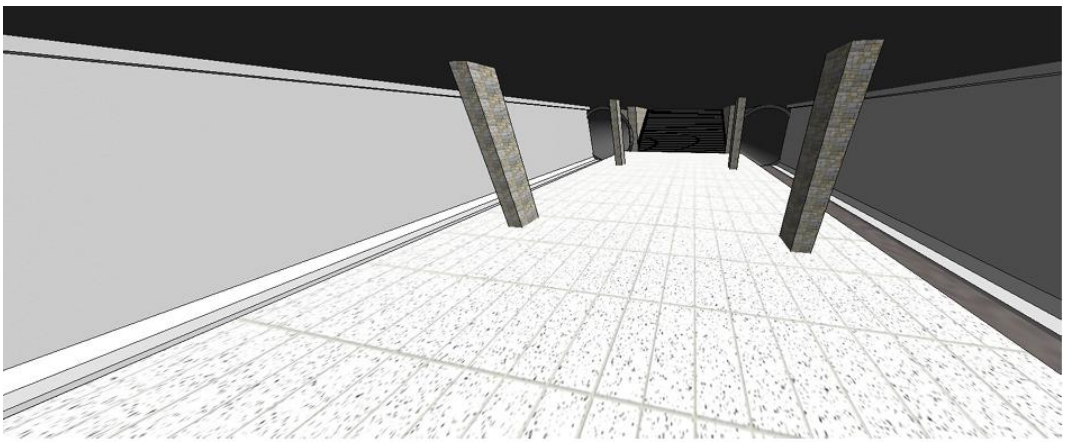


Рисунок 2 – Архитектурно-планировочное решение станционного комплекса

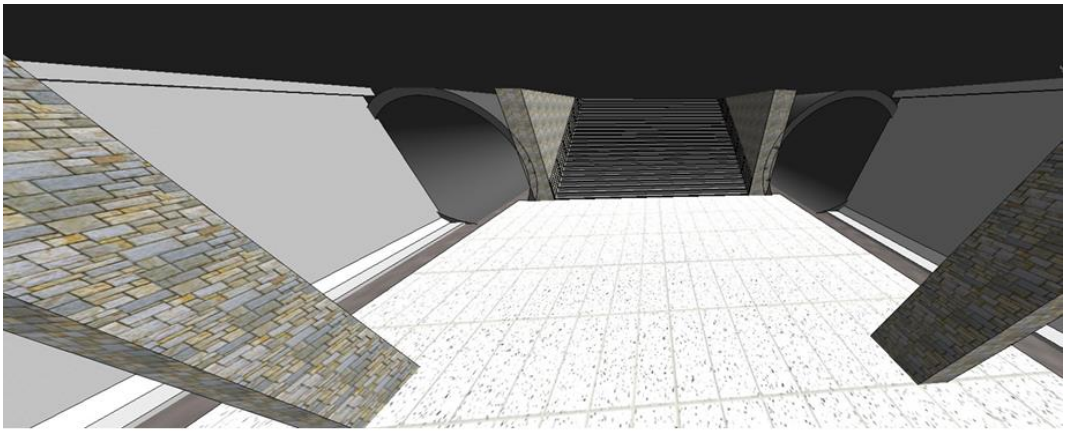


Рисунок 3 – Архитектурно-планировочное решение лестничного марша

Станция метрополитена, заглубленная на более чем 20 метров от поверхности, классифицируется как станция глубокого заложения. Доступ к ней осуществляется посредством наклонного хода, оборудованного эскалаторами, который соединяет вестибюль с платформой. Процесс строительства таких станция обычно начинается с проходки шахтного ствола, после чего к нему прокладываются тоннели, ведущие к будущей станции. Завершающим этапом является возведение вестибюля и монтаж эскалаторного наклона.

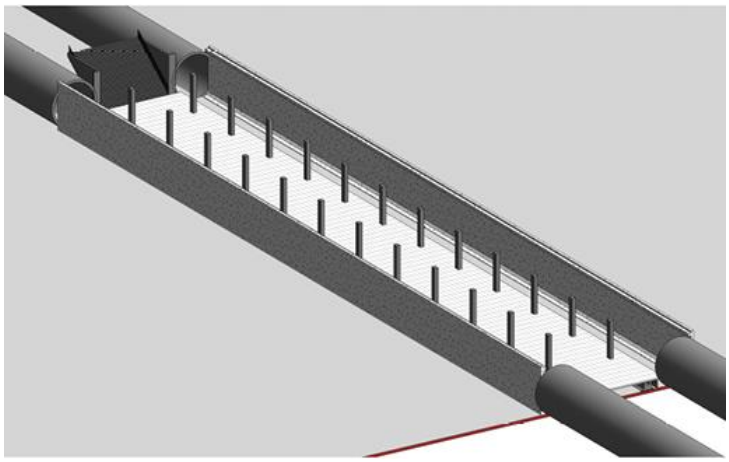


Рисунок 4 – Общие вид станции станционного комплекса

Линии метрополитенов в основном строят способами, которые можно объединить в две группы — закрытые (подземные) и открытые способы.

В рамках курсового проекта были выполнен следующие задачи:

Разработана цифровая модель объекта с использованием BIM-технологий и осуществлена динамическая визуализация транспортного объекта и прилегающей территории.

Литература:

1. Маковский Л.В. «Проектирование автодорожных и городских тоннелей». М., Транспорт, 1993 г.
2. Общие сведения о тоннелях [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://studfile.net/preview/9688636/.

УДК 624.21

«Автодорожный мост» через водохранилище «Свислочь» в г. Минске

***Карабнева Анна Анатольевна**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Щербо А.Д., преподаватель-стажёр
кафедры «Мосты и тоннели»

Главной задачей при разработке проекта было спроектировать автомобильный висячий мост через водохранилище. Главная задача висячего моста – соединить два микрорайона и при этом разгрузить существующие дороги. Место расположение объекта – город Минск (Чижовка), ул. Малинина (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Место строительства транспортного сооружения

Была разработана цифровая модель объекта с применением BIM-технологий. Результаты визуализации полностью соответствуют требования технического задания, также с ее помощью можно оценить эстетические качества спроектированного моста (Рисунок 2).

Для расчета несущей способности конструктивных элементов был применен программный комплекс SOFiSTiK (Рисунок 3).



Рисунок 2 – Цифровая модель (слева) и визуализация (справа)

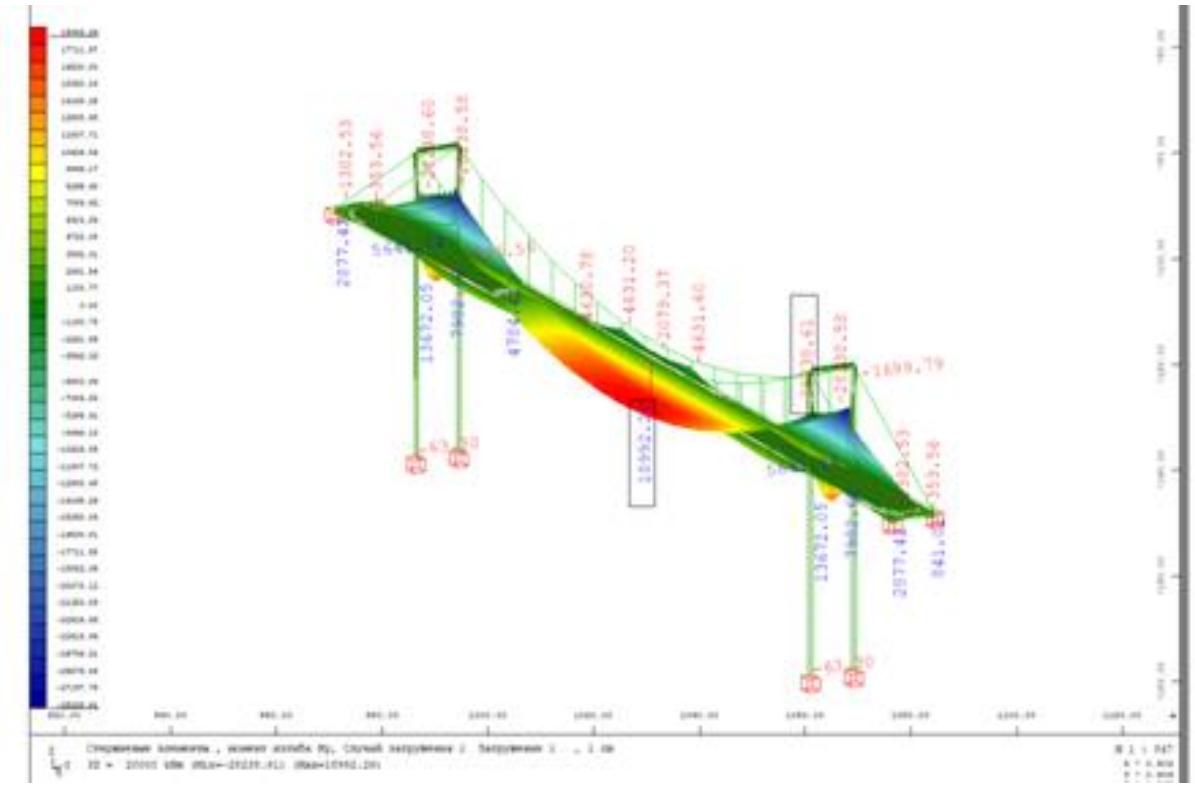


Рисунок 3 – расчёт SOFiSTiK

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что несущая способность автомобильного моста обеспечена.

Литература:

1. Л. В. Маковский, В. В. Кравченко, Н. А. Сула – «Строительство автодорожных и городских тоннелей». -2024 г. – 408 стр.

УДК 624.21

Влияние подземного тоннеля метрополитена на существующую застройку, в г. Минске на пересечении ул. Белградской и Аэродромной

***Карабнева Анна Анатольевна**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Главной задачей при разработке проекта строительства перегонного тоннеля метрополитена было выполнить комплекс технических мероприятий, а именно: выбор конструктивного решения, определение несущей способности основных элементов, расчет грунтового основания, а также определить величину влияния на существующую городскую застройку. Место расположение объекта – город Минск (Октябрьский район), пересечение улицы Белградской и Аэродромной (Рис. 1).

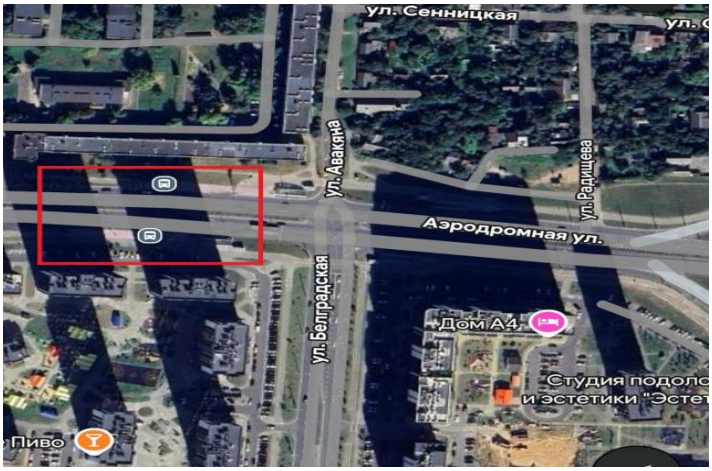


Рисунок 1 – Место расположения перегонного тоннеля

Место расположение перегонного тоннеля находится вблизи жилого квартала, что привело к необходимости выполнить анализ влияния этапов строительства на существующие сооружения. Была разработана цифровая модель объекта с применением BIM-технологий, расчетная схема с учетом фактических данных инженерно-геологических изысканий, определены величины деформаций грунтового основания и вероятность осадки фундаментов жилых зданий и сооружений, попадающих в зону влияния [1-3]. Для расчетов использовался многофункциональный расчетный комплекс «SOFiSTiK».

Расчетная схема приведена на рисунке 2, результаты расчетов приведены на рисунке 3.

Исходные данные: Глубина заложения- 8,1 м.; Диаметр тоннеля- 6,6 м.; Толщина тюбинга- 0,5м.; Жилые кирпичные дома – 12 этажей (ширина 20 м.), 9 этажей (ширина 40 м.), что соответствует эквивалентной нагрузке 10000 тонн.

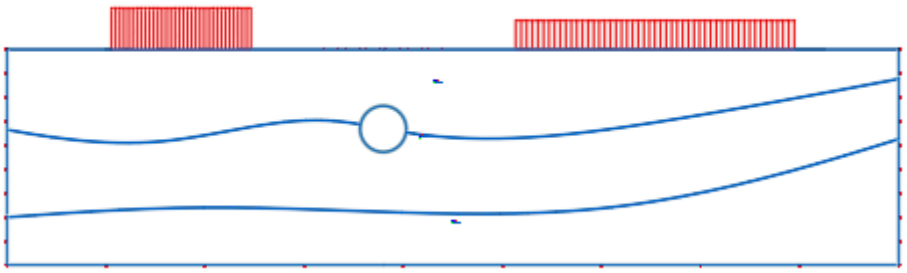


Рисунок 2 – Общий вид расчётной схемы

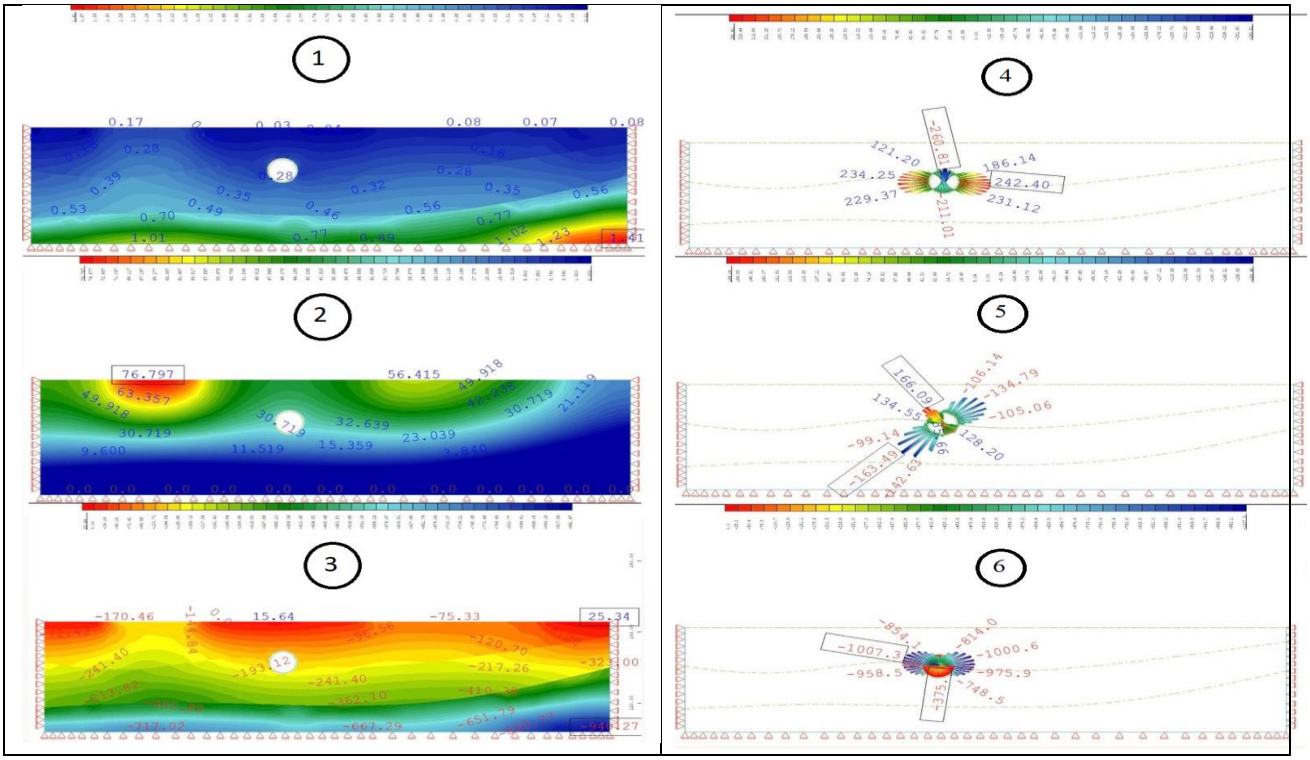


Рисунок 3 – Расчёт SOFiSTiK: 1. Распределение максимальных приведённых напряжений в грунте и конструкциях зданий при проходке тоннеля; 2. Перемещения грунтового массива по направлению оси Y; 3. Распределение деформаций зданий и грунта в зоне влияния тоннеля; 4. Расчётные усилия в сечении (изгибающий момент My); 5. Расчётные усилия в сечении (поперечная сила Vz); 6. Расчётные усилия в сечении (нормальная сила Nx)

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что несущая способность перегонного тоннеля обеспечена, осадки грунтового

основания в пределах допустимых величин. Строительство перегонного тоннеля не влияет на существующее пятно застройки.

Литература:

1. Л. В. Маковский, В. В. Кравченко, Н. А. Сула – «Строительство автодорожных и городских тоннелей». -2024 г.- 408 стр.

УДК 69.058

Приборы для неразрушающего ультразвукового контроля прочности бетона

***Качура Иван Игоревич**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В. А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Приборы для неразрушающего ультразвукового контроля прочности бетона измеряют скорости прохождения ультразвуковых волн через бетон, по которой можно приблизительно определить его прочность и качество.

Ультразвуковые приборы включают излучатель, приёмник и электронный блок обработки сигнала. Принцип измерения заключается в том, что время распространения ультразвука зависит от плотности бетона, наличия трещин и других дефектов. Чем выше прочность бетона, тем больше скорость ультразвуковой волны, но на результаты могут влиять влажность и возраст материала.



Рисунок 1 – Ультразвуковой прибор для контроля прочности бетона ПУЛЬСАР-2.1

На практике применяются различные ультразвуковые приборы, отличающиеся точностью и диапазоном измерений. Наиболее

распространёнными являются приборы УКС-МГ4 и ПУЛЬСАР. Основные характеристики этих приборов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики ультразвуковых приборов

Прибор	Диапазон измерений, м/с	Погрешность
УКС-МГ4	1000–8000	±5 %
ПУЛЬСАР-2.1	1000–10000	±5 %

Ультразвуковой метод позволяет достаточно быстро и без разрушения конструкции оценить прочность бетона и выявить возможные дефекты. При правильной настройке приборов и соблюдении методики измерений данный способ контроля является достаточно точным, но иногда результаты могут искажаться источниками погрешностей разного вида.

Литература:

1. Неразрушающий контроль в строительстве, Малиновский В.Н. 2018 г.
2. Методы контроля прочности бетона, Фролов А.А. 2020 г.
3. ГОСТ 17624–2012. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.
4. Приборы ультразвукового контроля строительных материалов, Кузнецов С.В. 2019 г.

УДК 624.21

Путепровод по магистрали М-3 Минск-Витебск

Кекшук Артём Сергеевич, *студент 4 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Шарко Е.А., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

Рассматриваемый путепровод является элементом транспортной развязки типа «обжатый ромб» на автодороге М-3 «Минск-Витебск» и обеспечивает пересечение с автодорогой М-4 «Минск-Гомель» (Рис. 1).



Рисунок 1 – Общий вид путепровода

Элементы опор (насадки, шкафные и щековые стенки) выполнены монолитными. В целях защиты конструкций от атмосферных воздействий предусмотрен комплекс мер: устройство сливов, нанесение гидрофобизирующей грунтовки на верхние поверхности насадок, торцевые зоны шкафных стенок и подферменные площадки. Для придания архитектурного облика фасадные поверхности опор отделываются фасадной водно-дисперсионной акриловой краской по утвержденному цветовому решению.

Пролетное строение спроектировано в виде железобетонной рамно-неразрезной системы с четырьмя пролетами по схеме 18+21+21+19 метров. Для его возложения применены индивидуальные железобетонные балки высотой 1,3 метра и длиной, соответствующей пролетам. В поперечном сечении установлено 10 балок с шагом 1,1 м, который увеличивается до 1,15 м в зоне разделительной

полосы. Объединение балок в единую неразрезную конструкцию достигнуто за счет устройства монолитных надопорных участков на промежуточных опорах (№2-№4) и продольных швов омоноличивания. Опирание на крайние опоры осуществляется с использованием металлических опорных частей.

УДК 624.19

Подземная транспортная развязка, расположенная в многофункциональном комплексе в г. Бресте на пересечении проспекта Машерова, бульвара Космонавтов и бульвара Шевченко

Киселевич Никита Николаевич, *студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Для разработки проекта с учётом возможного строительства тоннеля в качестве объекта был выбран город Гомель (Республика Беларусь). Численность населения города составляет примерно 501 тыс. человек, при плотности около 3606 человек на квадратный километр. В рамках работы была поставлена задача оптимизации транспортных и пассажирских потоков на пересечении улиц Фрунзе и Барыкина путём проектирования системы тоннелей, а также многофункционального комплекса, включающего подземную и надземную части. Одной из актуальных проблем крупных европейских городов является дефицит парковочных мест, поэтому в проекте также предусматривалось решение данной задачи.

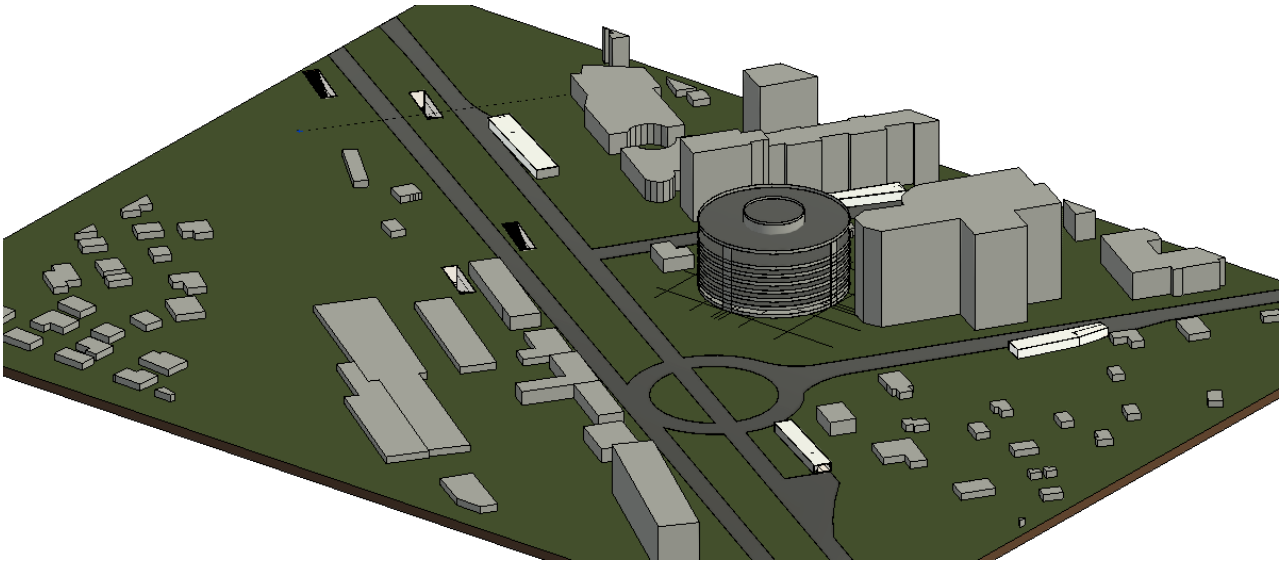


Рисунок 1 – 3D модель в Revit

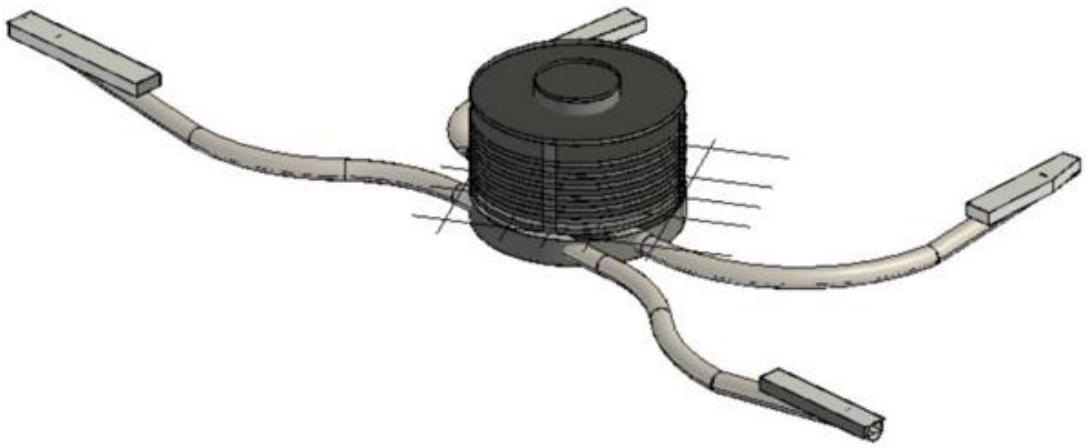


Рисунок 2 – Концептуальное решение сети тоннелей, многофункционального комплекса, объемный вид со стороны портала А

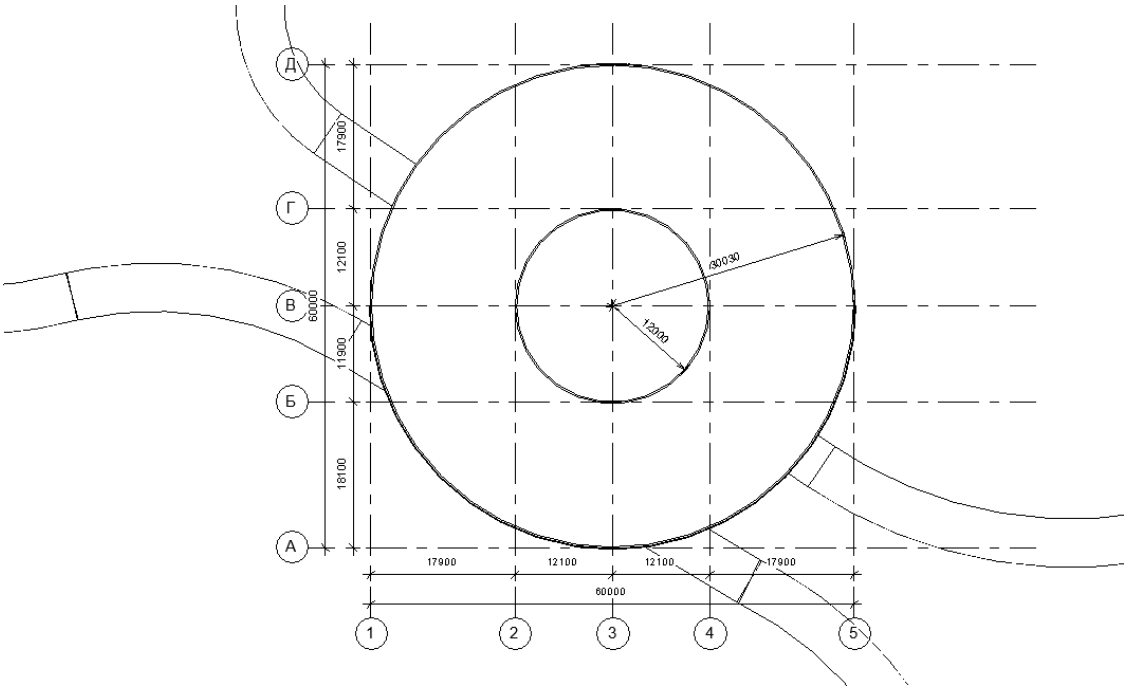


Рисунок 3 – План комплекса на отм. -10.000

Для анализа реализуемости строительства подземных сооружений и снижения вероятности обрушений в процессе эксплуатации в качестве расчётного инструмента была использована программа SOFiSTiK Plus.

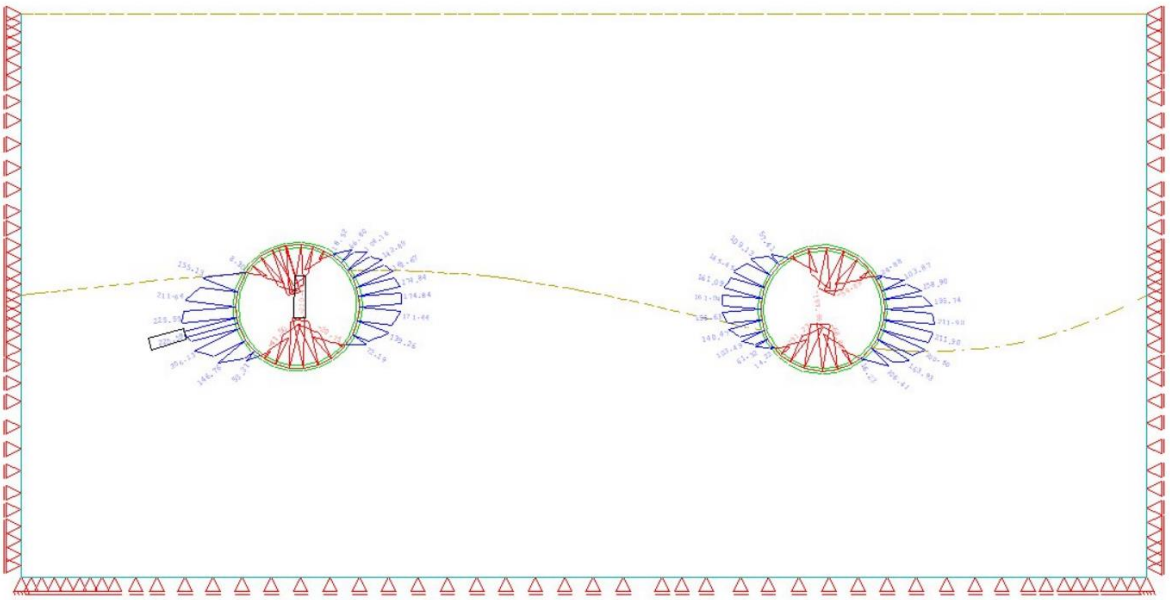


Рисунок 4 – Расчет сети тоннелей на изгибающий момент My с учетом инженерно-геологических условий

По результатам расчёта тоннельной сети установлено, что несущая способность конструкций обеспечена, следовательно, строительство и дальнейшая эксплуатация объекта являются технически осуществимыми.

Литература:

1. Пастушков Г. П., Кузьмицкий В. А., Олляк В. Ю., Кузмицкий Д. В. «Проектирование тоннелей, сооружаемых горным способом: учеб.-метод. пособие к курсовому и дипломному проектированию». — Минск: БНТУ, 2005.
2. Кузьмицкий В. А., Пастушков В. Г. «Проектирование тоннелей, сооружаемых щитовым способом: пособие к курсовому и дипломному проектированию». — Минск: БНТУ, 2009. — 211 с.

УДК 624.21

Виды деформационных швов мостовых сооружений

***Кирик Алина Владимировна**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Деформационный шов (ДШ) – это специально спроектированный инженерный узел, который перекрывает подвижный зазор в местах стыка двух несущих балок моста. Основное назначение деформационных швов – компенсация перемещений строительных конструкций при деформациях от динамических нагрузок и неравномерной осадки опорных частей. Деформационный шов обеспечивает плавность проезда для транспорта и защищает нижележащие конструкции от попадания воды, льда, искусственных или природных загрязнений.

Различают: открытый, закрытый, заполненный и перекрытый типы деформационных швов.

Основным недостатком шва открытого типа является то, что в него свободно попадает вода, грязь и различные предметы. Такой шов не распространен, поскольку ежедневно нуждается в очистке.

Шов закрытого типа образует непрерывную поверхность проезда. Компенсатор деформационного шва и его основная конструкция перекрывается асфальтобетонным покрытием.

Шов заполненного типа – применяются в тех случаях, когда необходимо обеспечить деформации большой величины, он отличается сложностью конструкции и высокими требованиями к обслуживанию (Рис.1).



Рисунок 1 – Деформированный шов заполненного типа

Шов перекрытого типа закрывает деформационный зазор каким-либо элементом (листом, плитой), который остается подвижным при перемещениях концов пролетного строения.

Литература:

1. «Деформированные швы мостовых сооружений на автомобильных дорогах» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200112562/titles/7DA0K5. — Дата доступа: 26.11.2025.
2. «Мостовые деформационные швы» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://b-monitoring.ru/product/deformatsionnye-shvy/. — Дата доступа: 27.11.2025.
3. «Назначение деформационных швов, виды деформационных швов: для мостов, между зданиями, в промышленных зданиях» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://novamsk.ru/articles/deformatsionnyie_shvyi_naznachenie_vidyi.html. — Дата доступа: 27.11.2025.

УДК 624.21

Расчет вантового автомобильного моста с использованием программы «SOFiSTiK»

***Ковалева Екатерина Ивановна**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Щербо А.Д., преподаватель-стажёр
кафедры «Мосты и тоннели»

В рамках дисциплины «Автоматизация проектирования мостов» были определены основные размеры для расчетной схемы вантового моста, со следующими характеристиками: габарит Г-8; схема 20+120+20 м; марка стали 15ХСНД; нагрузка АК-14. Пролётное строение выполнено балочным с ортотропной плитой. Пилоны коробчатого сечения высотой 30 м. Конструкция каната типа К7 состоит из 7 пучков диаметром 72 мм. Высоту балки жесткости приняли $h_б$=1,5 м.

Расстояние между вантами по балке (панель) приняли d = 20 м.

Угол наклона вант к горизонту α > 20° ÷ 25°. С уменьшением угла наклона уменьшается разгружающее влияние вант на балку.

$$\alpha > 20° \div 25° = 26{,}56 > 20° \div 25°$$

$$\alpha > 20° \div 25° = 45 > 20° \div 25°$$

Общий вид сооружения представлен на рисунке 1.

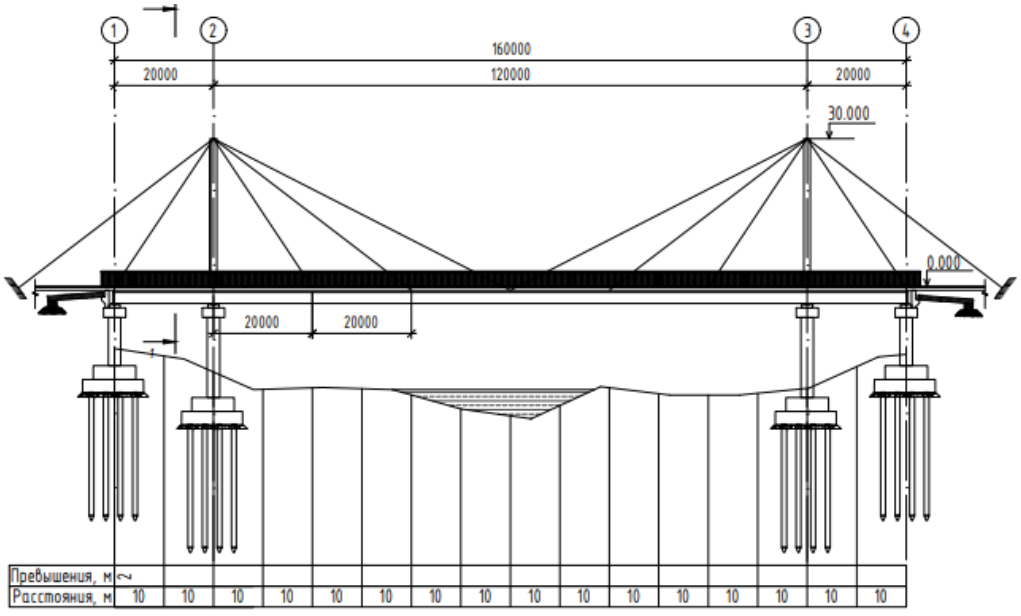


Рисунок 1 – Фасад вантового моста в осях 1 – 4

Расчет был произведен в 2 этапа: разработка расчетной схемы в программном комплексе «AutoCAD», с последующим экспортом в SOFISTIK (рисунок 2, рисунок 3, рисунок 4).

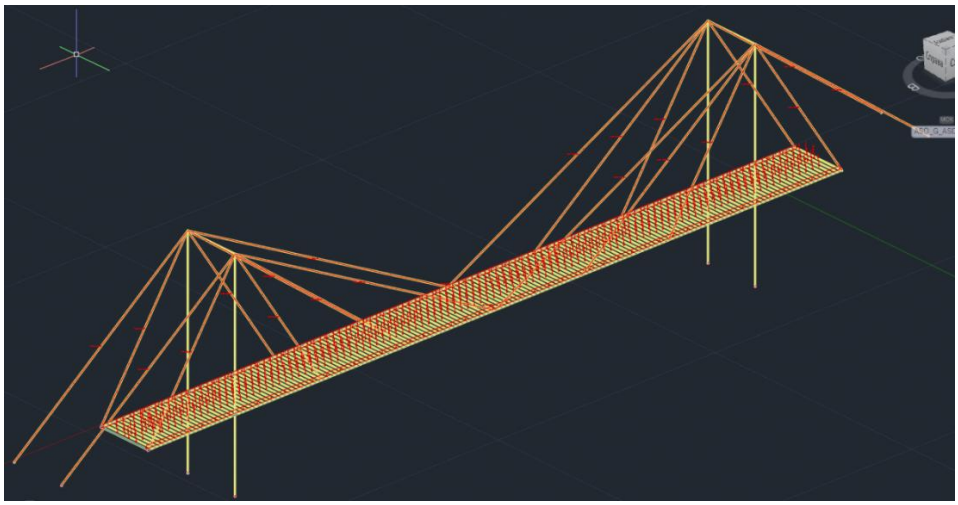


Рисунок 2 – Расчетная схема сооружения (AutoCAD)

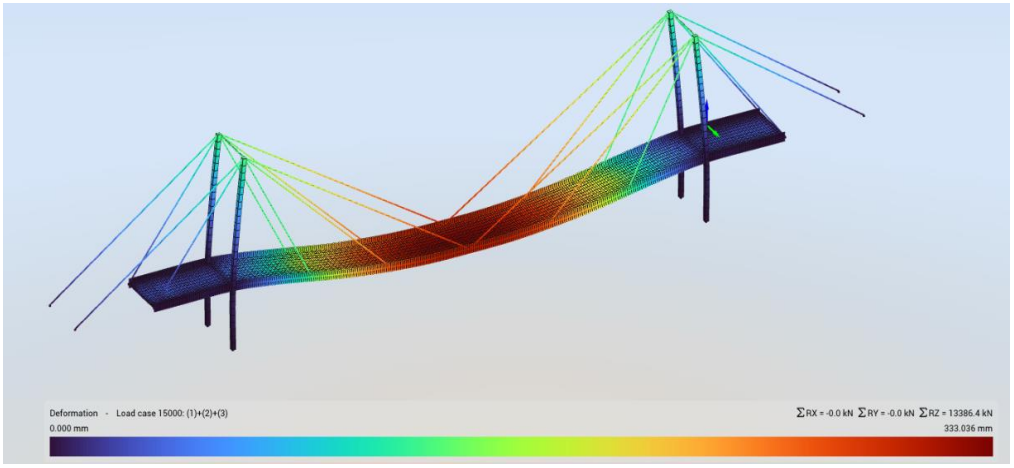


Рисунок 3 – Деформирование расчетной схемы сооружения «SOFiSTiK»

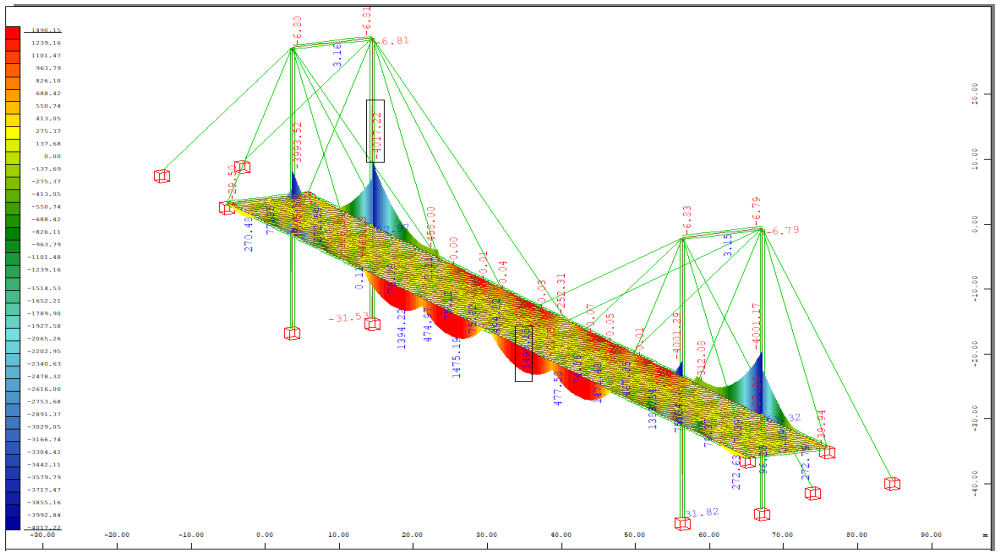


Рисунок 4 – Эпюры максимального изгибающего момента My (кН·м)

Расчеты, выполненные в соответствии со СН 3.03.01-2019, показали, что прогиб ортотропной плиты и несущая способность ее элементов находятся в пределах допустимых величин. Использование комплекса «SOFiSTiK» значительно сократило время на разработку расчетной схемы.

Литература:

1. СН 3.03.01-2019 – Мосты и трубы. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020 – 279с.
2. Проектирование металлических мостов: Учеб. /Под ред. А. А. Петропавловского. — М.: Транспорт, 1982. — 320 с.

УДК 624.21

Влияние строительства тоннеля метрополитена на существующую застройку, в г. Могилёв по пр. Мира

***Ковалева Екатерина Ивановна**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

При выборе места проложения линии метрополитена, нужно учитывать такие данные, как: пассажиропоток, наличие промышленных зон, существующие и планируемые застройки. Существующая застройка может значительно влиять на строительство метрополитена, она создает деформации в грунте, вызывая сложности при проектировании и при строительстве.

В рамках курса «Автоматизация проектирования мостов» рассматривается влияние существующей застройки на возможность проложения метрополитена, для этого проводится расчет с помощью программного комплекса SOFiSTiK.

Для рассмотрения был выбран город Могилев, по проспекту Мира (Рисунок 1).

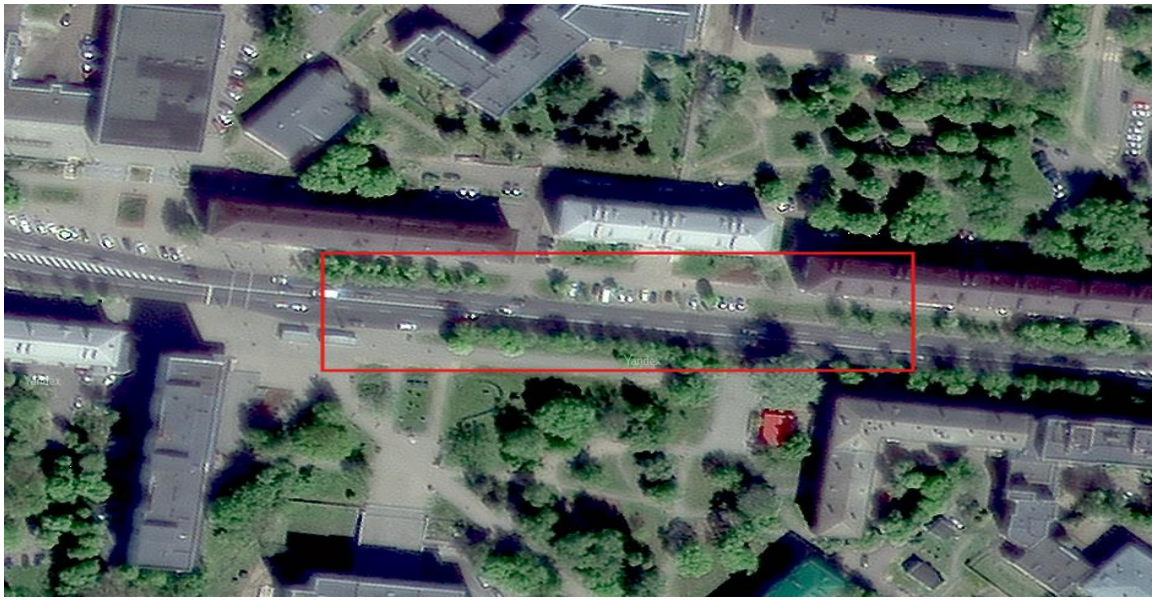


Рисунок 1 – Трасса тоннеля

С помощью расчетного комплекса «SOFiSTiK» на основе данных инженерно-геологических изысканий, была разработана расчетная схема сооружения (Рисунок 2).

Исходные данные: Глубина заложения – 8,3 м.; Диаметр тоннеля – 6,8 м.; Ширина тюбинга – 0,3 м.; Жилые железобетонные дома – 7 этажей (ширина 40 м.), 14 этажей (ширина 40 м.).

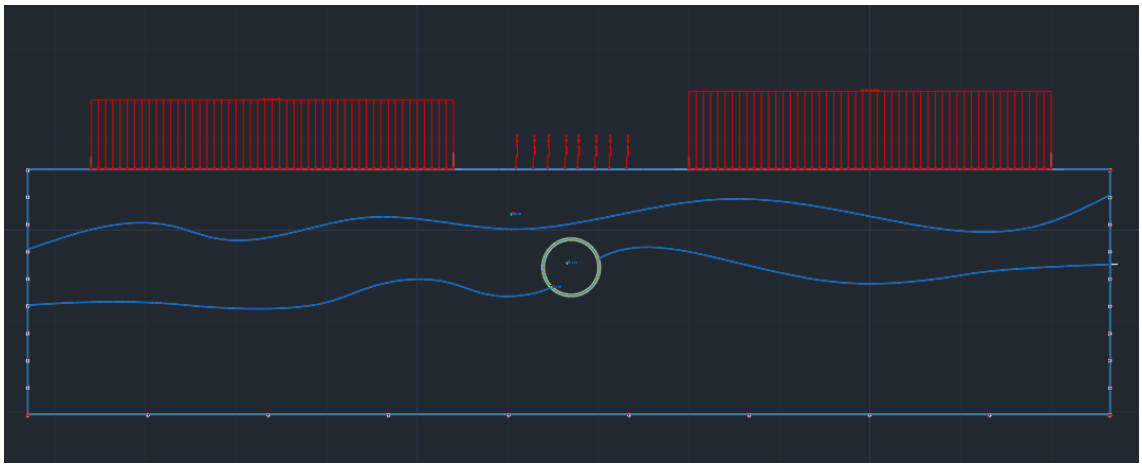
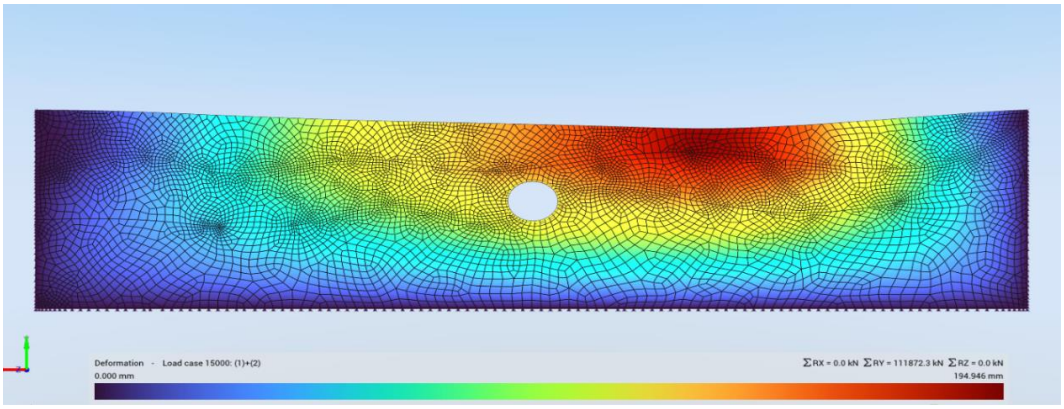
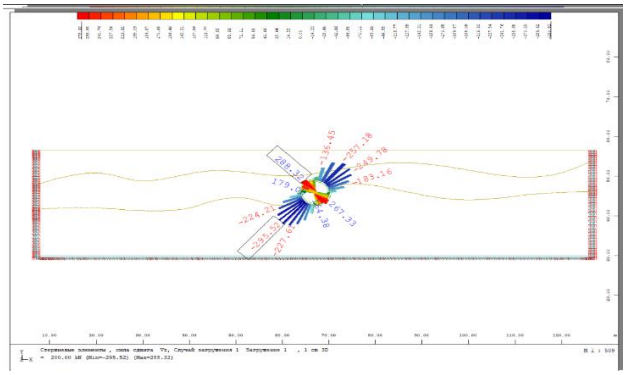


Рисунок 2 – Общий вид расчётной схемы

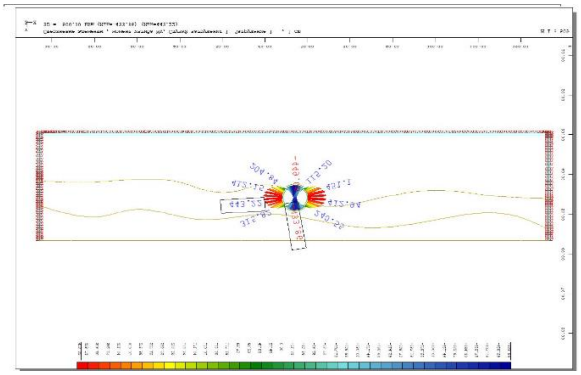
Расчет был произведен в 2 этапа: разработка расчетной схемы в программном комплексе «AutoCAD», с последующим экспортом в SOFiSTiK (рисунок 3).



1. Перемещения грунтового массива



2. Расчётные усилия в сечении (поперечная сила Vz);



3. Расчётные усилия в сечении (изгибающий момент My) ;

Рисунок 3 – Результаты расчета «SOFiSTiK»

На основании расчетов, можно сделать вывод, что прочность конструкции обеспечена. Расчет позволил нам выявить опасные зоны, которые впоследствии при проектировании будут учтены и разработаны с большей внимательностью.

Литература:

1. Л. В. Маковский, В. В. Кравченко, Н. А. Сула – «Строительство автодорожных и городских тоннелей». -2024 г.- 408 стр.

УДК 624.21

Дорожный тоннель через Алматы-Бишкек

***Козловский Тимофей Павлович**, студент 4 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулаго Ю.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

Проектирование тоннеля между городами Алматы и Бишкек обусловлено необходимостью создания безопасного и эффективного транспортного коридора, сокращающего путь и минимизирующего риски для водителей. Ключевым аспектом проекта стало комплексное инженерное изыскание, определившее следующие условия и решения.

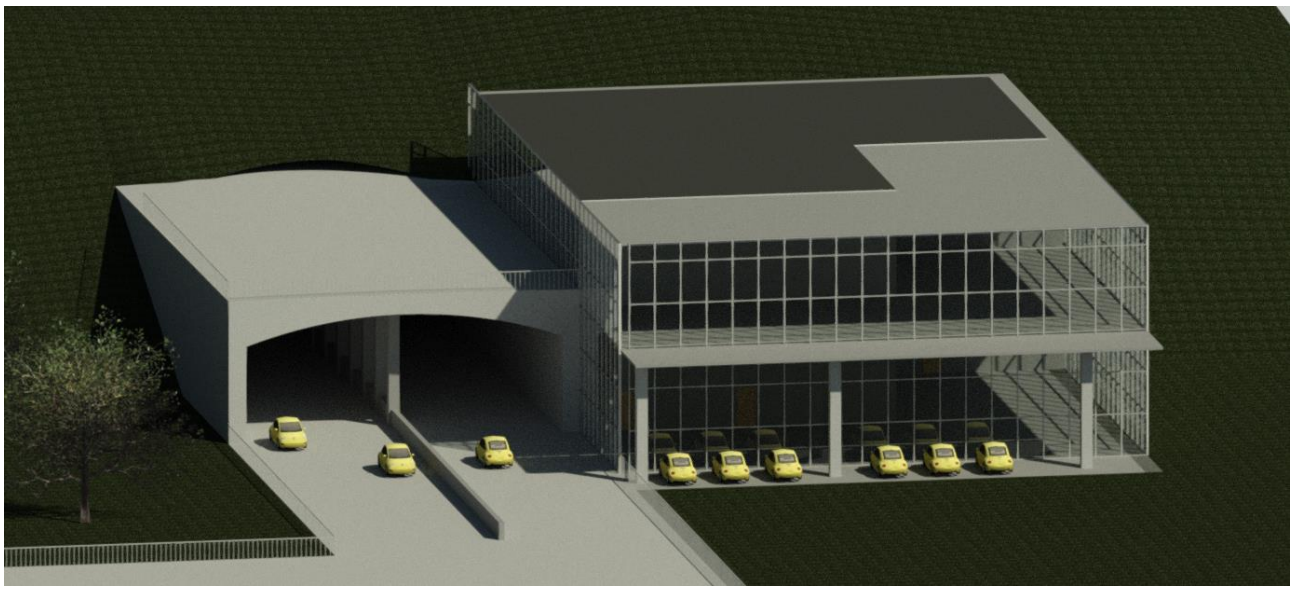


Рисунок 1 – Общий вид

Инженерно-геологические исследования выявили, что горный массив сложен неустойчивыми породами (отсутствие гранитов и прочных сланцев), что потребовало применения закрытого способа строительства и возведения усиленной поддержки для компенсации горного давления. Трасса была проложена в обход зон тектонических разломов и сейсмической активности для обеспечения долговечности сооружения.

Гидрогеологические условия района характеризуются приемлемым уровнем грунтовых вод, что позволило снизить расходы на дренажные системы и минимизировать риск водопритоков в процессе строительства и эксплуатации.

Выбор перевала со средней высотой повлиял на проектные параметры: увеличение длины тоннеля и уменьшение продольного уклона подходов для безопасного движения тяжелогруженого транспорта. С экологической точки зрения, данное расположение обеспечивает минимальное воздействие на ландшафт и избегает фрагментации значительных ареалов обитания фауны.

По результатам проведенных изысканий и проектного анализа, выбранная местность признана оптимальной для реализации проекта. Строительство тоннеля обеспечит кратчайшее и безопасное сообщение между Алматы и Бишкек, сократив временные затраты на переезд вдвое.

Литература:

1. СН 1.03.01-2019 – Дата доступа: 19.11.2025.
2. СН 4.03.01-2019 – Дата доступа: 19.11.2025.
3. СП 4.04.01-2022 – Дата доступа: 19.11.2025.

УДК 624.21

Дорожный тоннель через Штег-Айнедсбах

***Концевенко Иван Викторович**, студент 4 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулаго Ю.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

Тоннель является объектом, который создает свободное движение транспортного потока через препятствие, созданное неровностью ландшафта. Тоннеля – одно из сложнейших сооружений. Затрачивает огромные ресурсы, требует много точных расчётов и замеров.

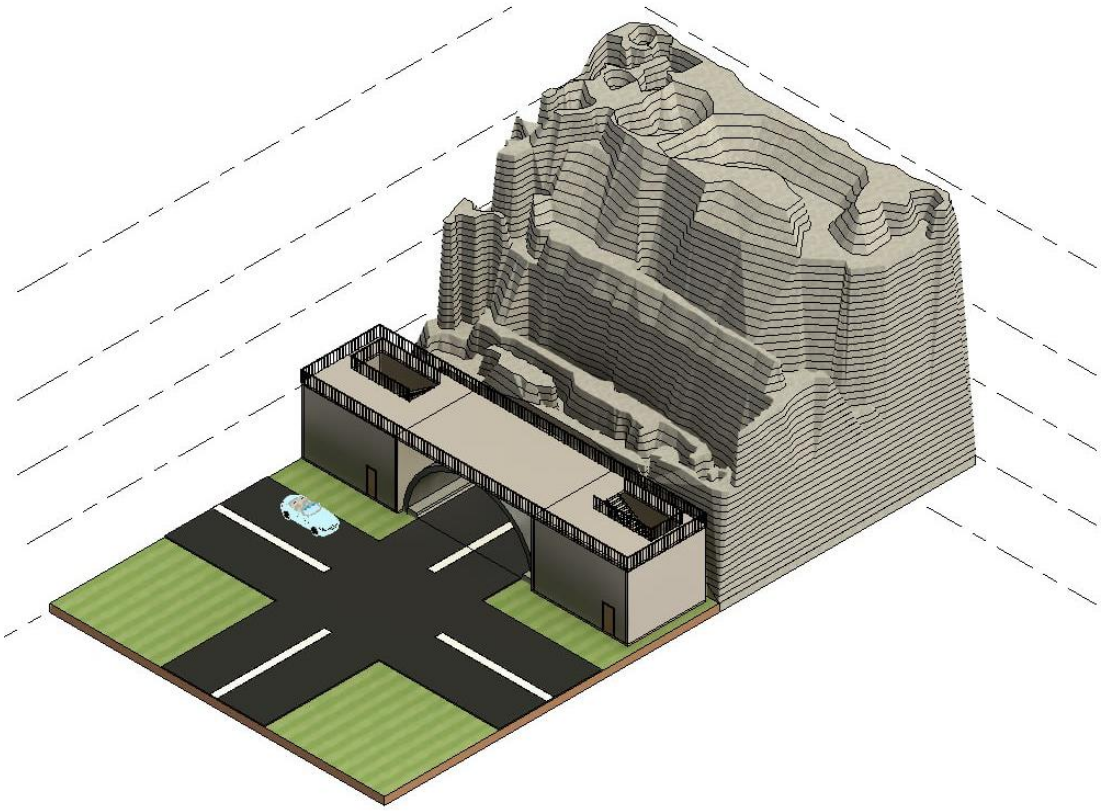


Рисунок 1 – Общий вид

Выбору подлежали города Штег и Айнедсбах, в связи с необходимостью тоннеля через гору. Инженерная геология не выявила сложных горных массивов, горные породы не очень прочные, нет твердого гранита или прочного сланца. Это показывает, что несущие стены тоннеля не способны выдержать давления. Более безопаным способом в этом случае будет закрытый способ строительства. Трасса тоннеля была проложена в местах отсутствия крупных разломов и зон с

вероятностью землетрясения. Сделано для обеспечения безопасности сооружения и долговечности. Уровень грунтовых вод в данной местности находиться достаточно низко. Данный факт означает минимальные траты на осушение участка и затопление во время строительства.

Выбранный перевал имеет среднюю высоту, из-за этого предполагаемый тоннель будет иметь длину больше и уменьшится продольный уклон подъездных путей, для безопасности движения тяжёлого транспорта.

Один из критериев было минимальное влияние на природный ландшафт и не разделяет среду обитания животных. Действует баланс длины и затрат на реализацию проекта.

Делая вывод после всех исследований, можно уверенно сказать, что данное место — оптимальный вариант для строительства автодорожного тоннеля. Он обеспечит водителям быстрый и безопасный путь, сократив время в пути.

Литература:

1. СН 1.03.01-2019 – Дата доступа: 26.11.2025.
2. СН 4.03.01-2019 – Дата доступа: 26.11.2025.
3. СП 4.04.01-2022 – Дата доступа: 26.11.2025.

УДК 621.1

Автомобильный Тоннель Велс – Всеволодо-Благодатское

***Корнеков Денис Федорович**, студент 4 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулаго Ю.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

Проект данного автомобильного тоннеля запланирован между двумя населенными пунктами Российской Федерации близ Уральских гор: поселок Велс, Пермский край, и поселок Всевлодо-Благодатское, Свердловская область.



Рисунок 1 – Трасса тоннеля

Местность характеризуется как сложная, горная, а общая протяженность тоннеля составит 70 км.

Проект тоннеля включает себя два портала с односторонними проезжими частями, а также многоцелевой комплекс с паркингом и парковкой. Комплекс интегрирован с самим тоннелем и может быть использован под самые разные нужды, например отель или же бизнес-центр.

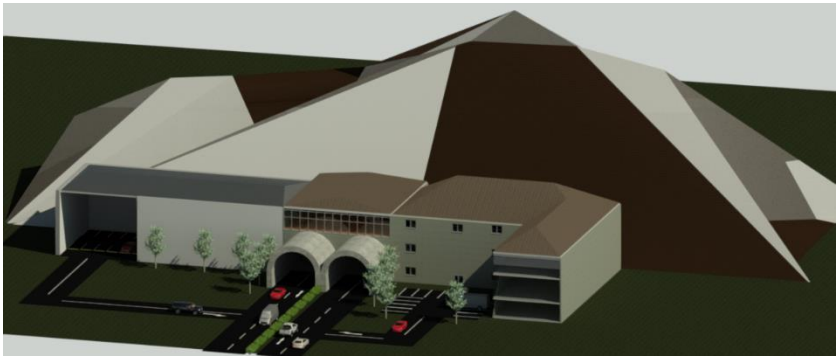


Рисунок 2 – Общий вид сооружения

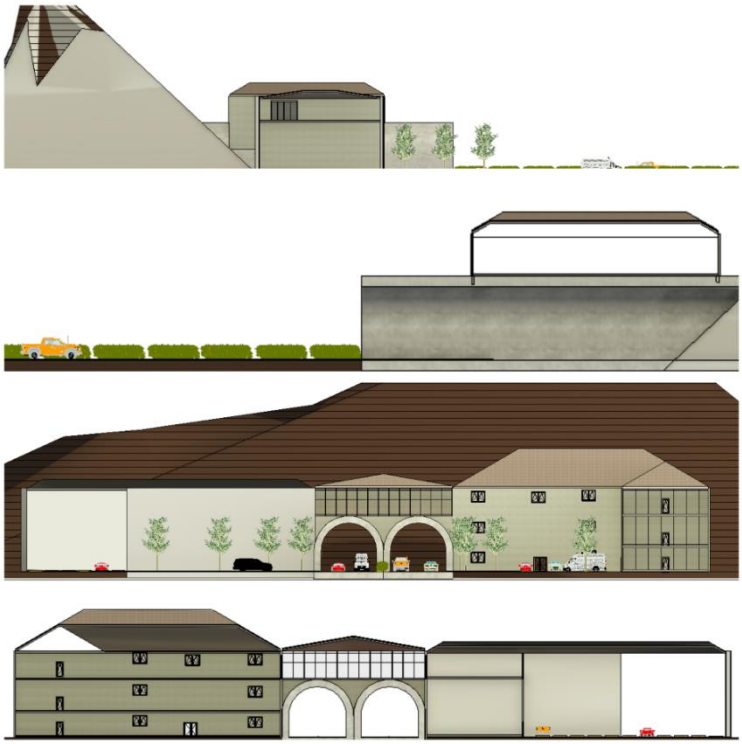


Рисунок 3 – Фасады сооружений

Размер каждого из порталов предполагается строить 8 метров в ширину и 7 метров в высоту, из чего общий габарит порталов будет составлять 16 метров в ширину и 7 метров в высоту.

Также из особенностей данного транспортного сооружения можно выделить то что оно должно будет проходить под Государственным природным заповедником «Денежкин камень»

Литература:

1. Колокова Н.М., Копац Л.М., Файнштейн И.С. «Искусственные сооружения». М., Маковский Л.В. «Проектирование автодорожных и городских тоннелей». М., Транспорт, 1993 г.
2. Волков В.А., Наумов С.Н., Пирожкова А.Н., «Тоннели и метрополитены».

УДК 624.21

Железнодорожный тоннель в Лашкуте (Россия)

Кудрейко Евгений Михайлович, *студент 4 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулаго Ю.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

Тоннель железнодорожный между Лашкутой и Нижним Чегемом пролегает внутри горы Урхаюк. Он соединяет несколько населенных пунктов в Кабардино-Балкарской Республике России. Плюсами тоннеля такого типа является

Повышение безопасности: В отличии от обычных дорог, данный маршрут является защищённым, поэтому минимизирует опасность, связанную с природными явлениями, такими как лавина и оползень.

Длительность пути сокращается: так как тоннель идёт практически напрямую между населенными пунктами.

Рост экономики: более удобная логистика способствует росту торговли и инвестиций, что в свою очередь даёт экономическое процветание региону.

Эксплуатация вне зависимости от времени года: В зимний период можно не беспокоится о климатических условиях, так как тоннель конструкция закрытая и ему не угрожает заснеженность.

Данные преимущества способствуют улучшению уровню жизни региона и населения.

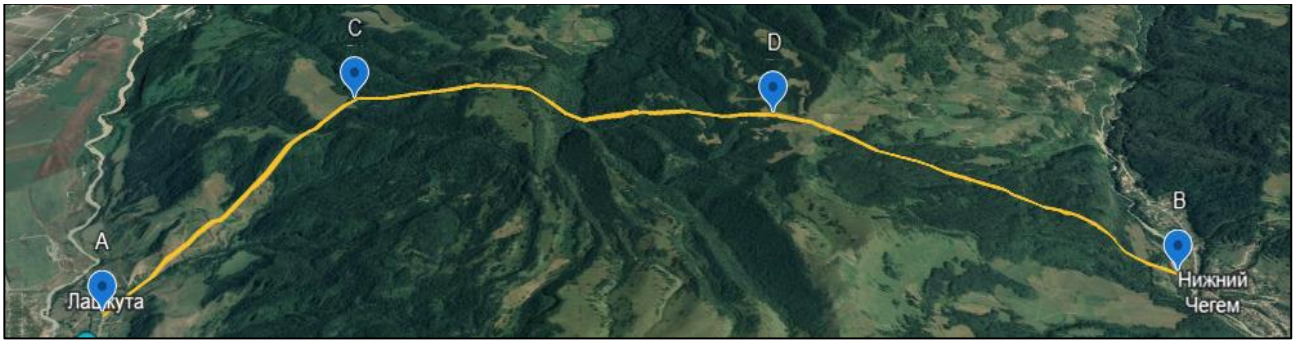


Рисунок 1 – План местности

Данный тоннель имеет протяженность в районе 10 километров. Максимальный уклон трассы не превышает 3 ‰ (Рис. 2). Скоростное

ограничение в тоннеле составляет 100 км/ч. Данный тоннель имеет два железнодорожных пути.

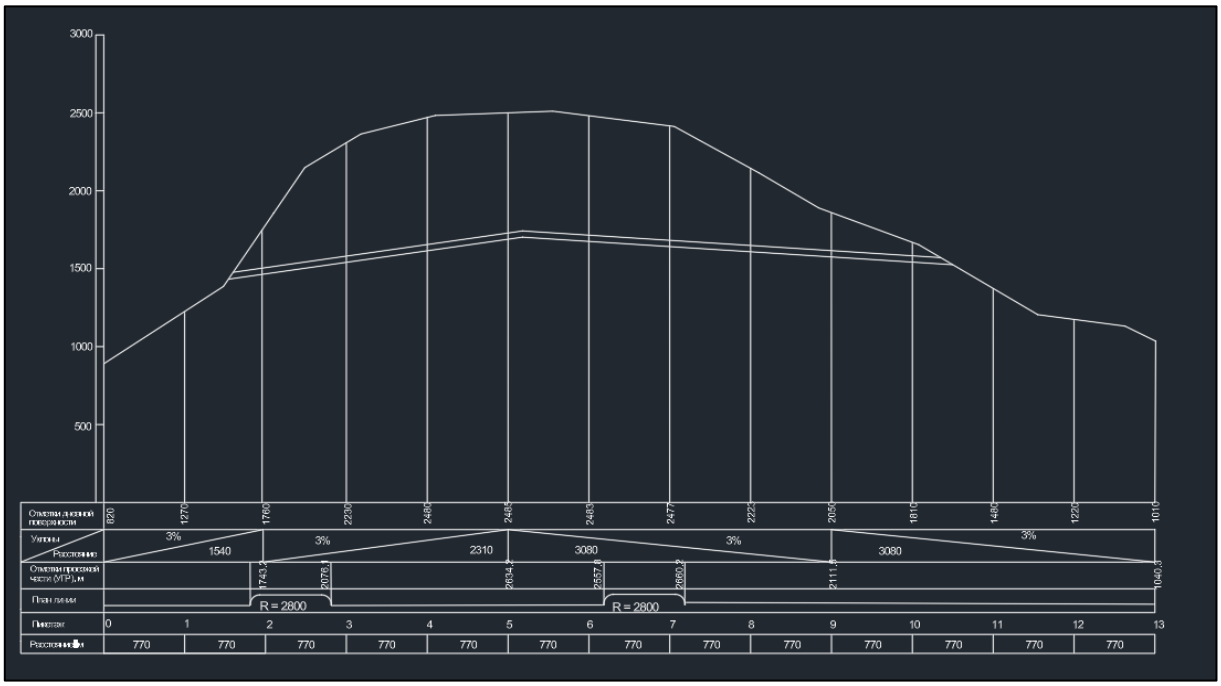


Рисунок 2 – Продольный профиль

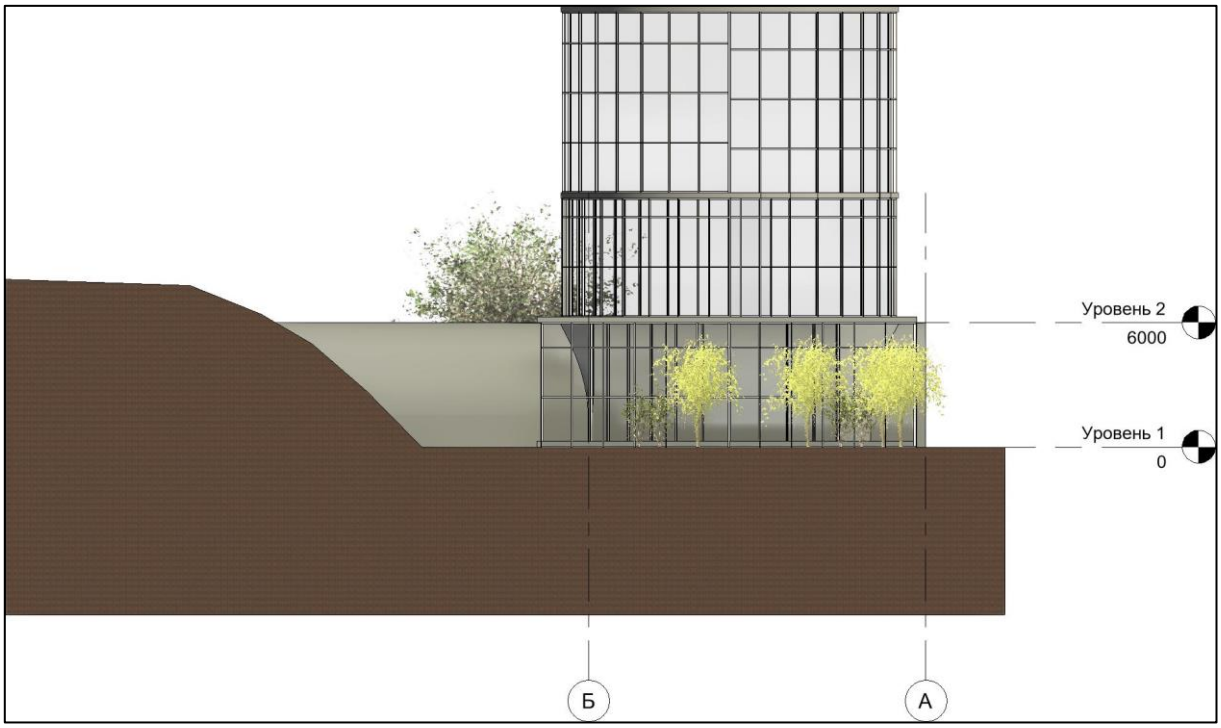


Рисунок 3 – Западный фасад

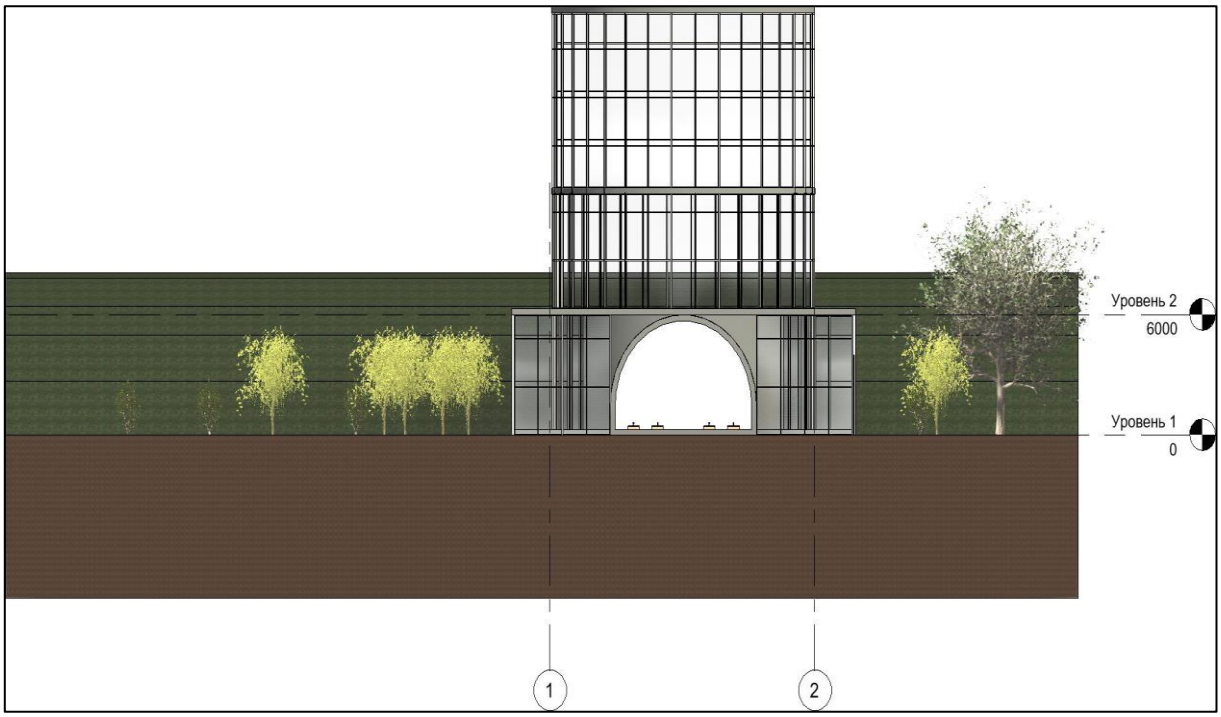


Рисунок 4 – Южный фасад

Литература:

1. Маковский Л.В. «Проектирование автодорожных и городских тоннелей». М., Транспорт, 1993 г.

УДК 624.21

Расчет висячего автомобильного моста с учетом предварительного натяжения канатов

***Логвин Владимир Сергеевич**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Щербо А.Д., преподаватель-стражёр
кафедры «Мосты и тоннели»

Мною была разработана расчетная схема металлического висячего моста, со следующими характеристиками: сооружение расположено на автомобильной дороге III технической категории; габарит Г-10; схема 30+140+30 м; марка стали 15ХСНД; нагрузка АК-14. Пролётное строение выполнено балочным с ортотропной плитой. Пилоны коробчатого сечения высотой 20 м. Конструкция каната типа К7 состоит из 7 пучков диаметром 72 мм. Подвески выполнены из канатов диаметром 62 мм. Общий вид сооружения представлен на рисунке 1.

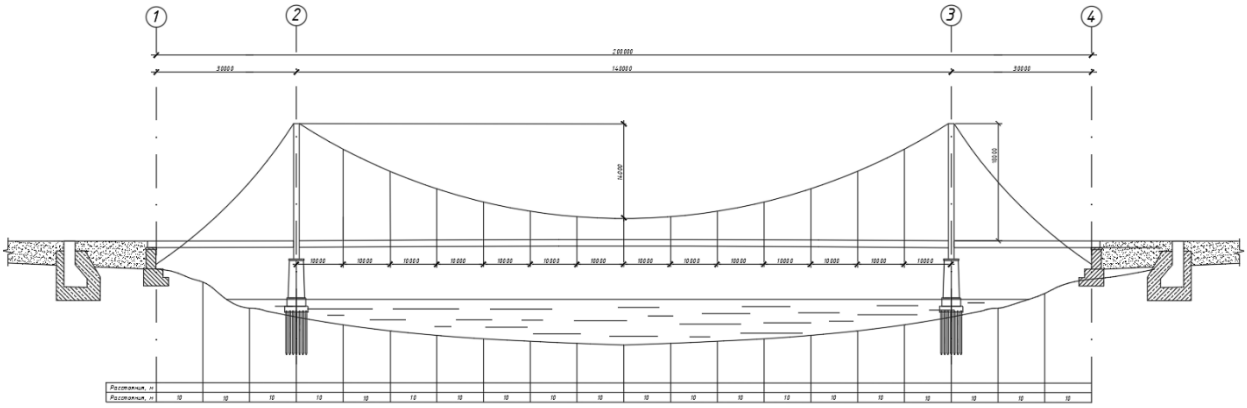


Рисунок 1 – Фасад висячего моста в осях 1 – 4

Расчетная схема была разработана с использованием программного комплекса «AutoCAD», которая в дальнейшем была экспортирована в расчетный комплекс «SOFiSTiK», заданы геометрические характеристики и физико-механические свойства материалов, приложены внешние нагрузки с учетом собственного веса сооружения, предварительное натяжение канатов (рисунок 2, рисунок 3).

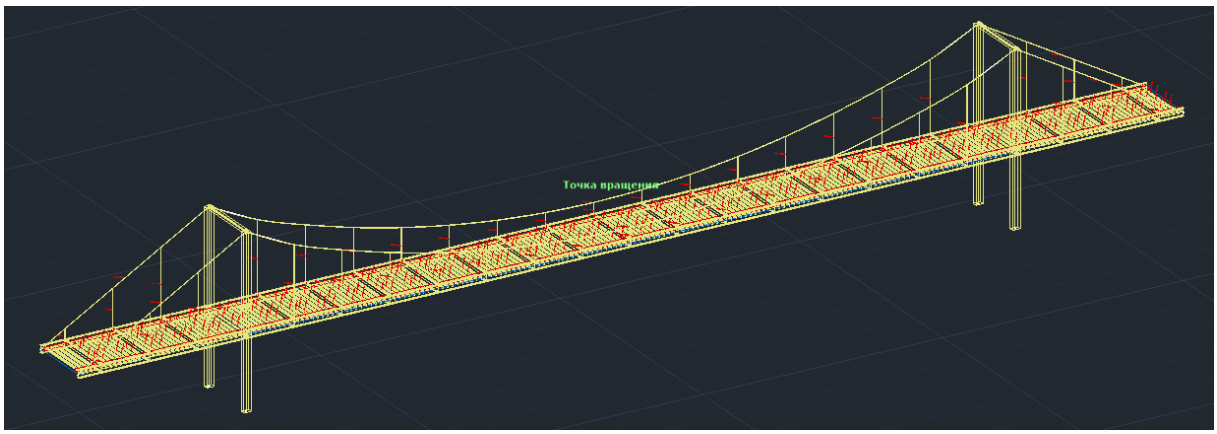
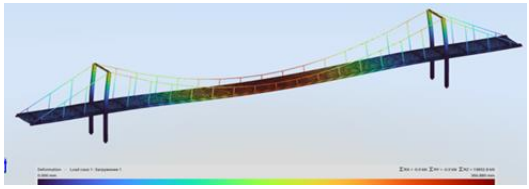
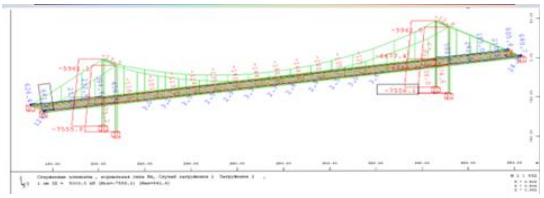


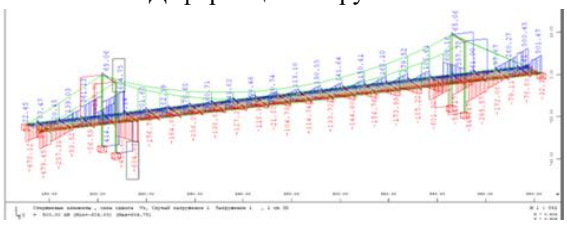
Рисунок 2 – Расчетная схема сооружения



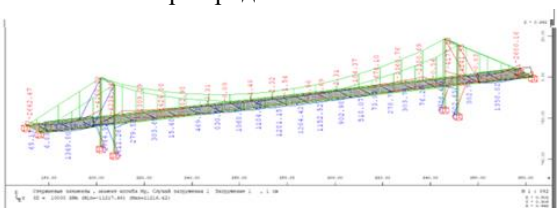
1. Деформации сооружения



2. Эпюра продольных сил Nmax



3. Эпюра поперечных сил Qmax



4. Эпюра моментов Mmax

Рисунок 3 – Расчетная схема сооружения

В соответствии с действующими нормативными документами (СН 3.03.01-2019, пункт 6.2.2), прогиб ортотропной плиты, в середине пролёта не превышает предельно допустимых значений, несущая способность применяемых элементов обеспечена. Использование расчетного комплекса «SOFiSTiK» оптимизировало время, затрачиваемое на разработку расчетной схемы.

Литература:

1. СН 3.03.01-2019 – Мосты и трубы. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020 – 279с.
2. Проектирование металлических мостов: Учеб. /Под ред. А. А. Петропавловского. — М.: Транспорт, 1982. — 320 с.

УДК 624.21

Влияние строительства тоннеля метрополитена на существующую застройку, в г. Минск на Логойском тракте

***Логвин Владимир Сергеевич**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

При разработке проекта строительства нового тоннеля метрополитена был выполнен комплекс технических расчётов, направленных на разработку актуального проектного решения с учетом долговечности и безопасности подземного сооружения, а также его влияния на существующую городскую застройку. Место расположения объекта – город Минск (Первомайский район), Логойский тракт, имеющий координаты 53.951339, 27.617444, с учетом анализа вариантов проектных решений, пятна застройки и трассы тоннеля (Рисунок 1).

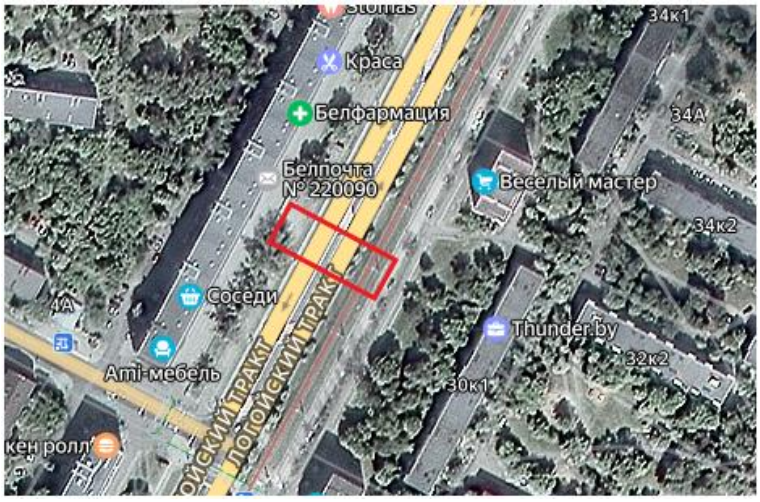


Рисунок 1 – Трасса тоннеля

Перегонный тоннель расположен в жилом квартале имеющий жилые дома, попадающие в зону влияния пятна строительно-монтажных работ. Появилась необходимость выполнить детальный расчёт характера поведения конструкций на этапе строительства и последующей его безопасной эксплуатации с учетом долговечности. Определены величины деформаций грунтового основания и выполнена оценка вероятности осадки конструкций жилых домов.

Используя данные инженерно-геологических изысканий, профиль трассы тоннеля и используемые конструктивные решения, была разработана расчетная схема сооружения с использованием многофункционального расчетного комплекса «SOFiSTiK» (Рисунок 3).

Исходные данные (Рисунок 2): Глубина заложения-8,8 м.; Диаметр тоннеля-7,3 м.; Ширина тюбинга-0,4 м.; Жилые кирпичные дома – 9 этажей (ширина 30 м.), 11 этажей (ширина 50 м.), что соответствует эквивалентной нагрузке 10000 тонн.

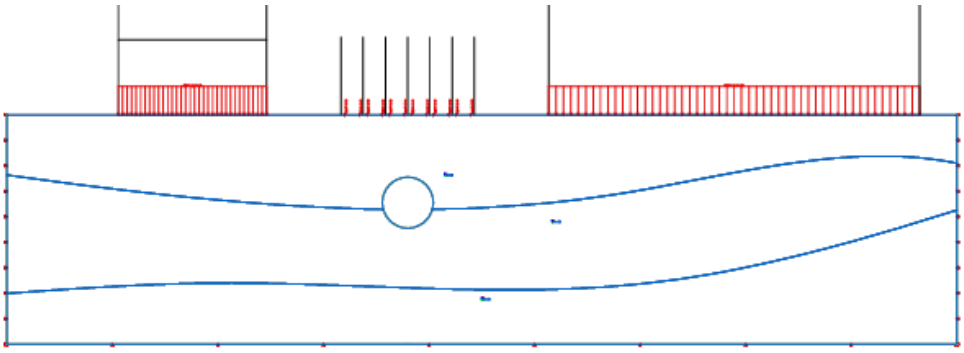


Рисунок 2 – Общий вид расчётной схемы

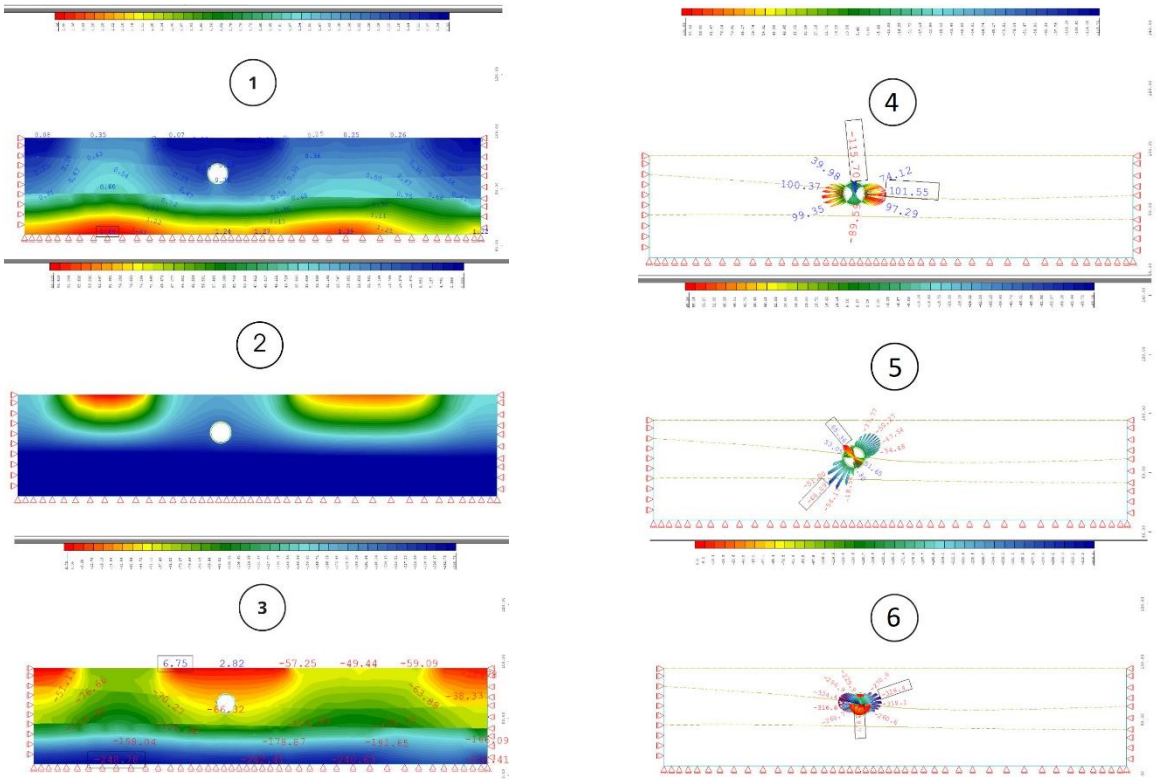


Рисунок 3 – расчёт SOFiSTiK: 1. Распределение максимальных приведённых напряжений в грунте и конструкциях зданий при проходке тоннеля; 2. Перемещения грунтового массива по направлению оси Y; 3. Распределение деформаций зданий и грунта в зоне влияния тоннеля. 4. Расчётные усилия в сечении (изгибающий момент My); 5. Расчётные усилия в сечении (поперечная сила Vz); 6. Расчётные усилия в сечении (нормальная сила Nx)

На основании результатов выполненных расчетов, можно утверждать, что несущая способность основных конструкций перегонного тоннеля обеспечена, осадки грунтового основания не превышают предельно допустимых величин. Жилые дома попадающие в зону влияния строительно-монтажных работ

обеспечивают восприятие внешних воздействий, усиление основания не требуется.

Литература:

1. Л. В. Маковский, В. В. Кравченко, Н. А. Сула – «Строительство автодорожных и городских тоннелей». -2024 г.- 408 стр.

УДК 624.21

Строительство монолитного моста методом продольной надвижки

***Логвин Владимир Сергеевич**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Драгун К.В., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Строительство мостов с каждым годом улучшается и прогрессирует, но не всегда новые способы бывают дешевыми и практичными. В данном тезисе я хотел рассказать про один из старых и не популярных методов строительства монолитных мостов – продольная надвижка.

Строительство монолитного моста методом продольной надвижки — это технология, при которой пролетное строение (часто железобетонное) изготавливается по частям прямо на берегу (на стапеле), а затем надвигается на опоры, скользя по специальным прокатным устройствам с помощью аванбека, до проектного положения, после чего демонтируются временные конструкции и мост опускают на опорные части. Схема данного метода представлена на Рисунке 1.

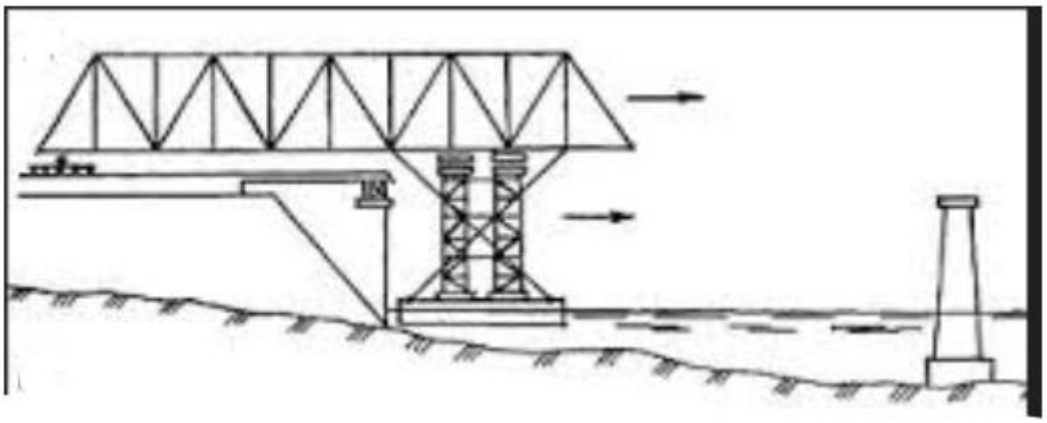


Рисунок 1 – Схема метода продольной надвижки

Данный метод отличается от других многочисленных методов своей дешевизной, скоростью, количеством человеческих затрат и строительством, которое не перекрывает движение во время его процесса. Но у данного способа метода есть свои минусы. Большая ответственность – одна ошибка в установке прокатных устройств или накатке моста, и пролетное строение упадет на проезжую часть, где могут находится люди.

Данный способ строительства может использоваться для удешевления процесса строительства и может являться хорошей альтернативой для нынешних методов.

Литература:

1. СН 3.03.01-2019 – Мосты и трубы. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020 – 279с.
2. Проектирование металлических мостов: Учеб. /Под ред. А. А. Петропавловского. — М.: Транспорт, 1982. — 320 с.

УДК 624.21

Мост через реку Припять в городе Мозырь

***Логвин Владимир Сергеевич**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Драгун К.В., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

В 2025 году досрочно завершилось строительство моста через реку Припять в городе Мозырь. Данный мост представляет из себя балочную конструкцию с аркой, имеющая подвесную систему по центру (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Мост через реку Припять в городе Мозырь

Новый мост, протяженностью в километр, уже называют произведением строительного искусства. За 2 года реконструкции он полностью преобразился, стал более функциональным и удобным для всех участников дорожного движения. Ширину моста увеличили на три метра, у велосипедистов теперь – отдельная дорожка, есть лифт для подъема наверх, смотровая площадка, расширили и тротуар. К завершению строительства популярность моста среди местных жителей только возросла: многие стремятся запечатлеть красивую вантовую арку и декоративную архитектурную подсветку.

Данный мост стал очень популярным, что в свою очередь приманивает большое количество людей. Такие сооружения приманивают инвестиции в отрасль строительства, что в свою очередь способствует развитию государства.

Литература:

1. СН 3.03.01-2019 – Мосты и трубы. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020 – 279с.
2. Проектирование металлических мостов: Учеб. /Под ред. А. А. Петропавловского. — М.: Транспорт, 1982. — 320 с.

УДК 69.058

Приборы типа Ferroscan для определения армирования железобетонных конструкций

Лукьянчик Дмитрий Александрович, Анисимов Глеб Вячеславович,
студенты 4 курса кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, Минск
Научный руководитель – Ходяков В. А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»

Железобетон является одним из наиболее распространённых строительных материалов, применяемых при возведении зданий и сооружений различного назначения. Надёжность и долговечность железобетонных конструкций во многом определяются фактическими параметрами армирования, такими как толщина защитного слоя бетона, диаметр необходимой арматуры, ее класс и вид профиля. На практике проектная документация не редко отсутствует либо не отражает реальное состояние конструкции, особенно при обследовании эксплуатируемых, реконструируемых и исторических зданий. В связи с этим особую актуальность приобретают методы неразрушающего контроля.



Рисунок 1 – PS 200 Ferroscan Измерители глубины залегания арматуры

Одним из наиболее распространённых средств неразрушающего контроля армирования являются приборы типа Ferroscan. Данные устройства предназначены для выявления и анализа металлических элементов, расположенных в толще бетона, и широко применяются при инженерных

обследованиях строительных конструкций. Принцип работы приборов Ferroscan основан на использовании электромагнитного поля, которое искажается при наличии в зоне сканирования стальных включений.

Использование приборов данного типа позволяет получать сведения о глубине заложения арматурных стержней, толщине защитного слоя бетона, направлении и шаге армирования, а также ориентировочных значениях диаметра арматуры. Современные модели Ferroscan оснащаются программным обеспечением, позволяющим визуализировать результаты измерений в графическом виде, что повышает наглядность обследования и упрощает последующую обработку данных.

К основным преимуществам приборов типа Ferroscan относятся высокая скорость выполнения измерений, отсутствие повреждений обследуемой конструкции, простота эксплуатации и достаточная точность результатов для инженерных расчётов. Эти качества делают их особенно эффективными при обследовании больших площадей железобетонных элементов в условиях ограниченного времени.

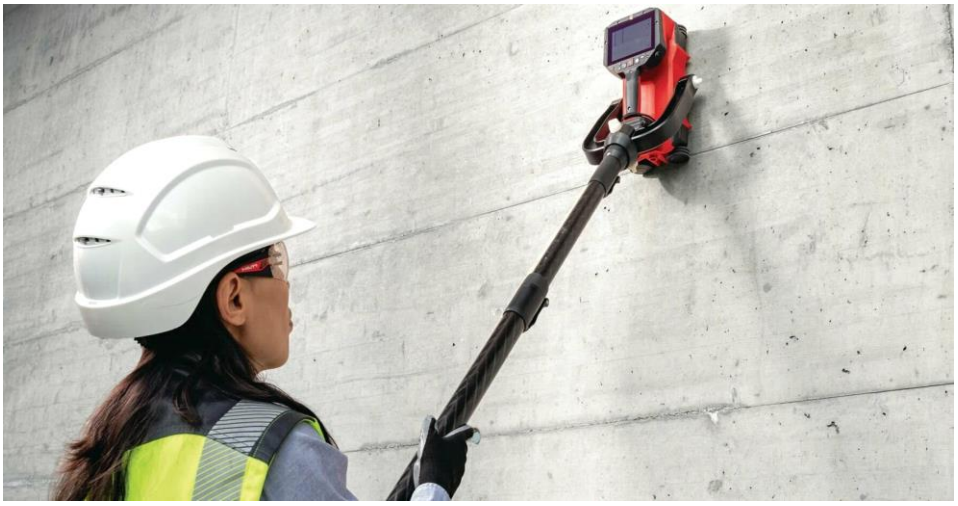


Рисунок 2 – Детектор для бетона для поиска арматуры PS 300 система Ferroscan

Вместе с тем следует учитывать, что точность измерений может снижаться при наличии плотного армирования, значительной неоднородности бетона, повышенной влажности материала, а также при наличии электромагнитных помех. Приборы Ferroscan не позволяют с высокой достоверностью определять класс арматурной стали, поэтому в ряде случаев рекомендуется комплексное применение нескольких методов неразрушающего контроля.

Таким образом, приборы типа Ferroscan представляют собой эффективный инструмент для определения параметров армирования железобетонных конструкций. Их применение способствует повышению достоверности инженерных обследований и безопасности эксплуатации зданий и сооружений.

Литература:

1. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. Минск, 2004.
2. ГОСТ 22904–93. Контроль неразрушающий. Метод магнитный. Общие требования.
3. Клюев В. В. Неразрушающий контроль: справочник. Москва: Машиностроение, 2005.
4. Трофимов В. А., Корнеев В. И. Методы обследования железобетонных конструкций. Москва: Стройиздат, 2012.

УДК 624.21

Разработка параметрической модели висячего моста через р. Днепр с использованием DYNAMO

***Мартынович Игорь Алексеевич**, студент 2 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулан А.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

В работе представлен эскизный проект висячего моста через реку Днепр, созданный с помощью среды визуального программирования Dynamo. Скрипт позволяет изменять ключевые характеристики конструкции: габариты пролетов, высоту пилонов и параметры вантовой системы.

С целью улучшения транспортной доступности между городом Орша (Витебская обл.) и агрогородком Лариновка (Оршанский р-н) разработан эскизный проект висячего моста через реку Днепр (Рис.1).

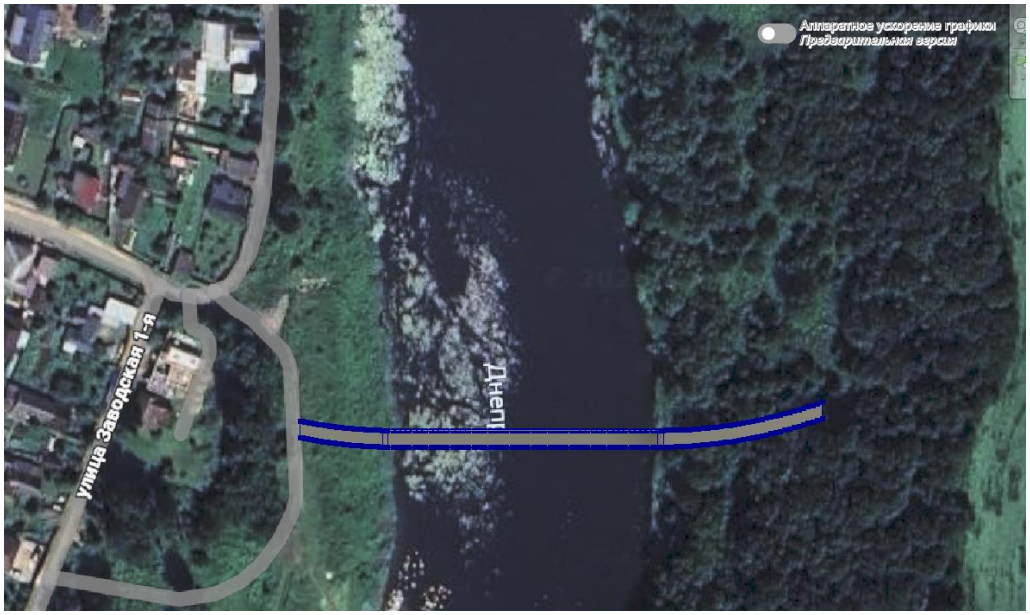


Рисунок 1 – Расположения моста на карте

На этапе эскизного проектирования могут существенно помочь средства визуального (параметрического) программирования. В данной работе использовалось среда визуального программирования Dynamo во взаимодействии с программным комплексом Autodesk Revit.

Dynamo позволяет создавать архитектурную и конструктивную геометрию с гибкой настройкой параметров и исходных данных.

Используя только ось сооружения в качестве основы входных данных и блоки (ноды) Dynamo, создан скрипт, с помощью которого можно смоделировать цифровую параметрическую модель висячего моста. Скрипт позволяет управлять такими данными как: ширина моста, радиус сечения канатов и их количество, высотой и сечением пилонов (Рис 2).

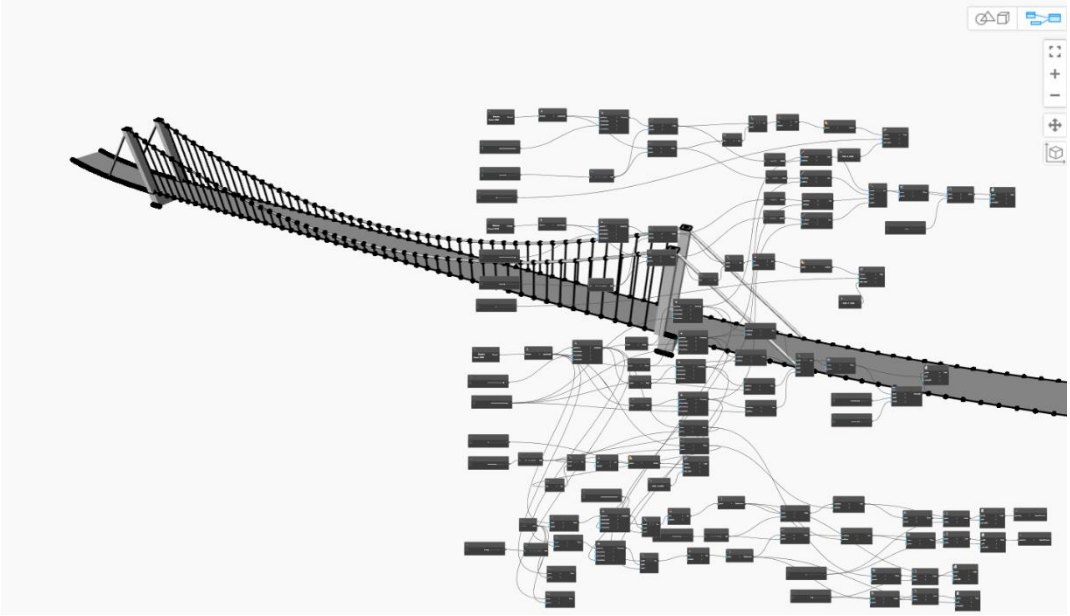


Рисунок 2 – Скрипт висячего моста в Dynamo

Использование среды визуального программирования позволяет значительно облегчить проектную деятельность на начальных этапах, путем создания гибких параметрических моделей. Вся созданная конструкция является параметрической. Это означает, что достаточно изменить числовое значение в одном ноде, и геометрия моста автоматически перестроится в соответствии с новыми данными.

Литература:

1. Создание | Dynamo Primer [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://primer.dynamobim.org/ru. – Дата доступа: 19.2.2025
2. Пастушков, Г. П Проектирование мостов: пособие для студентов специальности 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены»: в 2 ч. Ч.1 / Г. П. Пастушков, Л. Г. Расинская. – Минск: БНТУ, 2017. – 41.

УДК 624.012.45

Лабораторные испытания железобетонных балок

***Маторина Виктория Сергеевна**, студент 3 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Железобетон остаётся одним из основных строительных материалов, и от надёжности конструкций зависит безопасность зданий и сооружений. Хотя расчётные методы позволяют заранее оценить поведение элементов, окончательное подтверждение их работоспособности всегда даёт практика. Поэтому лабораторные испытания железобетонных балок занимают важное место в инженерных исследованиях: они позволяют увидеть, как ведёт себя реальная конструкция под действием нагрузок, и понять, насколько точно расчёты отражают её фактическую работу.

Лабораторные испытания проводятся прежде всего для проверки несущей способности и эксплуатационных характеристик железобетонных балок (Рис.1). В ходе таких исследований инженеры получают данные о прогибах, трещинообразовании, распределении напряжений и предельных состояниях, что невозможно оценить лишь по теоретическим моделям. Практические испытания также помогают выявить возможные дефекты изготовления: недостаточное армирование, нарушения технологии бетонирования, неоднородность материала.



Рисунок 1 – Железобетонные балки

Подготовка к испытанию обычно начинается с установки балки на специально оборудованные опоры или испытательную раму. Конструкцию фиксируют таким образом, чтобы повторить её работу в реальных условиях – например, задать шарнирные, неподвижные или другие типы опор. После этого на балку постепенно прикладывают нагрузку. Чаще всего для этого используют гидравлические домкраты или прессы, позволяющие контролировать величину усилия с высокой точностью. Нагрузка вводится ступенями, а на каждой ступени фиксируется реакция конструкции.

Во время испытаний применяется целый набор измерительных приборов:

• Прогибомеры предназначены для измерений вертикального перемещения отдельных точек конструкций при нагружение их статическими нагрузками: прогиб строительных ферм, балок,прогонов, а также осадки опор, фундаментов и т.д.

• Тензометры обеспечивают высокую точность измерений, устойчивы к воздействию окружающей среды, а современные технологии позволяют добиться систематизации и автоматизации всего процесса измерения.

• Трещиномеры используются для наблюдения за появлением и развитием трещин: их шириной, направлением и скоростью раскрытия.

Таким образом, лабораторные испытания железобетонных балок – это не формальная процедура, а важный этап проверки надёжности конструкций. Они демонстрируют, насколько точно теоретические расчёты отражают фактическое поведение элемента, и позволяют заранее выявить возможные недостатки. Экспериментальные данные помогают повысить безопасность, улучшить качество производства и улучшать строительные нормы. В конечном счёте именно такие испытания обеспечивают то, что железобетонные конструкции служат долго и надёжно в условиях эксплуатации.

Литература:

1. Железобетонные балки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://yandex.by/images/search?text=железобетонные+балки&pos=1&rpt=simage&img_url=https%3A%2F%2Fdsk-stolica.ru%2Fstorage%2Fimages%2F2%2Fupload%2Fglobal%2Fproducts%2F4.Zhilischnoe_stroitelstvo%2FGelezobetonnye_balki%2FBalki_stropilnye%2FBalki_002.png&from=tabbar&lr=157 – Дата доступа: 04.12.2025.

УДК 624.21

Лазерное сканирование мостовых сооружений

***Милорадов Макар Иванович**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель — Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Лазерное сканирование представляет собой высокотехнологичный метод пространственной фиксации и цифрового моделирования объектов, основанный на использовании лазерного дальномера для измерения расстояний до поверхности с высокой скоростью и плотностью. Применительно к мостовым сооружениям эта технология формирует детальную трёхмерную цифровую копию (облако точек), являющуюся точной геометрической основой для решения широкого спектра инженерных задач. Актуальность внедрения лазерного сканирования в практику обследования и мониторинга мостов обусловлена растущими требованиями к безопасности, эффективности управления инфраструктурой и необходимостью перехода к цифровым методам работы с данными на протяжении всего жизненного цикла объекта.

Экспериментальная часть базируется на подтверждении методик полевых измерений с использованием наземных лазерных сканеров на реальных мостовых объектах различной конструктивной схемы. Обработка и анализ данных осуществляются с применением специализированного программного обеспечения для работы с облаками точек, построением полигональных моделей и выполнением геометрических измерений. Для оценки точности применяется метод сравнения данных лазерного сканирования с результатами высокоточных геодезических измерений.

Принцип действия лазерного сканера основан на измерении расстояния между прибором и целевой точкой на объекте с помощью лазерного луча. Основными методами измерения дистанции являются фазовый и импульсный. Сканер в автоматическом режиме с высокой скоростью производит измерения в пределах заданного сектора, регистрируя для каждой точки пространственные координаты (X, Y, Z) и интенсивность отражённого сигнала. Совокупность миллионов таких точек образует пространственную модель – облако точек, визуально и метрически достоверно отображающее сканируемый объект. Для мостовых сооружений ключевое значение имеют такие характеристики системы,

как дальность действия, плотность и точность получаемых данных, скорость сканирования, а также возможность работы в сложных погодных условиях.

Обследование моста методом лазерного сканирования представляет собой комплекс последовательных этапов, включающий подготовительные работы, полевые измерения и камеральную обработку. На подготовительном этапе анализируется проектная документация, определяется необходимая плотность сканирования, выбираются места установки станций для обеспечения полного перекрытия всех элементов конструкции, включая опоры, пролётные строения, деформационные швы и опорные части. В полевых условиях сканер последовательно устанавливается на заданных станциях, при этом для последующего сшивания сканов в единую систему используются сферы или мишени с известными координатами, определяемыми традиционными геодезическими методами. Особое внимание уделяется сканированию труднодоступных элементов и зон с видимыми дефектами.

Результатом лазерного сканирования является детализированная трёхмерная модель моста, выступающая в качестве объективной и полной геометрической основы для последующего анализа. На основе облака точек могут быть получены классические чертежи – планы, разрезы, фасады, с актуальными, а не проектными размерами и отклонениями.

Сравнение цифровой модели с проектными данными позволяет количественно оценить реальные прогибы, крены опор, смещения в деформационных швах. Возможно выявление и картографирование таких дефектов, как трещины, выбоины, коррозионные повреждения, с фиксацией их линейных размеров и пространственного положения.

Важным направлением является мониторинг деформаций путём сравнения облаков точек, полученных в разные моменты времени. Созданная цифровая модель служит основой для построения информационной модели сооружения (BIM), интегрирующей геометрические данные с атрибутивной информацией о материалах, нагрузках и результатах инструментальных измерений. Точность геометрических измерений по данным лазерного сканирования, как показали контрольные сравнения, составляет порядка 3–10 мм, что достаточно для большинства задач обследования несущих конструкций, однако для высокоточного мониторинга деформаций рекомендуется комбинировать сканирование с традиционными геодезическими методами.

Применение технологии лазерного сканирования для обследования мостовых сооружений представляет собой качественный скачок в области инженерной диагностики и документирования. Данная технология позволяет в сжатые сроки получать исчерпывающую, объективную и высокоточную пространственную информацию о геометрии всего объекта в его текущем

состоянии. Основными практическими результатами являются: создание актуальной исполнительной документации, количественная оценка деформаций и отклонений от проекта, выявление и инвентаризация дефектов, формирование цифровой основы для систем мониторинга и информационного моделирования. Перспективы развития связаны с интеграцией лазерных сканеров с беспилотными платформами, повышением скорости и точности измерений, а также с совершенствованием алгоритмов автоматического распознавания и классификации структурных элементов и дефектов.

Литература:

1. Артюхина, Н. К. Техническая оптика: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-38 01 02 «Оптико-электронные и лазерные приборы и системы» / Н. К. Артюхина. – Минск: БНТУ, 2019. – 114 с.

УДК 624.21

Композитные мосты

***Мирончик Алексей Дмитриевич**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
«Научный руководитель» – Ходяков А.В., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Современное мостостроение переживает период трансформации, связанный с внедрением новых материалов и технологий. Среди наиболее перспективных направлений выделяется строительство композитных мостов — инженерных сооружений, ключевые несущие элементы которых выполнены из полимерных композиционных материалов (ПКМ), часто армированных волокнами (стеклянными, углеродными, базальтовыми). Эти конструкции представляют собой не просто замену стали или бетона на более легкий аналог, а принципиально новый подход к проектированию, изготовлению и эксплуатации инфраструктурных объектов.

Основу композитов составляют полимерная матрица и армирующие волокна, обеспечивающие высокую прочность и жесткость. Именно синергия компонентов обеспечивает свойства таких мостов. Мировой опыт эксплуатации пешеходных, автодорожных и даже железнодорожных композитных мостов (наиболее известные примеры — мост в г. Аберфелди, Шотландия, и серия мостов в Нидерландах) подтвердил их расчетные характеристики. Эти сооружения доказали свою надежность, устойчивость к усталости и вандалостойкость. Еще одним преимуществом композитов является исключительная коррозионная стойкость, которая кардинально решает одну из главных проблем традиционного мостостроения — деградацию от воздействия влаги, противогололедных реагентов и агрессивных сред. Это напрямую ведет к резкому снижению эксплуатационных расходов на протяжении жизненного цикла. Вторым фундаментальным достоинством выступает малый вес. Это позволяет существенно уменьшить затраты на транспортировку и монтаж, часто осуществляемый без привлечения тяжелой грузоподъемной техники, а также снизить нагрузку на опоры и фундаменты, что критически важно при реконструкции старых мостов или строительстве на слабых грунтах. Сравнительная характеристика композитных, стальных и железобетонных мостов представлена в Таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика конструкций мостов

Критерий	Композитные мосты	Стальные мосты	Железобетонные мосты
Плотность материала, кг/м^3	1800	7850	2500
Прочность на растяжение материала, МПа	240-500	355-460	2-5
Срок службы, лет	50-100	30-50	50-70
Время монтажа пролета 20м	1-2 дня	3-5 дней	14-21 день
Коррозионная стойкость	Хорошая, не подвержены коррозии	Низкая, требуется покрывать антикоррозийной защитой	Средняя, но арматура внутри может коррозировать
Пример применения	Пешеходные мосты, небольшие автодорожные мосты	Большие автодорожные, железнодорожные, вантовые	Автодорожные, городские эстакады

Перспективы развития композитных мостов связаны с несколькими направлениями. Во-первых, это совершенствование самих материалов: создание более дешевых смол, развитие армирования гибридными волокнами, внедрение самовосстанавливающихся полимеров. Во-вторых, интеграция «умных» технологий: закладка в структуру материала оптических волоконных датчиков для непрерывного мониторинга напряженно-деформированного состояния в реальном времени (структурный мониторинг здоровья). В-третьих, расширение области применения в виде большепролетных конструкций и мостов специального назначения.

Таким образом, композитные мосты представляют собой не узкоспециализированное решение, а стратегическую технологию будущего для мостостроения. Их широкое внедрение сдерживается пока преимущественно высокой первоначальной стоимостью материалов и консерватизмом нормативной базы. Однако по мере накопления положительного опыта, развития производственных цепочек и пересмотра подходов к оценке экономической эффективности на основе всего жизненного цикла, композитные материалы займут прочное место в арсенале строительных технологий.

Литература:

1. Бернштейн В.А., Сушко А.А. Композитные материалы в мостостроении: теория и практика // Транспортное строительство. – 2020. – № 5. – С. 12-17.
2. Композитный мост: мостовые конструкции из стеклопластиковых пултрузионных профилей - снижение массы на 80%, коррозионная стойкость, быстрый монтаж 1-2 дня, срок службы 100 лет [Электронный ресурс]. – 2025. – ULR: https://inner.su/articles/kompozitnyy-most-mostovye-konstruktsii-iz-stekloplastikovykh-pultruzionnykh-profiley-snizhenie-massy/ (дата обращения: 11.12.2025).
3. Марков А.В., Смирнов Г.Н. Модульное строительство мостов из композитных материалов: опыт и экономическая эффективность // Дороги и мосты. – 2022. – № 34. – С. 156-171.

УДК 624.19

Подземная транспортная развязка, совмещенная со станцией метрополитена и многофункциональным комплексом (г. Гомель)

***Михнов Антон Владиславович**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Предлагаемый проект направлен на строительство подземной транспортной развязки, совмещенной со станцией метрополитена и многофункциональным комплексом (Рисунок. 1) чтобы снизить нагрузку с автомобильных дорог, в частности с пересечения ул. Кирова и пр-т Ленина. Этот проект способствует улучшению логистики в городе, что в конечном итоге будет способствовать экономическому развитию.



Рисунок 1 – Генеральный план

На пересечении ул. Кирова и пр-та Ленина, расположенное в центре города, где ежедневно образовываются пробки в час пик. Это приводит к значительным потерям времени жителей и ресурсов, приводит к увеличению затрат на топливо и снижению мобильности населения. Существующая инфраструктура не справляется с растущим объемом транспорта, что в свою очередь тормозит экономический рост региона. Данный проект предлагает решение в виде переноса части трафика под землю. Подземная развязка (Рисунок 2) позволит разделить потоки транспорта. Многофункциональный комплекс, включающий торговые зоны, офисы, парковки, создают дополнительные возможности для стимуляции коммерции.

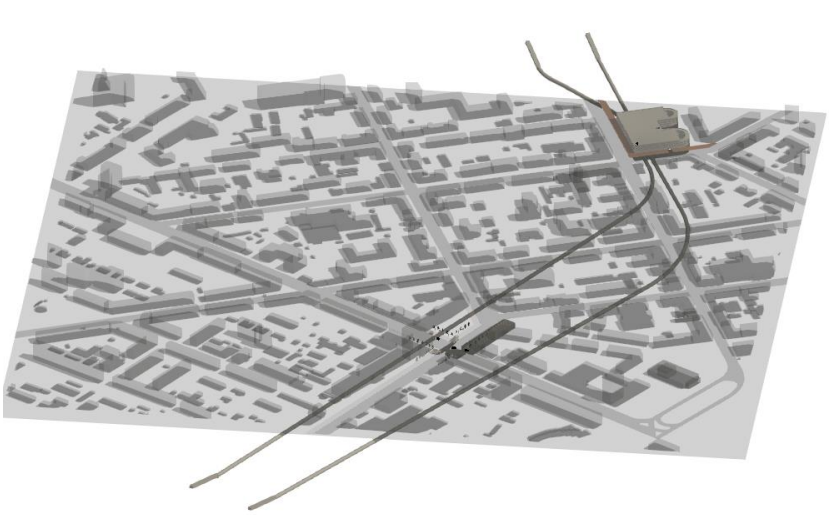
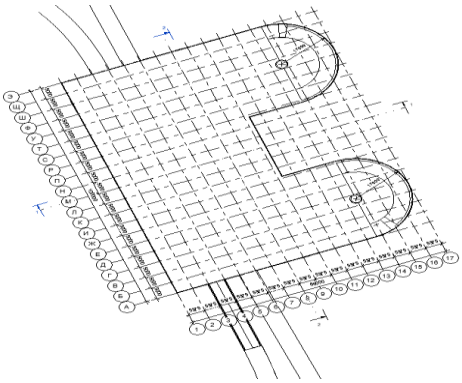
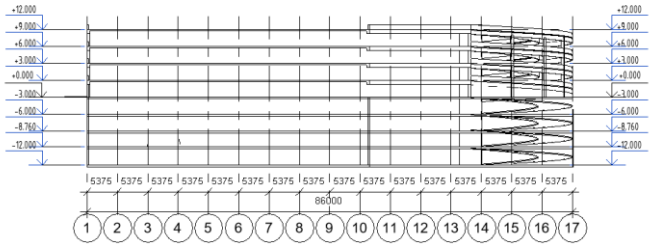


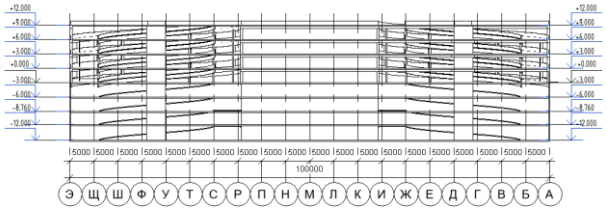
Рисунок 2 – Общий вид транспортной развязки с привязкой к городской ситуации



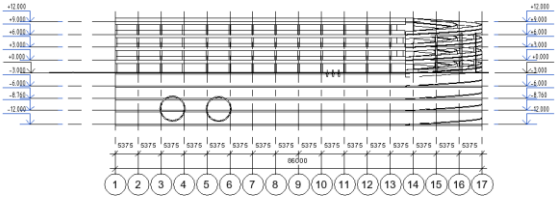
План комплекса в осях А-Э, 1-17 на отм. -8.760



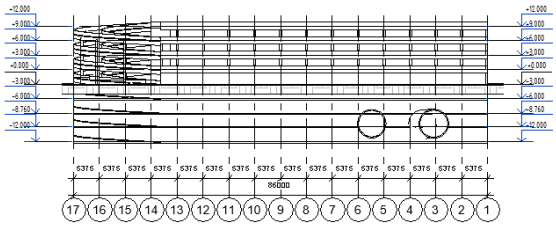
Разрез 1-1



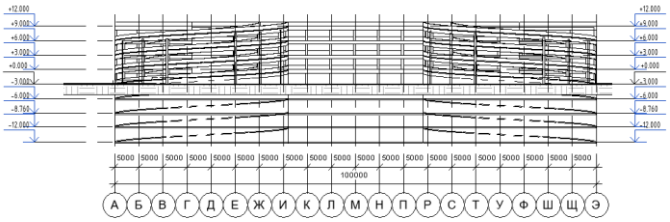
Разрез 2-2



Фасад в осях 1-17 по оси А



Фасад в осях 17-1 по оси Э



Фасад в осях А-Э по оси 17

Рисунок 3 – Архитектурно планировочные решения

Для автоматизации расчета подземного сооружения был выбран расчетный комплекс SOFiSTiK.

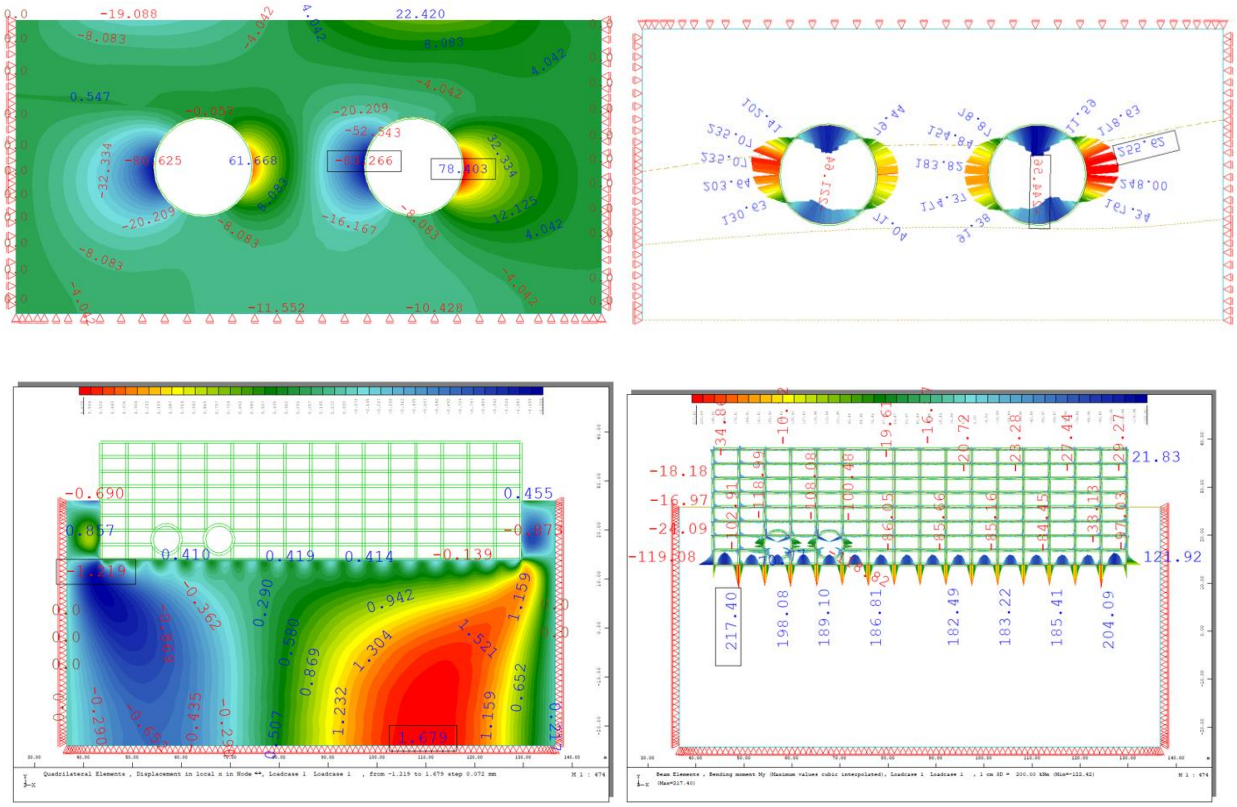


Рисунок 4 – Результаты расчетов

Реализация данного проекта станет первым этапом создания полноценной системы гомельского метрополитена и подземных коммуникаций. Проект предусматривает дальнейшее масштабирование: строительство дополнительных автомобильных, железнодорожных тоннелей и возможностью создания кольцевой и радиальной сети метро.

Литература:

1. Колокова Н.М., Копац Л.М., Файнштейн И.С. «Искусственные сооружения». М., Маковский Л.В. «Проектирование автодорожных и городских тоннелей». М., Транспорт, 1993 г.
2. Волков В.А., Наумов С.Н., Пирожкова А.Н., «Тоннели и метрополитены».

УДК 691.32

Карбонизация бетона и способы определения её глубины

***Михолап Максим Дмитриевич**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Бетон является одним из самых распространённых строительных материалов благодаря своей прочности, долговечности и доступности. Однако в процессе эксплуатации он подвержен различным видам деградации. Одним из наиболее распространённых и опасных процессов является карбонизация бетона.



Рисунок 1 – Общий вид конструкции с разрушенным бетоном

Карбонизация бетона — это химический процесс, при котором углекислый газ (CO_2) из воздуха проникает в поры бетона что вызывает реакцию с гидроксидом кальция, содержащимся в цементном камне. В результате этой реакции образуется карбонат кальция, а уровень pH внутри бетона постепенно снижается. Если в обычном, свежем бетоне pH составляет около 12–13, что обеспечивает сильную щелочную среду, то после карбонизации pH может снижаться до 8–9.

Опасность карбонизации заключается в том, что именно высокая щелочность бетона защищает стальную арматуру от коррозии. В щелочной среде металл покрыт плёнкой, которая предотвращает ржавление. Когда карбонизация продвигается внутрь и достигает арматуры, защитная плёнка разрушается. Арматура начинает активно коррозировать: на металле образуется ржавчина, которая увеличивается в объёме и создаёт внутреннее давление на окружающий бетон. Это приводит к появлению трещин, отслоению защитного слоя, ослаблению сцепления между арматурой, бетоном и постепенному снижению прочности конструкции.

Способы определения глубины карбонизации бетона основаны на оценке того, как далеко внутрь конструкции проник углекислый газ и насколько снизилась щелочность материала. На практике самым распространённым и простым методом является использование раствора фенолфталеина. Для этого на свежий срез или скол бетона наносят индикатор, который окрашивает щелочные участки в ярко-розовый цвет. Карбонизированные зоны, где pH уже снизился, остаются бесцветными. Расстояние от поверхности до границы окраски и показывает глубину карбонизации. Метод ценится за скорость, низкую стоимость и достаточную точность.



Рисунок 2 – Определение глубины карбонизации с использованием раствора фенолфталеина

В более серьёзных обследованиях применяют отбор буровых кернов с последующим лабораторным анализом. Образец бетона исследуют по слоям,

измеряя pH и определяя содержание химических соединений. Этот подход позволяет выявить не только глубину карбонизации, но и её влияние на арматуру. Однако такой метод более дорогой, требует специального оборудования и относится к разрушительным.

В научных и экспертных исследованиях применяют инструментальные подходы, такие как инфракрасная спектроскопия и рентгеновская дифракция. Они позволяют точно определить количество карбонатных соединений на разных глубинах и подробно изучить процесс карбонизации, но используются реже из-за высокой стоимости и сложности оборудования.

Литература:

1. Строительная лаборатория [статья о карбонизации бетона] – URL: https://ironcon-lab.ru/articles/karbonizatsiya-betona.
2. Russtroylab.ru [лабораторное и измерительное оборудование для строительства] – URL: https://russtroylab.ru.

УДК 624.21

Серийный мостоукладчик МТУ-20

***Мороз Даниил Алексеевич**, студент 3 курса*
кафедры «Военная инженерная подготовка»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулаго Ю.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

Инженерные войска начинают свое существование в далеком 1701 году, 21 января приказом Петра I. С тех пор военные инженеры выполняют большой объем работ на поле боя и далеко за его пределами в мирное время. Одну из машин, которая помогает выполнять определенный спектр инженерных задач, а именно, быстрое возведение моста для преодоления небольших препятствий, мешающих проезду бронированной гусеничной, колесной техники и переброску личного состава. Речь идет о «Мостоукладчике МТУ-20» (Рис. 1).



Рисунок 1 – МТУ-20

Машина была разработана на Омском КБ транспортного машиностроения конструктором Моровым А.А. на базе среднего танка т-55. Машина получилась успешным проектом, заточенным под свои задачи и, после испытаний, сразу поступила на вооружение в 1964 году. Машина, исходя из названия, предназначена для установки 20ти метрового дюралюминиевого моста опорами 2х концов на обе стороны препятствия, для преодоления его техникой и личным составом. После выполнения поставленной задачи процесс установки производится в обратном порядке для установки моста на базовую машину. Одним из плюсов этой машины по сравнению с иностранными аналогами являются ее тактико-технические характеристики (Табл. 1).

Таблица 1 – ТТХ машины МТУ-20

Тактико-технические характеристики танкового мостоукладчика МТУ-20	
Длина корпуса, мм	9200 (11 640 с мостом)
Ширина, мм	3270 (3300 с мостом)
Высота, мм	2000 (3400 с мостом)
База, мм	3640
Колея, мм	2640
Клиренс, мм	425
Броня: лоб корпуса, мм/град.	80
Мощность двигателя, л. с.	580
Скорость по шоссе, км/ч	54
Скорость по пересечённой местности, км/ч	25..30
Запас хода по шоссе, км	485—500
Удельная мощность, л. с./т	15,6
Тип подвески	индивидуальная торсионная
Удельное давление на грунт, кг/см²	0,83
Преодолеваемый подъём, град.	22
Преодолеваемый брод, м	1,4

Из выводов хочу отметить, что мостоукладчик МТУ-20 за годы эксплуатации показал себя как надежную, ремонтопригодную, боевую машину с большим потенциалом к модификации и кустарным доработкам в полевых условиях, высокое качество маскировки, маневренности и скорости устройства переправы. По собственному опыту работы с данной машиной, она имеет достаточно удобное расположение всех узлов и агрегатов, что и делает эту машину ремонтопригодной в полевых условиях, но, как и любая машина, имеет свои нюансы и минусы, например: не надежность гидравлического привода установки моста, расположение приводов органов управления. Так же фактически машина морально устарела, но это не означает, что она стала выполнять свои задачи хуже, наоборот, дала рывок для воплощения новых идей и создание новых машин в направлении сферы мостоукладчиков. На данный момент машина до сих пор состоит на вооружении Вооруженных Сил Республики Беларусь и Российской Федерации

Литература:

1. Репозиторий БНТУ - Машины инженерного вооружения. В 3 ч. Ч. 1. Общая характеристика машин инженерного вооружения, средства инженерной разведки, устройства минно-взрывных заграждений и преодоления заграждений.

УДК 624.21

Применение BIM-технологий и инструментов искусственного интеллекта при проектировании арочного моста в Autodesk Revit

***Новик Максим Денисович**, студент 2 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулан А.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

В условиях цифровизации строительной отрасли особую актуальность приобретает внедрение BIM-технологий, обеспечивающих комплексный подход к проектированию, анализу и визуализации инженерных сооружений. В настоящей работе рассматривается процесс создания информационной модели арочного моста в программной среде Autodesk Revit с применением инструментов искусственного интеллекта.

Целью данной работы является разработка информационной модели арочного моста в Autodesk Revit. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи: формирование концепции мостового сооружения, создание отдельных конструктивных элементов в виде семейств Revit, сборка единой модели и получение визуализации проекта (Рис. 1).



Рисунок 1 – Сгенерированный мост

Следующим этапом являлось моделирование моста в среде Autodesk Revit. Проектирование выполнялось с использованием параметрических семейств, что позволило создать каждый элемент конструкции отдельно и обеспечить гибкость информационной модели. В ходе работы были разработаны семейства основных

конструктивных элементов, включая арку, опоры, пролётное строение, а также вспомогательные элементы, такие как перильные ограждения.

Особое внимание было уделено моделированию арочной конструкции, являющейся основным несущим элементом моста. Геометрия арки была создана с учётом её пространственного положения и взаимодействия с опорными элементами (Рис. 2).



Рисунок 2 – 3D вид моста

Завершающим этапом работы стала визуализация арочного моста. Для получения визуального представления проектируемого сооружения был использован ChatGPT, что позволило продемонстрировать внешний вид моста и повысить наглядность проекта. Визуализация является важным инструментом при представлении проектных решений, так как позволяет оценить архитектурно-эстетические характеристики сооружения и облегчает восприятие проекта (Рис 3).



Рисунок 3 – Визуализация 3D модели

В результате выполненной работы была разработана информационная модель арочного моста в программной среде Autodesk Revit. Полученные результаты подтверждают эффективность применения BIM-технологий при проектировании мостовых сооружений, а также целесообразность использования инструментов искусственного интеллекта на различных этапах

проектирования. Разработанный подход может быть использован в учебной и практической деятельности студентов строительных специальностей Белорусского национального технического университета.

Литература:

1. Пастушков, Г. П Проектирование мостов: пособие для студентов специальности 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены»: в 2 ч. Ч.1 / Г. П. Пастушков, Л. Г. Расинская. – Минск: БНТУ, 2017. – 41.
2. Тимохин, М.Ю., Шаранин, В. Ю. Искусственный интеллект и теория принятия решений: современные тенденции// Инженерный вестник Дона, 2023, № 10.

УДК 624.21

Деревянные мосты в Беларуси

***Оздемиров Якуб Мусаевич**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»

Деревянные мосты на территории Беларуси являются важной частью не только культурного и исторического, но и инженерного наследия. Дерево как строительный материал было распространено на белорусских землях из-за обилия лесов. Из известных на данный момент и доступных источников считается, что первые деревянные мосты на территории Беларуси появились в Средневековье. Причины их появления связаны с развитием торговых путей, ростом городов и различных оборонительных сооружений. Со временем люди научились строить более сложные и, соответственно, надёжные мостовые конструкции. К XVIII веку было освоено возведение деревянных мостов с балочными конструкциями, свайными опорами и балочными пролётами. А уже в XIX веке появились более сложные деревянные фермы, что связано с развитием технических учреждений в существовавшей тогда Российской империи, где появилась системная подготовка специалистов. На долговечность и долгосрочную эксплуатацию мостов значительно повлияло использование местных пород древесины, а именно дуба и сосны. Дуб применялся для опор, а из сосны устраивали пролётные строения. К началу XXI века большинства старинных мостов не осталось. Большинство из них были реконструированы или разрушены в результате естественного износа. Многие также были уничтожены в результате войн, прошедших по территории Беларуси. Однако на сегодняшний день сохранились отдельные примеры традиционных мостов из дерева, особенно в сельской местности и заповедниках.

Яркими примерами действующих деревянных мостов являются мосты «Ручица − Красница», «Войдени − Долгое» и «Нарочь − Поповцы» расположенные в Вилейском районе. Все они являются пешеходными мостами подвесного типа, построенные местными жителями для переправы через реку Нарочанку. В 80-е годы прошлого века мостов на реке было больше 20. Однако среди действующих осталось всего 5 таких мостов разной степени ветхости.



Рисунок 1 − Подвесной деревянный мост «Ручица − Красница»

Также можно выделить деревянный мост, построенный в 2018 году через реку Нёман в деревне Понемонь Новогрудского района Гродненской области. Он был построен силами военных инженеров вместо старого моста, который был в аварийном состоянии. Новый мост был возведён за 2 недели. Ширина сооружения − 6 метров, а максимально выдерживаемая нагрузка составила 40 тонн.



Рисунок 2 − Деревянный мост в деревне Понемонь через реку Нёман

В 2018 году в деревне Крынка Осиповичского района Могилёвской области также был возведён деревянный мост через реку Птичь. Он был построен примерно за 1 месяц военными инженерами и выдерживает нагрузку 35-40 тонн. Хочется отметить, что военные инженеры ежегодно возводят примерно по 2-3 моста подобного типа в малых сёлах.



Рисунок 3 − Деревянный мост в деревне Крынка через реку Птичь

Деревянные мосты остаются актуальными инженерными сооружениями для Беларуси, особенно в сельской местности. Они имеют актуальность благодаря быстрому и менее затратному строительству и как экологически устойчивые инженерные решения из-за материала сооружения.

Литература:

1. grodnonews.by. Гродзенская праўда. В Новогрудском районе военные инженеры помогли восстановить мост через реку Нёман [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://grodnonews.by — Дата обращения: 02.12.2025.
2. ont.by. Малые мосты Беларуси и судьбы тех, кто от них зависит. [Электронный ресурс].— Режим доступа: https://share.google/bARSmR9IGJ5VrocfK — Дата обращения: 02.12.2025.
3. 34travel.me. Маршрут: подвесные деревянные мосты через Нарочанку в Вилейском районе [Электронный ресурс].—Режим доступа: https://34travel.me/gotobelarus — Дата обращения: 02.12.2025.
4. belta.by. Военные инженеры ежегодно возводят в сёлах Беларуси по 3-4 малых моста [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://share.google/AgsBT3L51WkBb6Hvg — Дата обращения: 02.12.2025.

УДК 624.131

Тоннель, сооружаемый щитовым способом

***Попелышко Лариса Андреевна**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

В рамках научной работы требуется решить проблему больших пробок в городе Витебск, Беларусь. По данным взятыми из различных источников, в часы пик: утром (8:00-9:00) и вечером (17:00-19:00) по проспектам Московский и Черняховский движение максимальное, с высокой плотностью потока, из-за это и образуются пробки (Рис. 1-2).

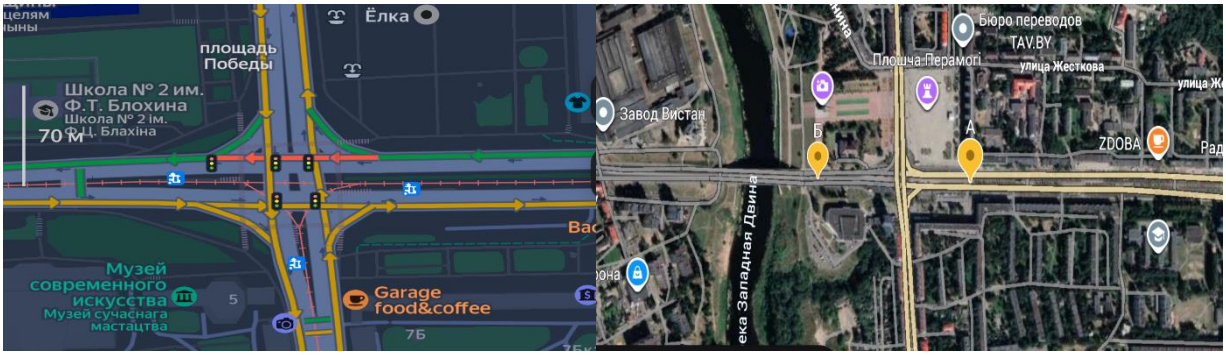


Рисунок 1 – Место расположения объекта

Мной была построена подземная сеть из тоннелей под существующей застройкой. Также к сети из тоннелей был спроектирован подземный многофункциональный комплекс, состоящий из трех этажей. На первом этаже расположена транспортная развязка, паркинг на 50 автомобилей, а также станция метрополитена. На втором этаже расположились торговые площади, общей площадью 40 000 м^2. На третьем этаже паркинг на 250 авто (Рис. 2).

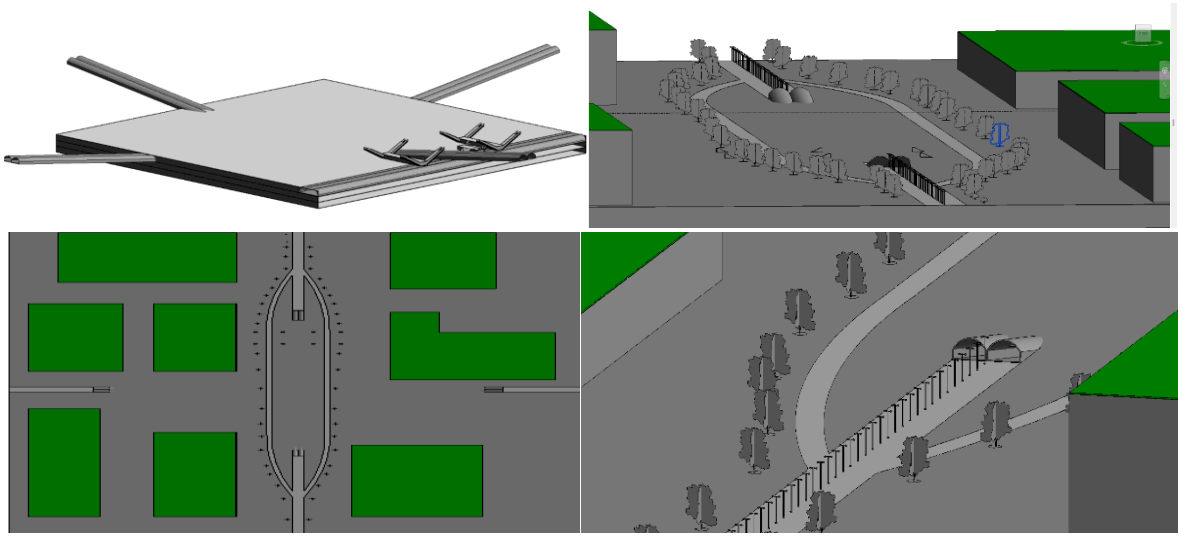


Рисунок 2 – Общий вид сооружения

Данная цифровая модель была спроектирована с применением BIM-технологий, а именно в REVIT. Данная программа позволяет создавать любые сооружения с высокой точностью и детализацией в 3D виде. На мой взгляд, данный проект разгрузит проспект, уменьшит выброс вредных веществ, сократит длительность маршрута.

Литература:

1. Буринжстрой: Способы закрепления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: (https://burinzhstroy.ru) – Дата доступа: 11.12.2025.
2. Sinodrills: Виды закрепления грунта гвоздями [Электронный ресурс]. – Режим доступа: (www.sinodrills.com/) – Дата доступа: 11.12.2025.

УДК 624.131

Станция метрополитена мелкого заложения

***Попелышко Лариса Андреевна**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

В рамках научной работы требовалось спроектировать новую станцию метрополитена в городе Витебск, Беларусь. Мной было предложено строительство станции метрополитена прямо в подземном паркинге. Место расположения данного сооружения представлено на рисунке 1.

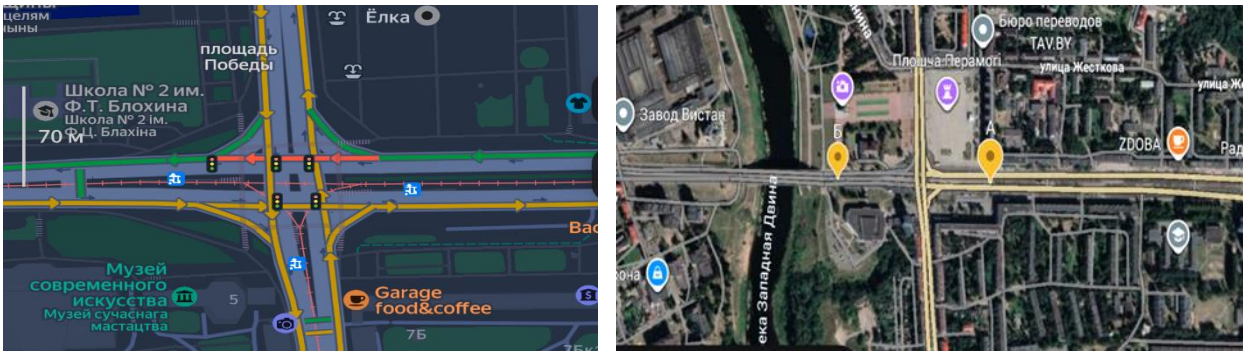


Рисунок 1 – Место расположения объекта

Станции метрополитена мелкого заложения в основном находятся на глубине от 5 до 15 метров, такие станции необходимы для обеспечения быстрого и удобного доступа пассажирам.

Такие станции отличаются от станций глубокого залегания простой конструкцией, в которую входят прямые платформы. А чтобы быстро и незатруднительно попасть на сому платформу, используются лестницы, эскалаторы. (Рис. 2).

Отличием таких станций является экономия материалов для возведения данной конструкции, также большую скорость строительства таких станций, в отличии от станций глубокого заложения. Однако несмотря на многие положительные характеристики есть у данных сооружений и минусы, такие как: повышенный уровень шума и вибрации из-за близости к поверхности, проблемы с дренажной системой.

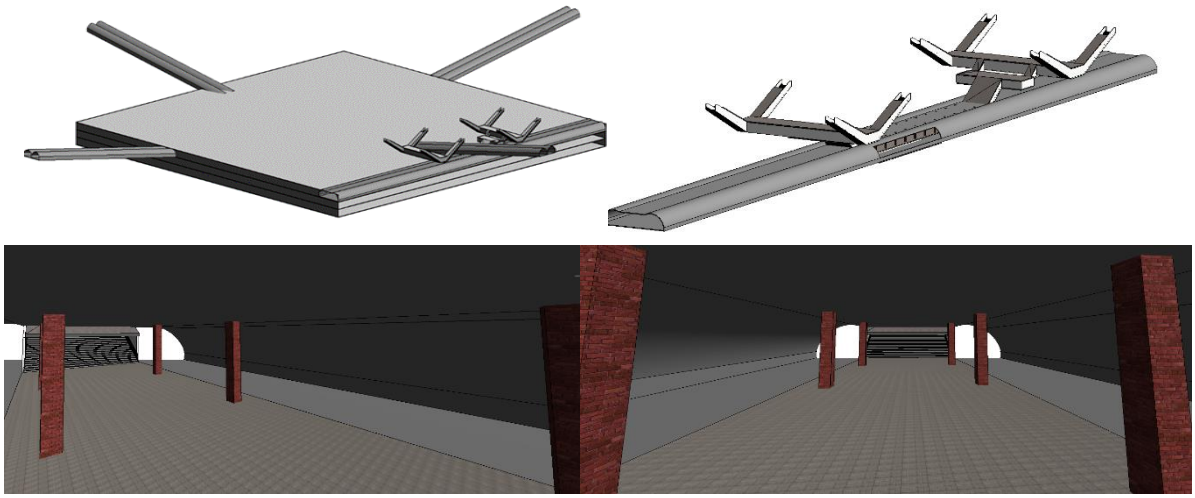


Рисунок 2 – Общий вид сооружения

Станция метрополитена мелкого заложения являются важной частью городского транспорта. Они играют ключевую руль в транспортной инфраструктуре, так как обеспечивают быструю и бесперебойную перевозку пассажиров. Так же благодаря метрополитену уменьшается плотность движения автомобильного транспорта, а также снижается выброс вредных веществ.

Литература:

1. Мир Метро: Конструкции станций мелкого заложения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: (https://bergab.ru/) – Дата доступа: 11.12.2025.
2. Московское метро: Основные сооружения и устройства метрополитенов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: (metro.ru) – Дата доступа: 11.12.2025.

УДК 624.19

Автомобильный тоннель Гренобль-Турин

***Рыбчук Алексей Дмитриевич**, студент 4 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулаго Ю.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

Тоннель Гренобль-Турин проходит через горную систему Альпы и соединяет две страны Италию и Францию. Длина этого сооружения составляет 165 километров, общая ширина проезжей части 7 метров, высота тоннеля – 5 метров. Тоннель оснащен вентиляцией, водоотливом, освещением, противопожарными устройствами и камерами для укрытия и разворота автомобилей. Также в тоннеле установлены датчики видимости, температуры, пожарной сигнализации, расхода воздуха и качества воздуха.

Вблизи тоннеля располагается гостиница с зоной отдыха и парковка. Напротив гостиницы находится облагороженный парк для прогулки и отдыха на свежем воздухе.

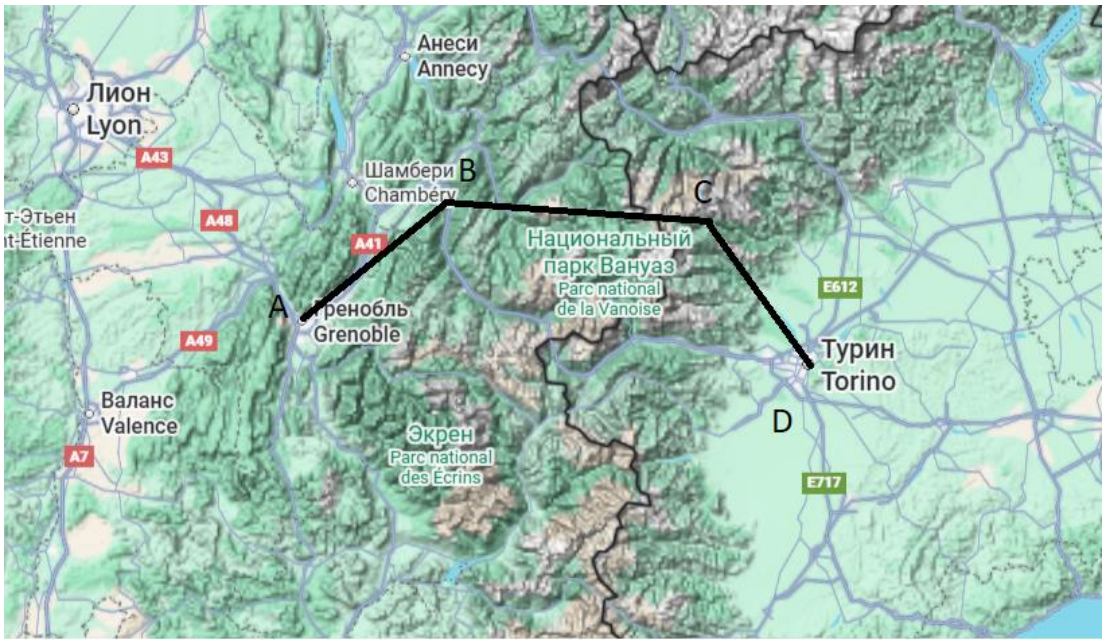


Рисунок 1 – Расположение автомобильного тоннеля на карте



Рисунок 2 – Общий вид 3D модели автодорожного тоннеля

Литература:

1. Маковский Л.В. Проектирование автодорожных и городских тоннелей / Л.В. Маковский, В.В. Кравченко, Н.А. Сула. Москва: Кнорус, 2022. – 534с.
2. Пастушков Г.П. Проектирование тоннелей, сооружаемых горным способом: учеб.-метод. пособие / Г.П. Пастушков. В.А. Кузьмицкий, В.Г. Пастушков, В.Ю. Олляк, Д.В. Кузьмицкий. Минск: БНТУ, 2005. – 96с.

УДК 624.21

Углепластиковая арматура в строительстве

***Сазонов Иван Павлович**, студент 3 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Углепластиковая арматура – это композитный материал, состоящий из двух основных компонентов, углеродное волокно и термореактивные смолы чаще всего эпоксидные или полиэфирные (Рис.1).



Рисунок 1 – Углепластиковая арматура

Главным достоинством углепластиковой арматуры является её исключительная прочность на растяжение, которая превышает аналогичный показатель стальной арматуры в два-три раза. Наряду с этим, материал обладает абсолютной устойчивостью к коррозии и химическим воздействиям, что решает одну из самых острых проблем железобетонных конструкций. Углепластиковая арматура не ржавеет под воздействием влаги и солей, что значительно продлевает срок службы сооружений.

Однако, наряду с преимуществами, у углепластиковой арматуры есть и серьёзные ограничения. Ключевой особенностью её поведения является отсутствие пластической стадии разрушения. В отличие от стали, которая способна растягиваться и перераспределять нагрузки, композитная арматура

работает упруго и разрушается хрупко, без предупреждающих деформаций. Это накладывает ограничения на её использование в сейсмоопасных зонах и в конструкциях, где возможны резкие динамические удары или значительные перераспределения усилий.

Таким образом, углепластиковая арматура — это не универсальная замена стали, а высокотехнологичный материал для специфических задач. Её рациональное применение открывается там, где на первый план выходят её выдающаяся прочность, долговечность в агрессивной среде и лёгкость, а фактор динамических нагрузок и необходимость пластичного поведения конструкции не являются критичными. Грамотное использование этого современного композита позволяет создавать более долговечные и эффективные строительные решения.

Литература:

1. TIZ.by информационный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://tiz.by/ – Дата доступа 5.12.2025.

УДК 624.21

Дорожный тоннель между городами Зарнен-Берн

***Скрипко Александр Владимирович**, студент 4 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулаго Ю.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

Проектирование тоннеля между городами Зернен и Берн обусловлено необходимостью создания безопасного и эффективного транспортного коридора, сокращающего путь и уменьшающий риск для водителей. Важнейшим аспектом проекта стало совокупное инженерное изыскание, установившая условия и решения.

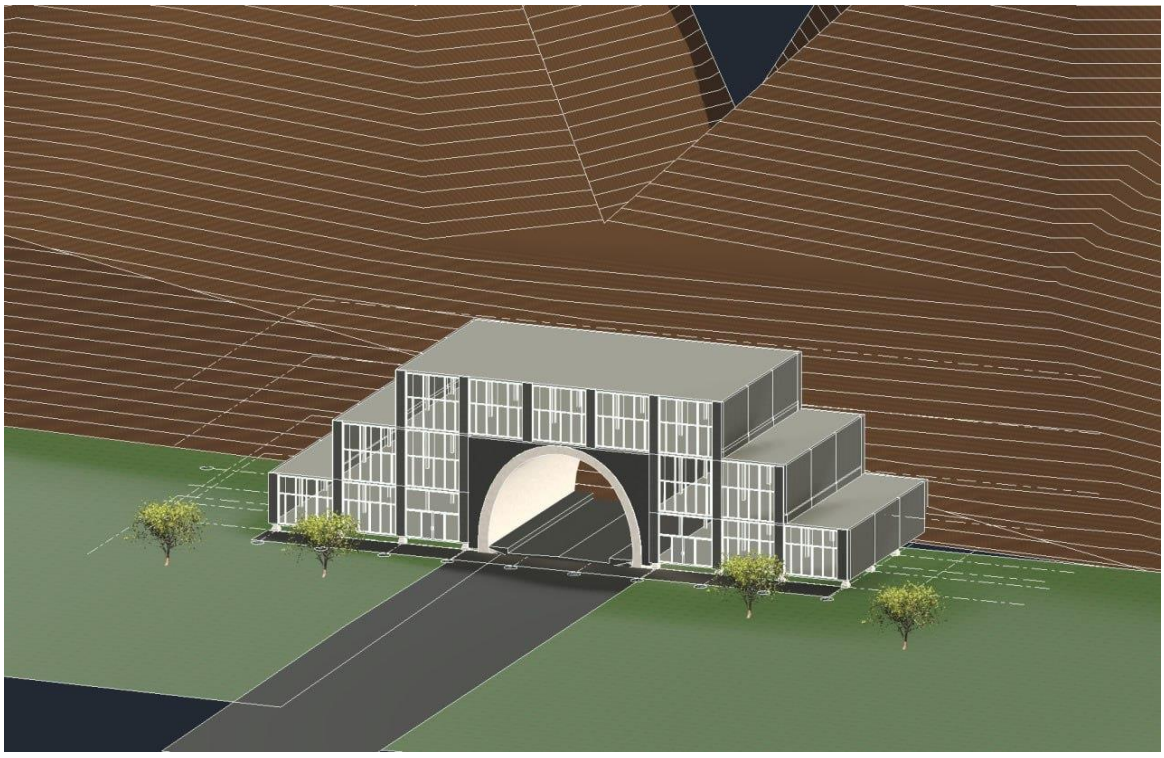


Рисунок 1 – Общий вид

Инженерно-геологические исследования сделало вывод, что горный массив сложен неустойчивыми породами (отсутствие сланцев и прочных сланцев), что потребовало применения закрытого способа строительства и возведения усиленной поддержки для компенсации горного давления. Тоннель была проложен в обход зон тектонических разломов и сейсмической активности для обеспечения долговечности сооружения и его безопасности.

Гидрогеологические условия района характеризуются подходящим уровнем грунтовых вод, что позволяет снизить расходы на дренажные системы и уменьшить риск водопритоков в процессе строительства и его эксплуатации.

Тоннелестроение считается одним из самых высокозатратных видов строительства, поэтому понятно стремление найти способ улучшить, ускорить, удешевить и механизировать строительство тоннелей.



Рисунок 2 – Механизированный опалубочный комплекс

Выбор перевала со средней высотой повлиял на проектные параметры: увеличение длины тоннеля и уменьшение продольного уклона подходов для безопасного движения тяжелогруженого транспорта. С экологической точки зрения, данное расположение обеспечивает наименьшее воздействие на ландшафт.



Рисунок 3 – Общий вид тоннеля глазами ИИ

По результатам проведенных изысканий и проектного анализа, выбранная местность является оптимальной для реализации проекта. Строительство

тоннеля обеспечит кратчайшее и безопасное транспортное сообщение между Зернен и Берн, сократив временные затраты на переезд вдвое.

Литература:

1. СН 1.03.01-2019 – Дата доступа: 20.11.2025.
2. СН 4.03.01-2019 – Дата доступа: 20.11.2025.
3. СП 4.04.01-2022 – Дата доступа: 20.11.2025.

УДК 624.21

Мост через реку Свислочь, соединяющий г. Свислочь и СТ Заречный

Скрипко Александр Владимирович, *студент 4 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Шарко Е.А., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

Проектируемый мост расположен на пересечении города Свислочь и СТ Заречный (Минская область Пуховичский район) (53.645066, 27.908090) обусловлено необходимостью создания безопасного и эффективного транспортного коридора, сокращающего путь и уменьшающий риск для водителей, рекомендуемая местность возведения моста представлена на карте (Рис. 1). Важнейшим аспектом проекта стало совокупное инженерное изыскание, установившая условия и решения.

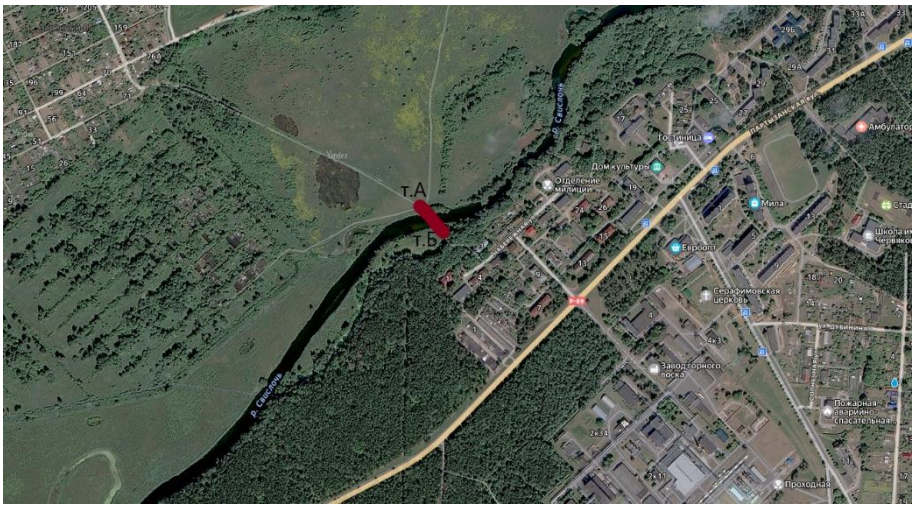


Рисунок 1 – Геопозиция моста

Исходя из инженерно-геологических условий крайние опоры запроектированы свайными пятирядного типа со сваями сечением 35х35 см с шагом 1,3 м в поперечном направлении моста и 0,6 м – в продольном направлении. Количество свай в одном ряду 8 штук. Промежуточные опоры запроектированы в виде стоечных опор с фундаментами на двухрядном свайном основании. Сваи сечением 35х35 см приняты по типовому проекту Длина свай для опор 11-13 метров (Рис. 2).

Мост была проложен в обход зон тектонических разломов и сейсмической активности для обеспечения надежности сооружения и его безопасности.

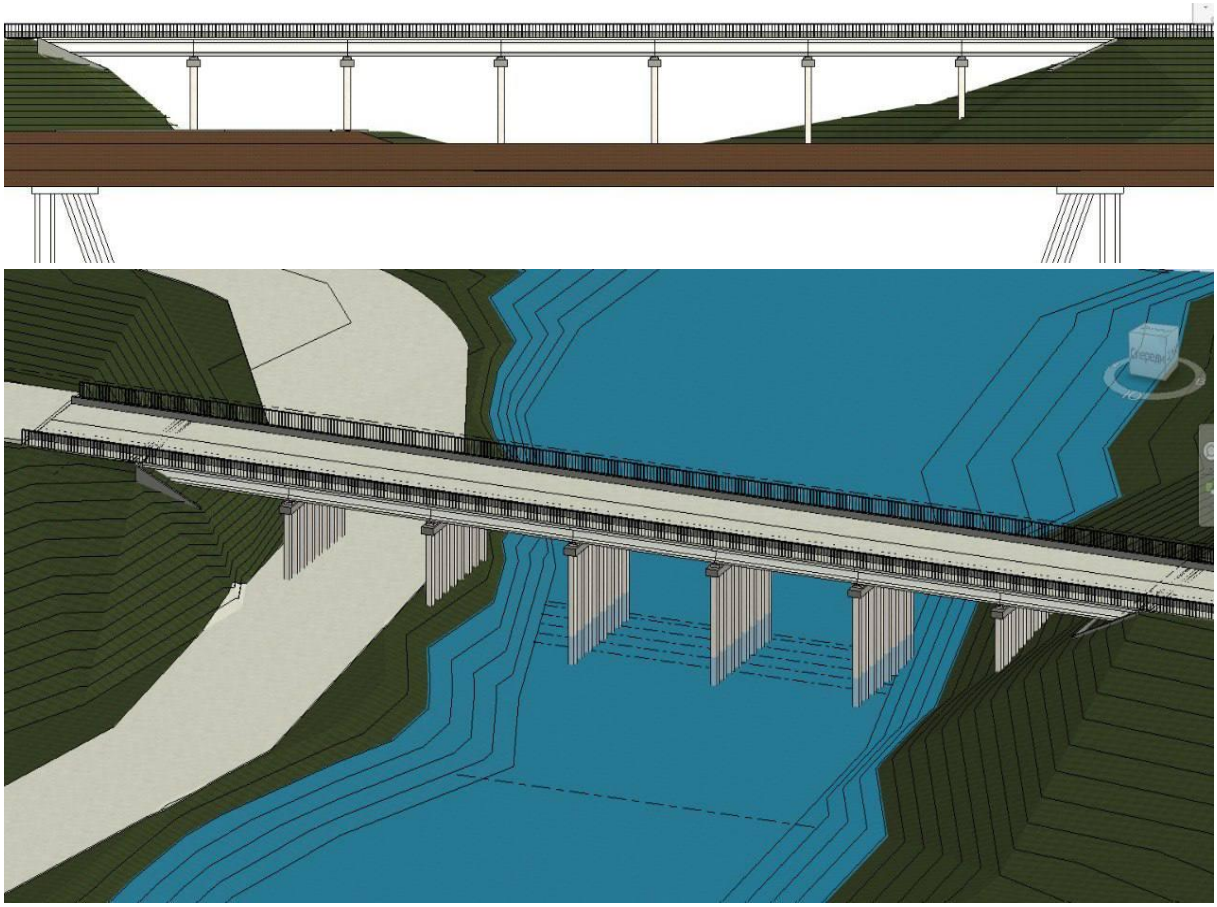


Рисунок 2 – Общий вид модели моста

В поперечнике балок, которые объединены в рамно-неразрезное пролетное строение при помощи опорных монолитных участков над промежуточными опорами и продольных швов омоноличивания балок. Элементы насадок, шкафных и щековых стенок изготавливаются путем монолитного бетонирования с организацией дренажных систем.



Рисунок 3 – Общий вид моста глазами ИИ

Для влагозащиты проводится гидрофобизация следующими материалами: верхней части насадок, поверхности шкафных стенок сбоку балок и пространства под балками. Отделка внешних поверхностей опор производится водоэмульсионной акриловой краской для фасадов согласно согласованному цветовому решению. Глубина погружения опор (свай) при строительстве данного моста составляет 11-13 метров, этой глубины достаточно для достижения несущего слоя грунта.

По результатам проведенных изысканий и проектного анализа, выбранная местность является оптимальной для реализации проекта. Строительство моста обеспечит кратчайшее и безопасное транспортное сообщение между города Свислочь и СТ. Заречный, сократив временные затраты на переезд вдвое.

УДК 624.21

Проектирование автодорожного висячего моста в г. Брест через реку Муховец с использованием расчётного комплекса SOFiSTiK

***Скрипчук Антон Иванович**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Щербо А.Д., преподаватель-стажёр
кафедры «Мосты и тоннели»

Создание проекта висячего моста для автомобильного транспорта через реку Муховец в г. Брест (рис. 1) позволит эффективно пересекать широкое водное препятствие, минимизировав воздействие на природу и городскую застройку

В рамках курсового проектирования был разработан проект висячего моста. Мост расположен на автомобильной дороге II категории; габарит моста Г-8; схема моста: 20+130+20 м; марка стали, используемая при строительстве моста: 15ХСНД. Расчет проводился на нагрузку АК-11.

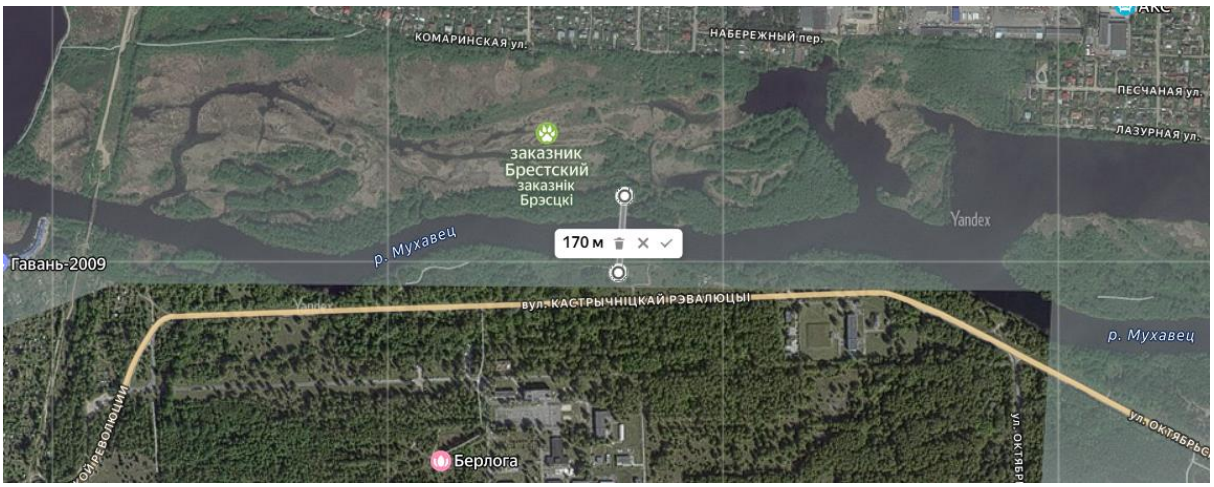


Рисунок 1 – Место строительства транспортного сооружения

В соответствии с принятым техническим решением разработана цифровая моста в ПО Revit, интегрируемая в данные геологии, рельефа и конструктивные решения (рис. 2, 3).

В программном комплексе SOFiSTiK выполнен расчет внутренних усилий в элементах моста: изгибающих моментов и перемещений (Рисунок 4). Результаты подтверждают, что принятые конструктивные решения обеспечивают требуемую прочность: напряжения в материалах не превышают

расчётных сопротивлений, а общая и местная устойчивость всех элементов конструкции обеспечена.

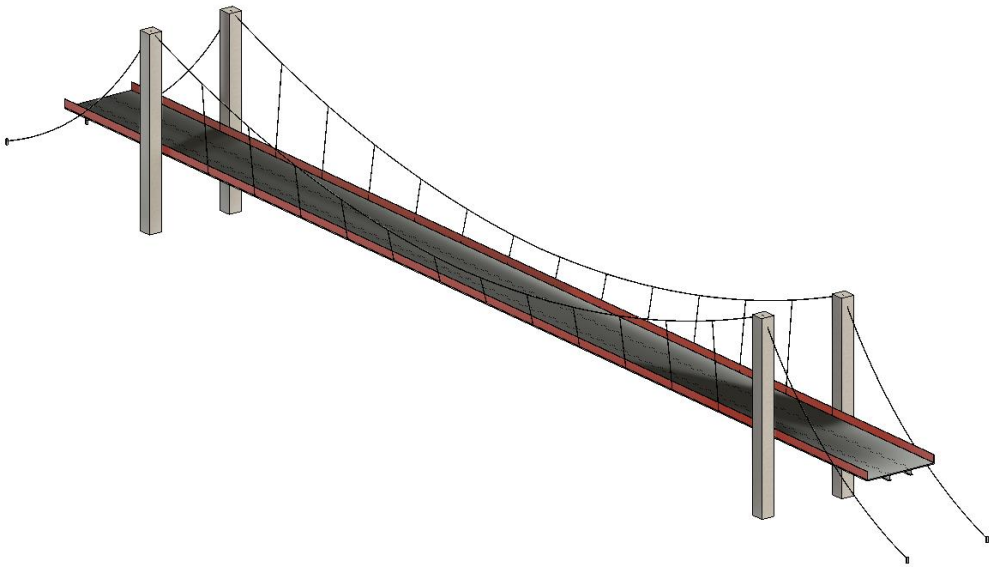


Рисунок 2 – Цифровая модель

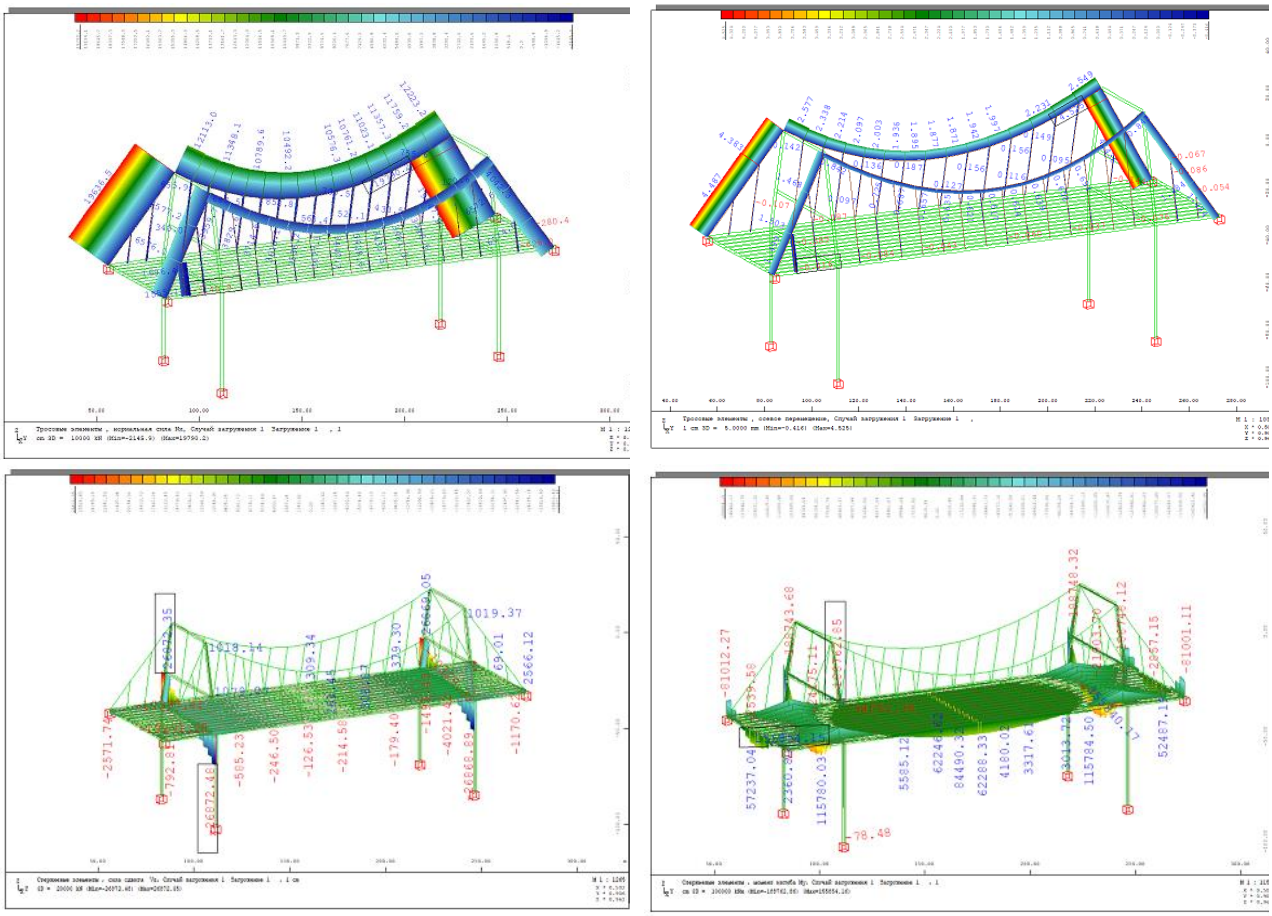


Рисунок 3 – Результаты расчёта (SOFiSTiK): 1. Тросовые элементы, осевое перемещение; 2. Усилие N от собственного веса, пешеходов + АК11 в тросовых элементах; 3. Сдвиг от собственного веса, пешеходов + АК11; 4. Изгибающие моменты от собственного веса, пешеходов + АК11

Создание автодорожного висячего моста – это реализация высокотехнологического инженерного решения, имеющего ключевое значения для транспортной системы. Данный объект станет фактором повышения комфорта жизни горожан, обеспечив более удобное и быстрое передвижение.

По итогу была создана модель висячего моста с анализом его несущей способности. При помощи программного комплекса Revit была выполнена полная визуализация спроектированной конструкции.

При помощи расчетного комплекса SOFiSTiK была произведена проверка прочности и жесткости элементов сооружения. Основные конструктивные решения полностью удовлетворяют проектные требования.

Деформации при расчете не превышают предельно допустимых значений.

Литература:

1. promplace.ru [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://promplace.ru/visyachij-most-konstruktciya-i-osobennosti-stroitelstva-498.htm.
2. навеснойМОСТ [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://navesnoimost.ru/most.

УДК 624.19

Подземная транспортная развязка, совмещённая со станцией метрополитена, расположенная в многофункциональном комплексе в г. Могилеве на пересечении проспекта Мира и улицы Первомайская

***Старцев Демид Николаевич**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

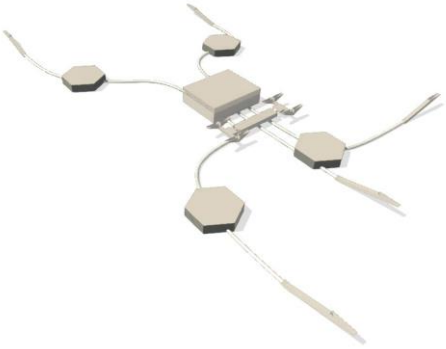
Численность населения города Могилев (Республика Беларусь) составляет примерно 352 тыс. человек, при плотности около 35 человек на квадратный километр. На сегодняшний день в час пик в центральной части города выявлены заторы. Была поставлена задача оптимизации транспортных и пассажирских потоков на пересечении улицы Первомайская и проспект Мира разработать подземную транспортную развязку используя системы тоннелей, а также освоить подземное пространство города и разработать многофункциональный комплекс, имеющий подземную и надземную части.



Рисунок 1 – Месторасположение комплекса на пр. Мира (г. Могилев)

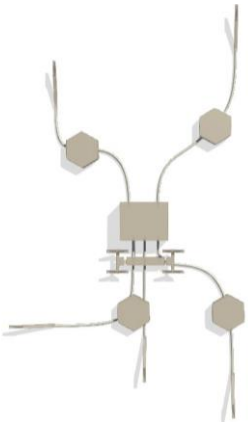


Ситуационный план

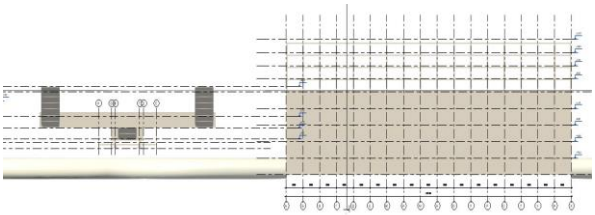


Цифровая модель объекта

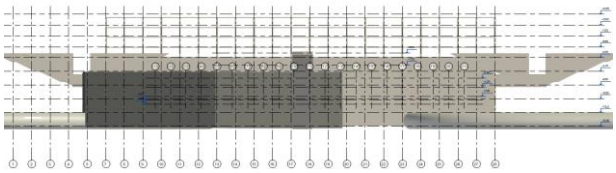
Рисунок 2 – Концепция объединения многофункционального комплекса с использованием сети подземных тоннелей



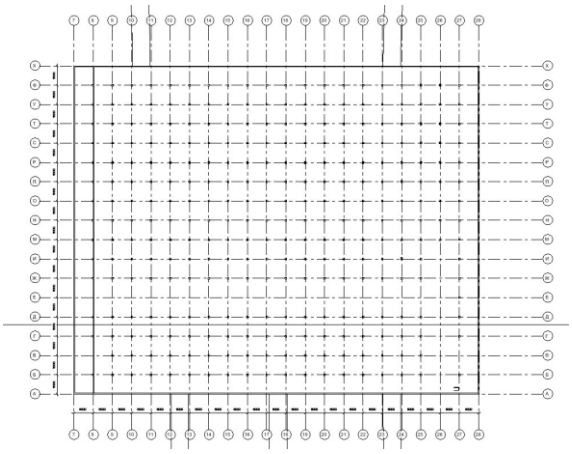
Вид сверху



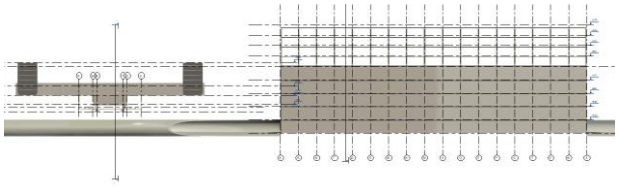
Фасад в осях А-Х по оси 28



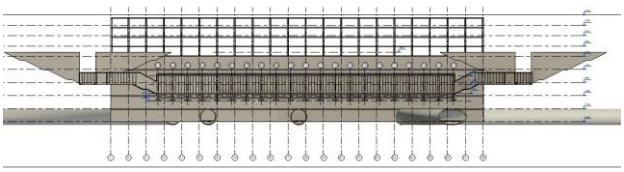
Фасад 1-28 по оси А



План комплекса



Разрез 1-1

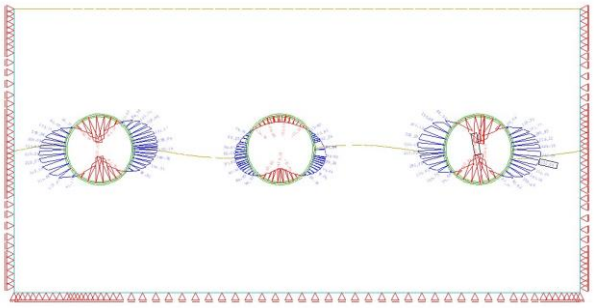


Разрез 2-2

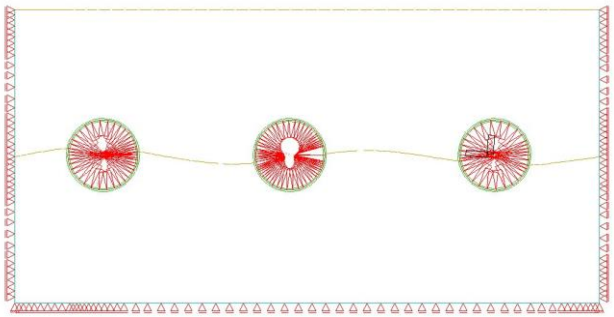
Рисунок 3 – Архитектурно планировочные решения

Строительство многоуровневых подземных стоянок становится приоритетным решением при остром дефиците свободных наземных территорий. Такой подход позволяет трансформировать освободившуюся городскую землю в общественные пространства: парковые зоны, скверы и места для активного отдыха, что значительно повышает качество жизни.

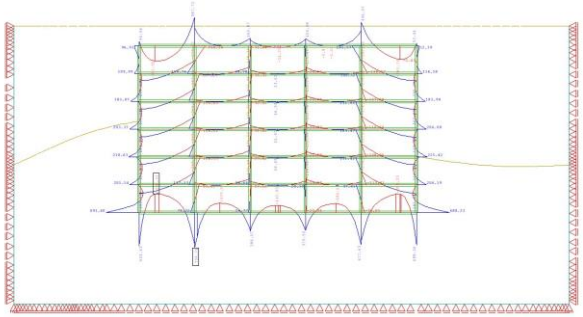
Технологический спек проектирования, включающий программные продукты Autodesk Revit и инструменты глубокого анализа SOFiSTiK, гарантирует надежность проектных решений. Внедрение таких инноваций в 2025 году способствует формированию устойчивой транспортной сети, отвечающей долгосрочным потребностям развития современного города». Результаты расчетов приведены на рисунке 4.



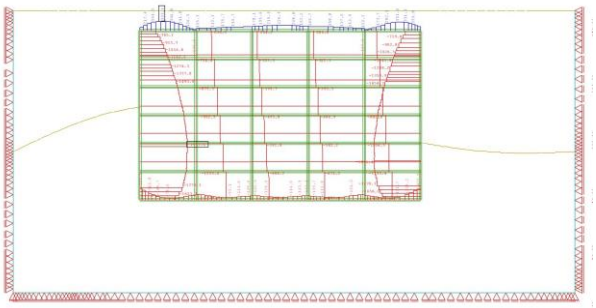
Изгибающий момент My (кН*м)



Внутренние усилия Nx (кН)



Изгибающий момент My (кН*м)



Внутренние усилия Nx (кН)

Рисунок 4 – Результаты расчетов

По результатам расчёта установлено, что несущая способность конструкций многофункционального комплекса обеспечена.

Литература:

1. Пастушков Г. П., Кузьмицкий В. А., Олляк В. Ю., Кузмицкий Д. В. «Проектирование тоннелей, сооружаемых горным способом: учеб.-метод. пособие к курсовому и дипломному проектированию». — Минск: БНТУ, 2005.
2. Кузьмицкий В. А., Пастушков В. Г. «Проектирование тоннелей, сооружаемых щитовым способом: пособие к курсовому и дипломному проектированию». — Минск: БНТУ, 2009. — 211 с.

УДК 624.19

Подземная транспортная развязка, расположенная в многофункциональном комплексе в г. Могилеве на пересечении проспекта Мира, Первомайской улицы и бульвара Ленина

***Судак Валерия Витальевна**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

В рамках работы над курсовым проектом требовалось решить актуальную проблему транспортных заторов в г. Могилеве, численность населения которого составляет 352 896 человек. Площадь города 118 км². Перед выбором конкретной дороги я исследовала карту пробок города. На ней я обнаружила, что в часы пик на пересечении проспекта Мира, Первомайской улицы и бульвара Ленина загруженность дорог отмечается в 9 баллов (Рис. 1). Для устранения данной проблемы мною была разработана модель автодорожного тоннеля, а также многофункциональный комплекс, включающий в себя паркинг, который поможет решить проблему нехватки парковочных мест для автомобилей (Рис. 2).

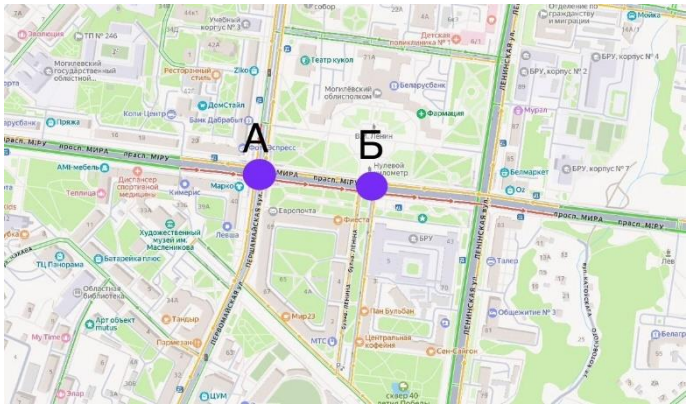
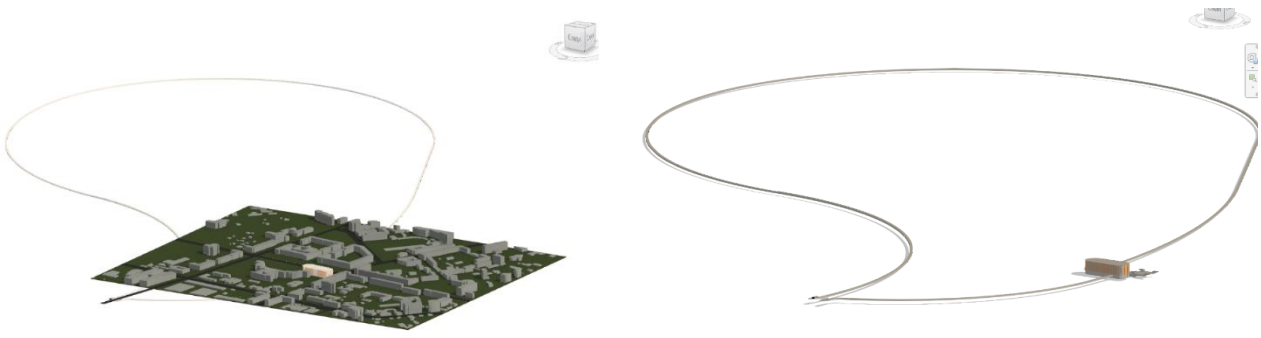


Рисунок 1 – Пробки 9 баллов по пр. Мира (г. Мозырь)



Ситуационный план Цифровая модель объекта

Рисунок 2 – Концепция объединения многофункционального комплекса с использованием сети подземных тоннелей

Конструктивно проект предполагает использование монолитного железобетона для создания надежного и долговечного подземного сооружения, а тоннельные системы имеют приемлемый радиус поворота. Особое внимание было обращено на проектирование деформационных швов, для предотвращения термических расширений и сжатий. А гидроизоляция и дренажные системы, помогут обеспечить хорошую защиту от грунтовых вод и предотвратить наводнения. Сооружение также будет включать в себя системы вентиляции, освещения, которые отвечают нормам безопасности и комфорта.

Паркинг представляет собой отдельно стоящее сооружение, связанное с транспортной развязкой посредством подземных переходов, которые обеспечивают беспрепятственный доступ для транспортных средств. Паркинг имеет 7 уровней, взаимосвязанных наклонными дорогами, а для лучшей оптимизации движения предусмотрены габариты проездов, стандартизирована разметка и система ориентирования.

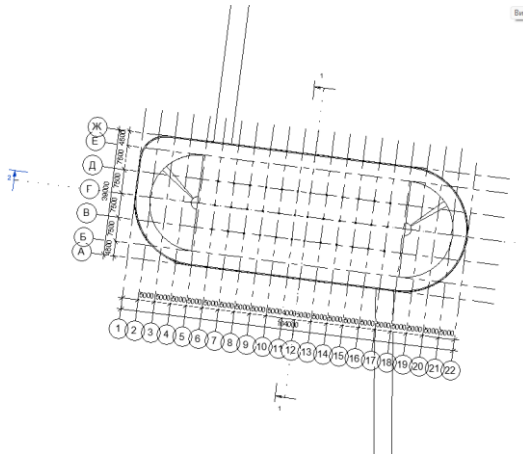
Для создания проекта была использована программа Revit с применением технологии информационного моделирования зданий. Создание BIM-модели помогло более детально описать конструктивные элементы, инженерные системы и материалы. Что предоставило обширные перспективы для анализа, улучшения и максимальной синхронизации на всех этапах проектирования и строительства (Рис.3).

Для успешного воплощения проекта требуется тщательная подготовка к работе. Должен быть проведен технико-экологический анализ с учетом данных геологических изысканий, спроектированы транспортные маршруты и рассчитана предварительная стоимость затрат на построение сооружения и его обслуживание.

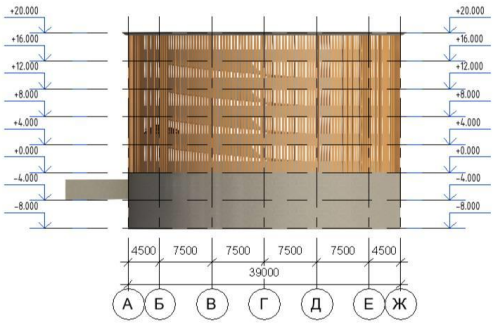
Чтобы удостовериться в безопасности использования данного объекта и убедиться в его несущей способности, был проведен расчет в программном комплексе SOFiSTiK (Рис.4). Паркинг устроен по конструктивной схеме, которая опирается на колонную систему. В ее основе лежат монолитные железобетонные ригели, несущие основную нагрузку. Они служат опорой для плит перекрытия и крыши, создавая единую пространственную конструкцию, которая дополнительно укреплена анкерами. Для обеспечения требуемой жесткости и устойчивости паркинга в поперечном направлении к ригелям примыкают монолитные железобетонные распорки, выполняющие функцию поперечных стен.

Для возведения автомобильных тоннелей щитовой метод, который позволит выполнить работу быстро и безопасно. Внутренняя отделка будет осуществляться с применением сборных железобетонных элементов,

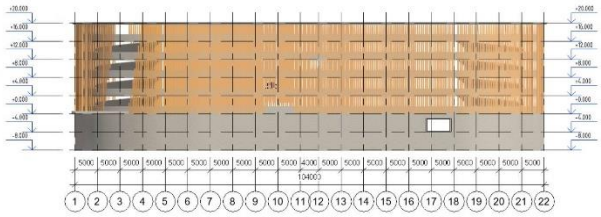
произведенных на заводе. Такой подход обеспечит высокое качество и точность монтажа.



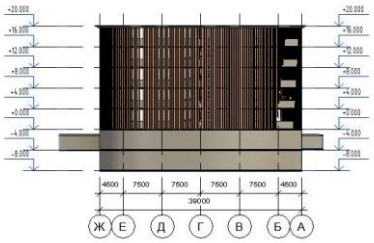
План комплекса на отм. -20.000



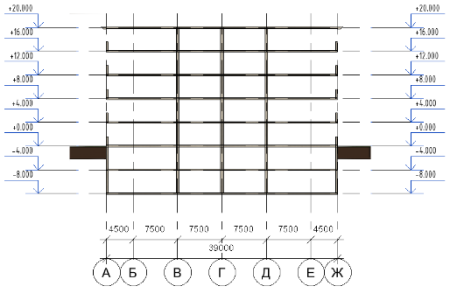
Фасад в осях А-Ж по оси 22



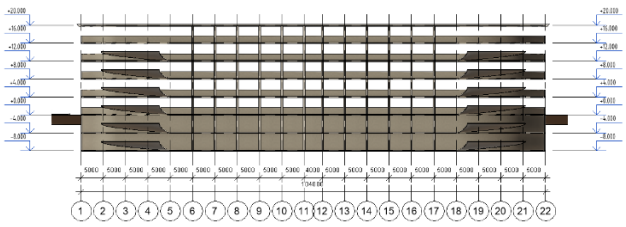
Фасад 1-22 по оси А



Фасад Ж-А по оси 1

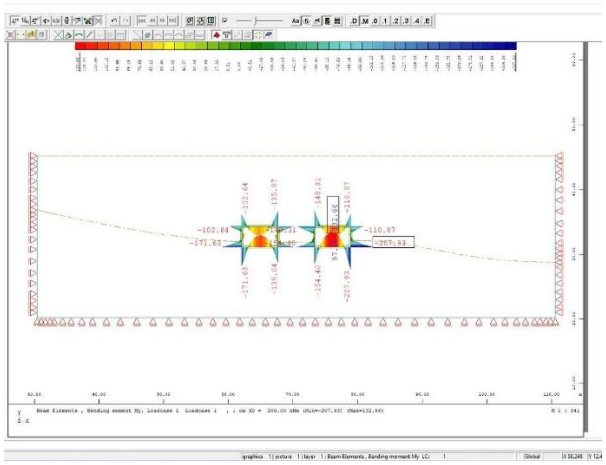


Разрез 1-1

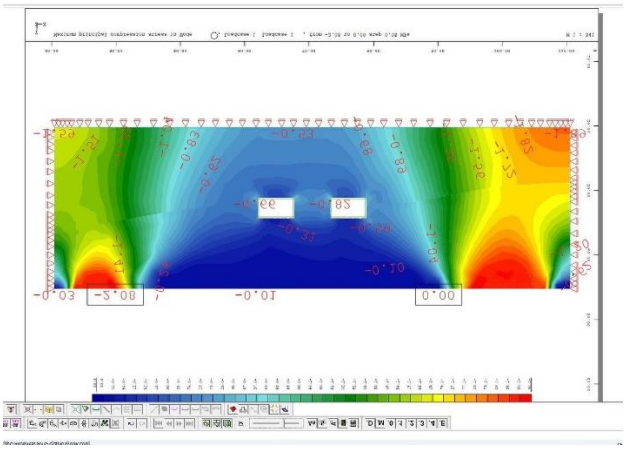


Разрез 2-2

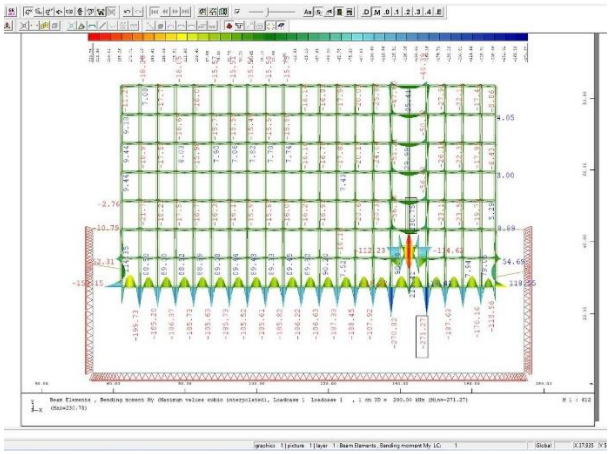
Рисунок 3 – Архитектурно планировочные решения



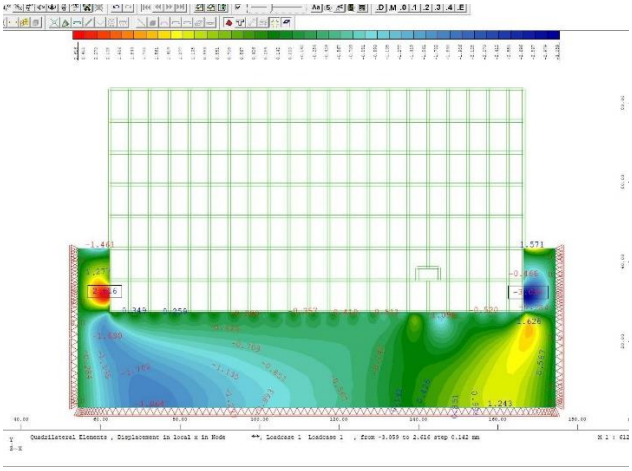
Изгибающий момент My (кН*м)



Напряжения по горизонтальной оси x



Изгибающий момент My (кН*м)



Напряжения по горизонтальной оси x

Рисунок 4 – Результаты расчетов

Реализация проекта окажет положительное влияние на экологическую обстановку за счет снижения заторов и уменьшения выбросов вредных веществ в атмосферу. Благодаря подземной транспортной развязке, центр города станет более доступным для людей, что поспособствует его экономическому росту. Тоннель сыграет важную роль в инфраструктуре Могилева, сделая его более комфортным и удобным для жизни и работы. Используя программное обеспечение Revit мы можем более тщательно проработать все детали конструкции, от архитектурно-планировочного решения и конструктивных элементов до логистики, что повысит качество и эффективность работы будущего сооружения. А по результатам расчета программного комплекса SOFiSTiK можно сделать вывод, что нагрузка не превышает допустимых значений и несущая способность сооружения гарантирована.

Литература:

1. Маковский Л.В. «Проектирование автодорожных и городских тоннелей». М., Транспорт, 1993 г.

2. Пастушков Г. П., Кузьмицкий В. А., Олляк В. Ю., Кузмицкий Д. В. «Проектирование тоннелей, сооружаемых горным способом: учеб.-метод. пособие к курсовому и дипломному проектированию». — Минск: БНТУ, 2005.

УДК 624.19

Станция метрополитена мелкого заложения на пересечении проспекта Независимости, Первомайской улицы и проспекта Ленина в г. Могилеве

***Судак Валерия Витальевна**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Станции метрополитена мелкого заложения характеризуются тем, что закладываются на небольшой глубине, благодаря чему их возведение осуществляется открытым способом. Главный метод создания таких станций предполагает подготовку открытого котлована, который потом укрепляется при помощи стандартных сборных или цельных железобетонных элементов, включая систему распорок для гарантирования устойчивости конструкции.

Для построения данного объекта мной было выбрано пересечение проспекта Независимости, Первомайской улицы и бульвара Ленина в г. Могилеве. Так как там проходит крупный транспортный узел с большим количеством пассажиров. Этот перекресток является стратегически важной точкой, которая соединяет исторический центр города с его новыми районами (Рис1).

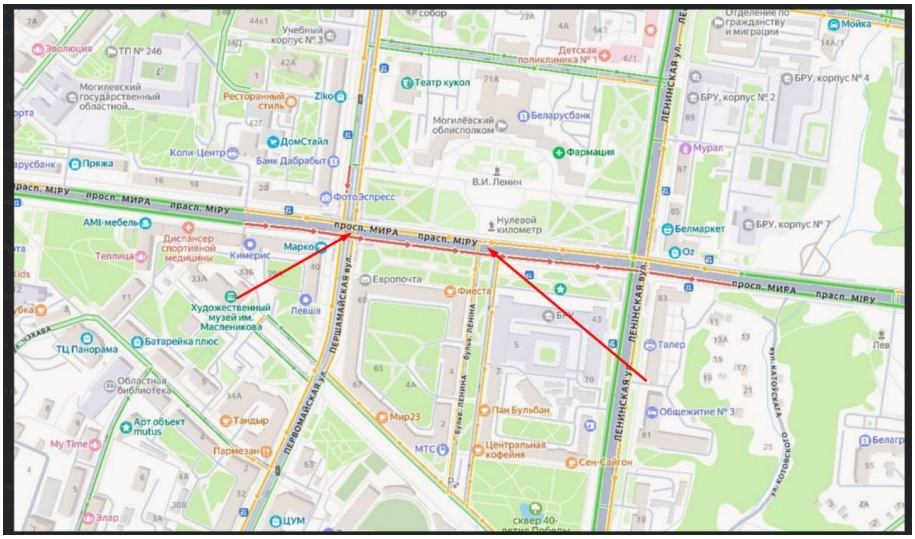
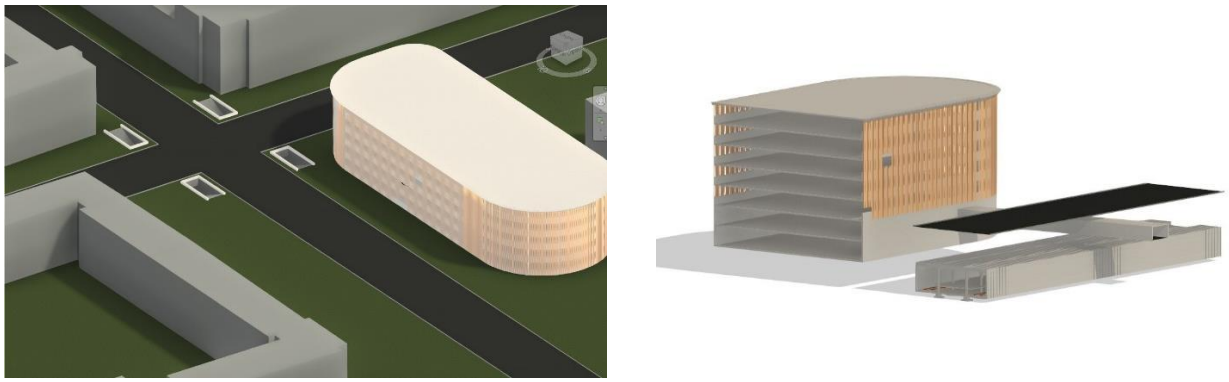


Рисунок 1 – Пересечение проспекта Независимости, Первомайской улицы и бульвара Ленина в г. Могилеве

Проанализировав местность, было принято решение строить станцию метрополитена мелкого заложения открытым способом, для которого был выкопан котлован. Проектом предусматривается интеграция подземных уровней станции с находящимся над ней многофункциональным комплексом. Данный

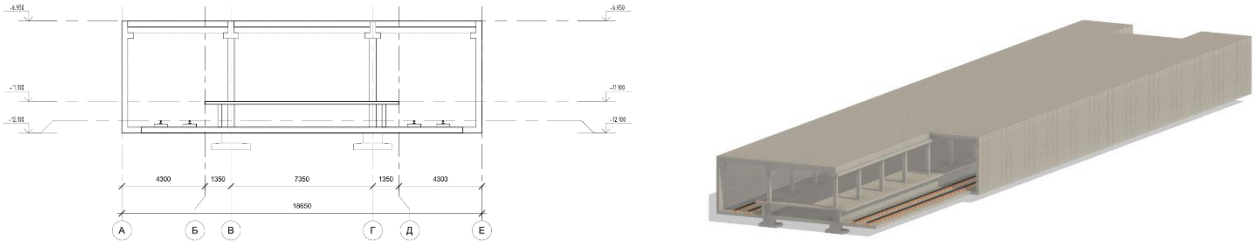
метод позволит правильно использовать ограниченное пространство и предоставит удобный способ передвижения пассажирам прямо из зданий (Рис.2).



Ситуационный план Цифровая модель объекта

Рисунок 2 – Концепция объединения многофункционального комплекса с использованием сети подземных тоннелей

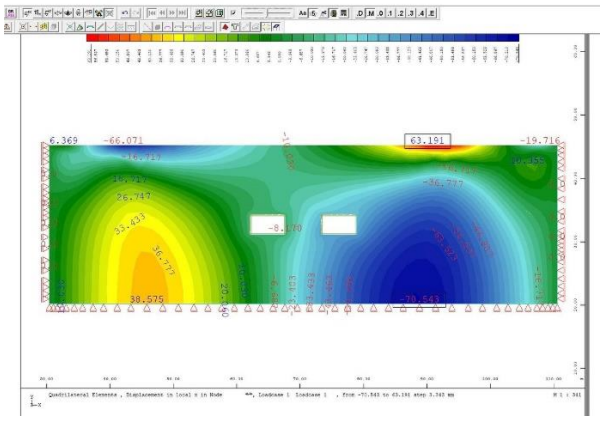
При создании 3D-модели сооружения было уделено особое внимание прочности элементов конструкции, она будет состоять из монолитного железобетона. Пространство внутри тоннеля разделено на три секции с помощью двух рядов колонн, что является уже устоявшимся архитектурным решением для мелких станций. Центральная зона является пассажирской платформой, а боковые служат для движения поездов по железнодорожным путям (Рис.3).



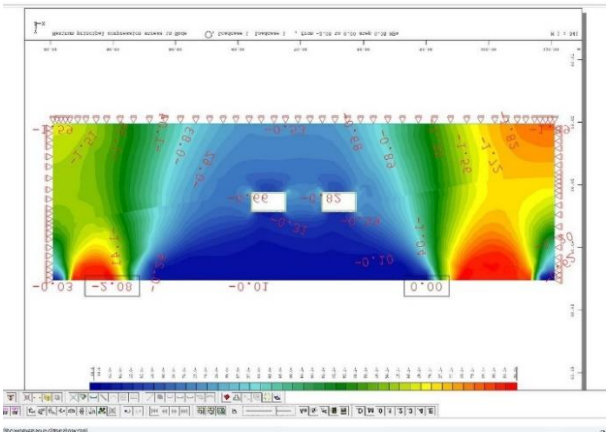
Разрез 1-1 Общий вид конструкций

Рисунок 3 – Архитектурно-планировочные решения

Так как станция метрополитена предполагает расположение под оживленным перекрестком, следует учитывать нагрузки от грунта и вибрации от наземного транспорта. Для того, чтобы проверить выносливость будущего сооружения мы воспользовались программным комплексом SOFiSTiK, в котором и произвели расчеты (Рис.4).



Напряжения по горизонтальной оси x



Напряжения по горизонтальной оси y

Рисунок 4 – Результаты расчетов

Данная станция окажет положительное влияние на развитие транспортной системы Могилева, обеспечит высокую пропускную способность и преобразит подземное пространство города. Это инженерное решение характеризуется высокой надежностью и долговечностью в условиях непрерывной городской нагрузки.

Литература:

1. Общие сведения о тоннелях [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://studfile.net/preview/9688636/
2. Маковский Л.В. «Проектирование автодорожных и городских тоннелей». М., Транспорт, 1993 г.

УДК 624.21

Взаимосвязь военного и гражданского строительства мостов и дорог: связь между свайными и пролетными мостами в двух сферах

***Тарасевич Александр Сергеевич**, курсант 3 курса*
кафедры «Военно-инженерной подготовки»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулаго Ю.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

В гражданской и военной сфере одним из главных направлений в инженерной деятельности является реконструкция и строительство мостов, прокладывание колонных путей и дорог.

Опыт и новые технологии, полученные в строительстве гражданских и военных мостов и дорог, напрямую внедряются для повышения качества и эффективности строительства в двух сферах. Начиная с внедрения современного оборудования и технологий, и заканчивая новыми методами и процессами.

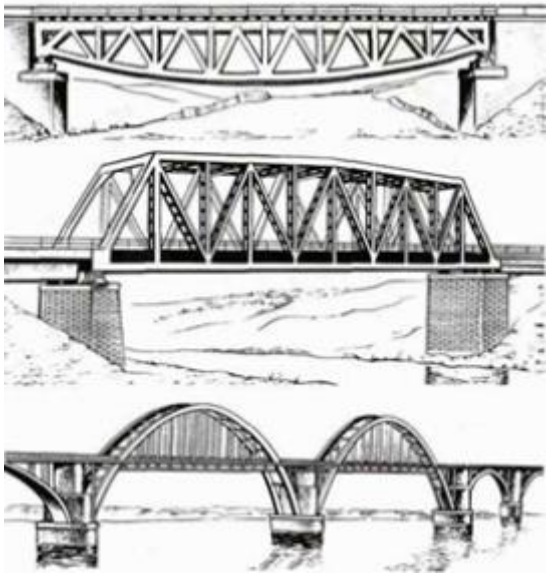


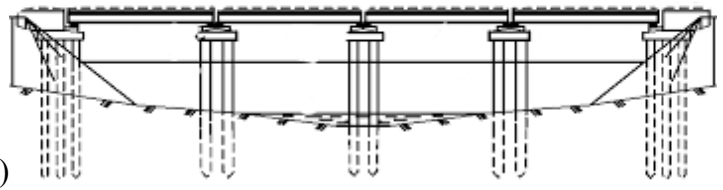
Рисунок 1 – Мосты

Основой строительства мостов, как в гражданском деле, так и в военном являются свайные и пролетные мосты.

Свайные мосты – основываются на использовании свай, которые обеспечивают высокую стабильность и надежность даже на слабых или нестабильных грунтах. Обычно применяются для длинных и тяжелых сооружений.

Пролетные мосты представляют собой конструкции, состоящие из пролетных строений, опирающихся на опоры. Ключевой особенностью которых является: легкость сборки и разборки, что делает их предпочтительным вариантом для оперативного развертывания, временного использования и быстрого восстановления транспортной инфраструктуры, в частности, в военных целях.

а)



б)

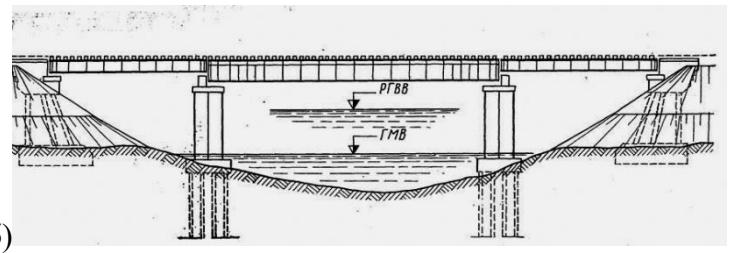


Рисунок 2 – а) Свайный мост; б) Пролетный мост

Ключевой особенностью является потенциал к объединению и взаимному усилению. К примеру:

- Для развития гражданской инфраструктуры сваи способны формировать прочный фундамент под пролетными конструкциями, позволяя оперативно увеличивать пропускную способность дорог.

- Во время военных действий пролетные системы, опирающиеся на сваи или другие надежные основы, способствуют стремительному созданию переправ, гарантируя их стабильность и безопасность в сложных обстоятельствах.

Совместное применение двух типов этих мостов дает возможность более эффективно управлять дорожным потоком:

- В случае возникновении аварийных ситуаций пролетные мосты позволяют быстро вернуть работоспособность транспортной сети;

- Сваи гарантируют же долговечность сооружения, его сохранность от различных факторов, будь то стихийные бедствия или военные действия.

Объединение же военных и гражданских проектов по возведению мостов и дорог, в особенности, свайных конструкций и мостов из пролетов, играет важнейшую роль в создании работоспособной и крепкой транспортной сети как в мирном, так и в военном секторе. Использование передовых технологий и вложения средств в совершенствование и сочетание этих двух видов мостов

создает универсальное и практичное решение, соответствующее стандартам безопасности, эффективности и продолжительности эксплуатации.

Литература:

1. Строительство мостов: пособие для студентов специальности 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены» / В. А. Гречухин. – Минск: БНТУ, 2017. – 96 с.
2. «Строительство мостов. Пролетные строения: Конспект лекций» / Курлянд В.Г, Курлянд В.В. – Москва: МАДИ (ГТУ), 2009. – 107 с.

УДК 624.012

Пресса для испытания бетона на сжатие

***Трацевский Максим Евгеньевич*, *Касинич Алексей Павлович*,**
студенты 3 курса кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Производство всех строительных материалов регулируется техническими регламентами. С целью измерения физических характеристик для последующего сравнения с нормативами образцы производимых материалов подвергаются лабораторным испытаниям. Прочность бетона измеряется при помощи гидравлических прессов в результате использования которых удается с высокой точностью определить сопротивление бетона на сжатие и изгиб.

Стандартный пресс для испытания бетона работает с кубическими или цилиндрическими образцами. В первом случае заготовки для тестирования изготавливают в специальных формах, а второй способ исследований предполагает вырубку образцов из монолитных конструкций с помощью буровых механизмов. В зависимости от специфики технологического процесса для анализа стройматериалов выбирают оптимальный вариант.



Рисунок 1 – Образцы бетона

Испытательные прессы различаются по разновидности привода на гидравлические, отличающиеся высокой мощностью, что позволяет использовать их при испытании материалов высокой прочности, электромеханические, особенностью которых является высокая точность, скорость работы и энергоэффективность, а также электрогидравлические, совмещающие в себе преимущества вышеперечисленных.



Рисунок 2 – Гидравлический испытательный пресс C055N от Matest

Испытание образцов бетона заключается в определении величины статической нагрузки, приводящей к разрушению образца. При помощи пресса к образцу прикладывается постоянно увеличивающаяся нагрузка. Максимальное значение при котором образец начинает разрушаться фиксируется и по результатам нескольких испытаний прочность бетона на сжатие рассчитывается как их среднее арифметическое.

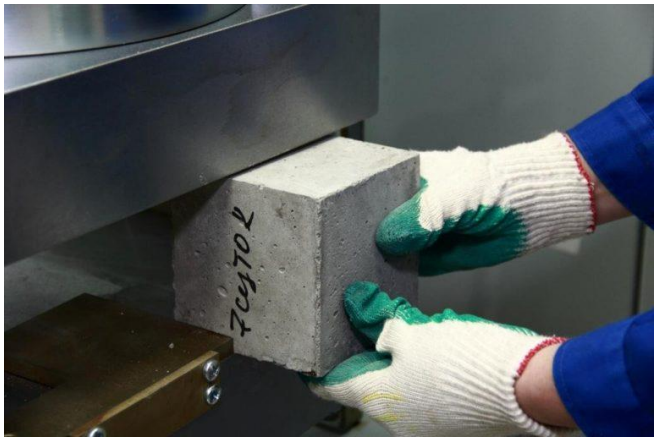


Рисунок 3 – Испытание образца бетона на сжатие

Органы измерения в испытательных прессах фиксируют давление и деформацию исследуемого образца. Основными является тензодатчики и манометры, а также используются оптические измерительные линейки и компьютерные блоки обработки данных, наличие которых позволяет оперативно обнаруживать первые признаки разрушения образца на начальных этапах.

Литература:

1. СПЕКТР ТМ [Электронный ресурс]. – URL : https://sptm59.ru (Дата обращения: 20.11.2025).
2. Главный форум метрологов [Электронный ресурс]. – URL : https://metrologu.ru (Дата обращения: 20.11.2025).

УДК 624.21

Влияние строительства тоннеля метрополитена на существующую застройку, в г. Минске на пересечении ул. Лизы Чайкиной и ул. Центральной

***Терехова Анастасия Владиславовна**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Щербо А.Д., преподаватель-стажёр
кафедры «Мосты и тоннели»

При разработке проекта строительства нового тоннеля метрополитена был выполнен комплекс технических расчётов, направленных на разработку актуального проектного решения с учетом долговечности и безопасности подземного сооружения, а также его влияния на существующую городскую застройку. Место расположения объекта – город Минск (Заводской район), пересечение улицы Лизы Чайкиной и улицы Центральной, имеющий координаты 53.864414, 27.651700, с учетом анализа вариантов проектных решений, пятна застройки и трассы тоннеля (Рисунок 1).

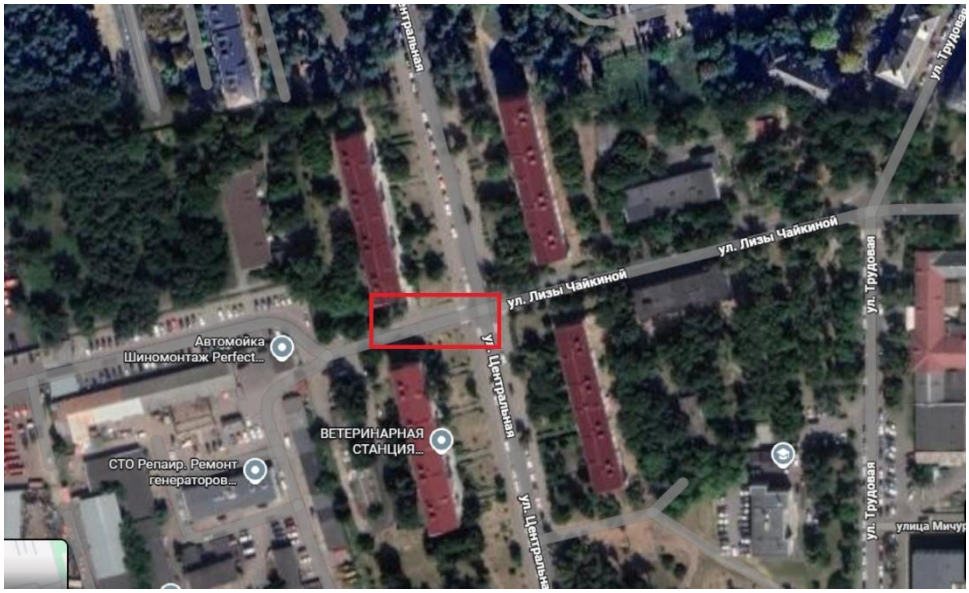


Рисунок 1 – Место расположения перегонного тоннеля

Перегонный тоннель расположен в жилом квартале имеющий жилые дома, попадающие в зону влияния пятна строительно-монтажных работ. Появилась необходимость выполнить детальный расчёт характера поведения конструкций на этапе строительства и последующей его безопасной эксплуатации с учетом

долговечности. Определены величины деформаций грунтового основания и выполнена оценка вероятности осадки конструкций жилых домов.

Используя данные инженерно-геологических изысканий, профиль трассы тоннеля и используемые конструктивные решения, была разработана расчетная схема сооружения с использованием многофункционального расчетного комплекса «SOFiSTiK» (Рисунок 3).

Исходные данные (Рисунок 2): Глубина заложения-8,8 м.; Диаметр тоннеля-7,3 м.; Ширина тюбинга-0,4 м.; Жилые кирпичные дома – 9 этажей (ширина 30 м.), 11 этажей (ширина 50 м.), что соответствует эквивалентной нагрузке 10000 тонн.

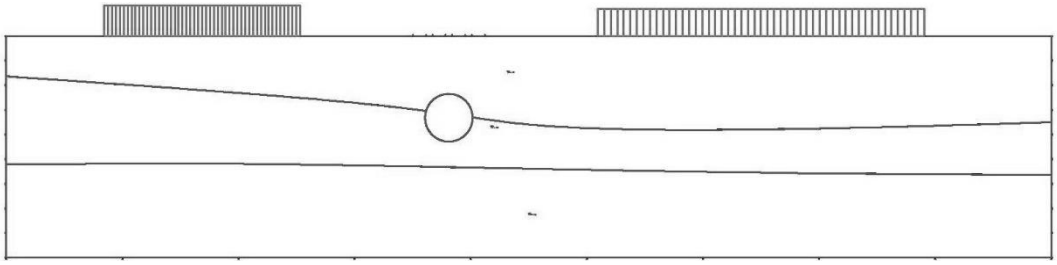


Рисунок 2 – Общий вид расчётной схемы

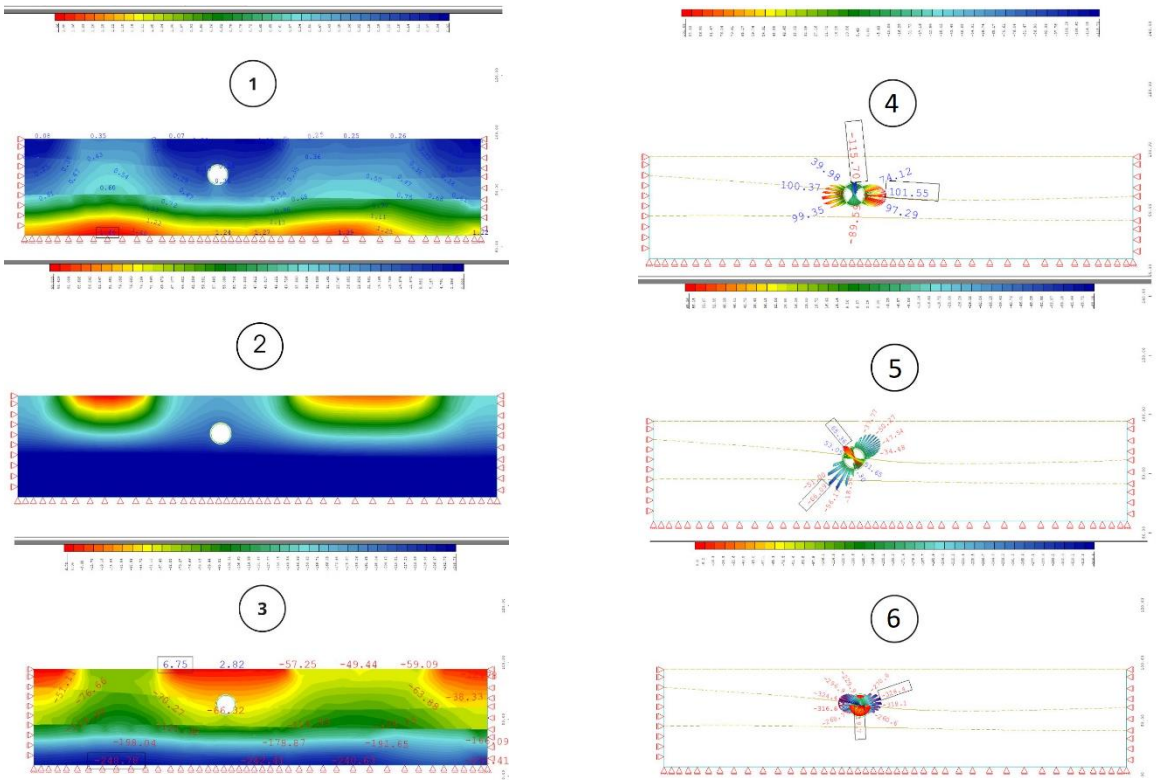


Рисунок 3 – Результаты расчёта (SOFiSTiK): 1. Распределение максимальных приведённых напряжений в грунте и конструкциях зданий при проходке тоннеля; 2. Перемещения грунтового массива по направлению оси Y; 3. Распределение деформаций зданий и грунта в зоне влияния тоннеля. 4. Расчётные усилия в сечении (изгибающий момент My); 5. Расчётные усилия в сечении (поперечная сила Vz); 6. Расчётные усилия в сечении (нормальная сила Nx)

На основании результатов выполненных расчетов, можно утверждать, что несущая способность основных конструкций перегонного тоннеля обеспечена, осадки грунтового основания не превышают предельно допустимых величин. Жилые дома попадающие в зону влияния строительно-монтажных работ обеспечивают восприятие внешних воздействий, усиление основания не требуется.

Литература:

1. Л. В. Маковский, В. В. Кравченко, Н. А. Сула – «Строительство автодорожных и городских тоннелей». -2024 г.- 408 стр.

УДК 624.21

Проектирование автодорожного висячего моста в г. Минске через водохранилище «Дрозды» с использованием расчётного комплекса «SOFiSTiK»

***Терехова Анастасия Владиславовна**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Щербо А.Д., преподаватель-стажёр
кафедры «Мосты и тоннели»

Проектирование висячего автодорожного моста через водохранилище «Дрозды», РБ, г. Минск (Рисунок 1) актуально для преодоления широкой водной преграды с минимальным воздействием на экологию и инфраструктуру.

В рамках курсового проектирования был разработан проект висячего моста. Мост расположен на автомобильной дороге II категории; габарит моста Г-6,5; схема моста: 30+150+30 м; сталь, используемая при строительстве моста: 15ХСНД. Расчет проводился на нагрузку АК-11.

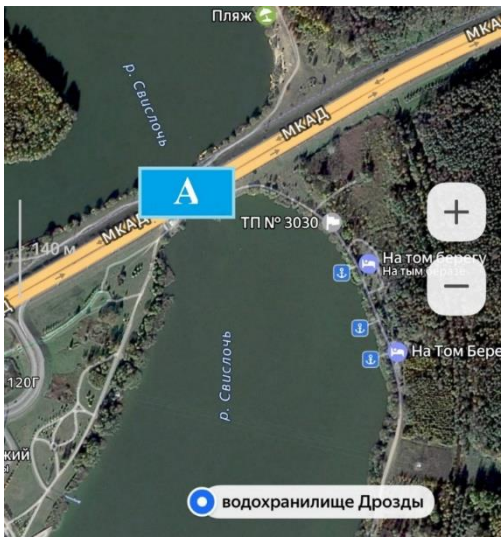


Рисунок 1 – Место строительства транспортного сооружения

Согласно технического решения, мною была разработана цифровая модель объекта с учетом геологии, фактического рельефа местности и архитектурно-конструктивных особенностей. Также завершена визуализация модели, созданной в Revit (Рисунок 2, 3).



Рисунок 2 – Цифровая модель и визуализация

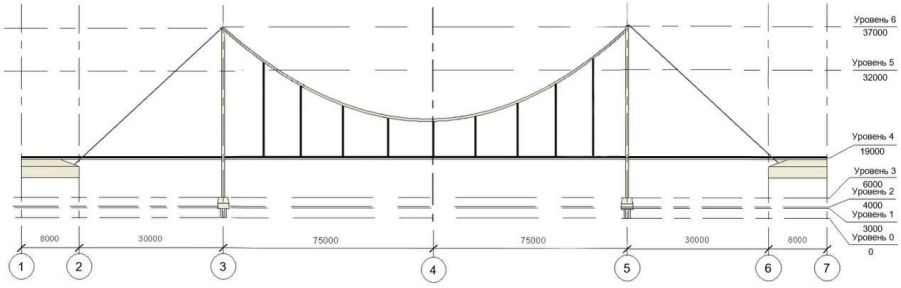


Рисунок 3 – Фасад в осях 1-7 по оси А; Фасад в осях А-Ж по оси 7

Также были определены усилия в элементах моста, изгибающие моменты и деформации в программном комплексе «SOFiSTiK» (Рисунок 4). Принятые конструктивные решения обеспечивают необходимую несущую способность, напряжения в элементах не превышают предельно допустимых значений, общая и местная устойчивость элементов обеспечена.

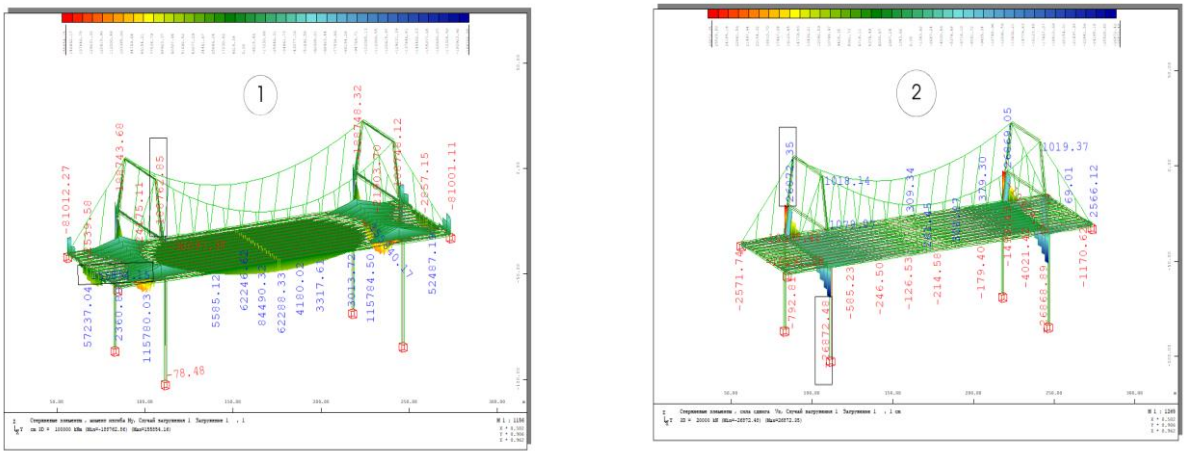


Рисунок 4 – Результаты расчёта «SOFiSTiK»: 1. Изгибающие моменты от собственного веса, пешеходов + АК11; 2. Сдвиг от собственного веса, пешеходов + АК11; 3. Усилие N от собственного веса, пешеходов + АК11 в тросовых элементах; 4. Тросовые элементы, осевое перемещение

Автодорожный висячий мост представляет собой сложное инженерно-техническое сооружение, которая играет ключевую роль в транспортной инфраструктуре. Такой проект улучшит качество жизни в городе, облегчая передвижение.

Литература:

1. promplace.ru [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://promplace.ru/visyachij-most-konstruktciya-i-osobennosti-stroitelstva-498.htm
2. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85
3. НавеснойМОСТ [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://navesnoimost.ru/most

УДК 624.21

Автодорожный висячий мост в г. Минске через реку «Свислочь»

***Цыброва Алина Вячеславовна**, студент 4 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Шарко Е.А., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

Строительство автодорожных мостов, особенно в сложных геологических условиях и на пересечениях водных преград, является важной задачей. При выборе места для нового моста учитываются экологические факторы и существующая инфраструктура. В рамках данной работы было предложено возвести висячий мост через реку «Свислочь» в Минске, который обеспечит двустороннее сообщение между ул. Ванеева и ул. Денисовская. Эта концепция разработана с учетом особенностей выбранной локации.

Автодорожный мост предназначен для организации транспортного движения. В рамках технического решения была создана цифровая модель сооружения, учитывающая геологические условия, рельеф местности и конструктивные особенности. Визуализация этой модели в Revit позволила представить проект в реалистичном виде, что способствует лучшему пониманию его архитектурных и функциональных характеристик. (Рисунок 1, 2, 3).



Рисунок 1 – Цифровая модель (слева) и визуализация (справа)

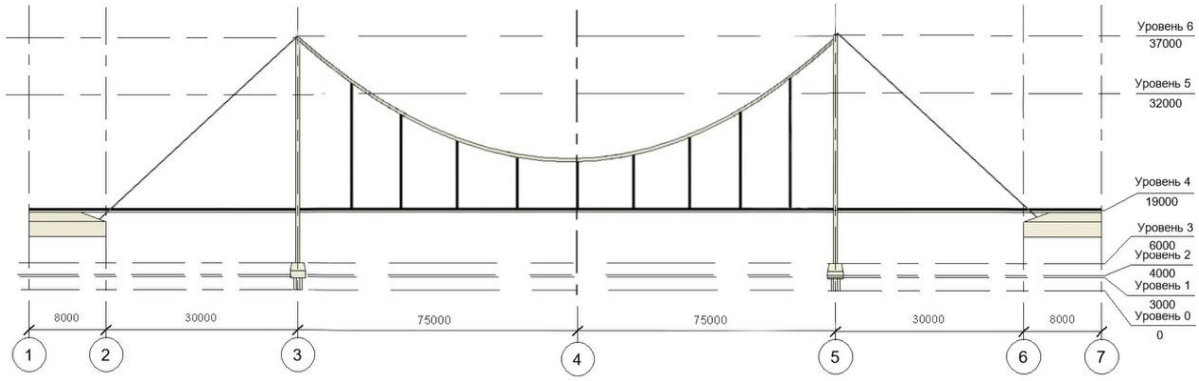


Рисунок 2 – Фасад в осях 1-7 по оси А

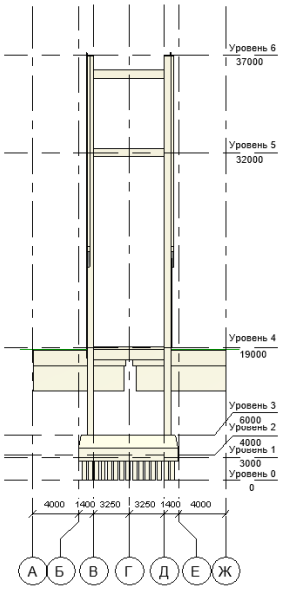


Рисунок 3 – Фасад в осях А-Ж по оси 7

Автодорожный висячий мост – это сложная инженерная конструкция, имеющая важное значение для транспортной системы. Реализация данного проекта улучшит транспортную доступность и повысит качество жизни в городе.

Литература:

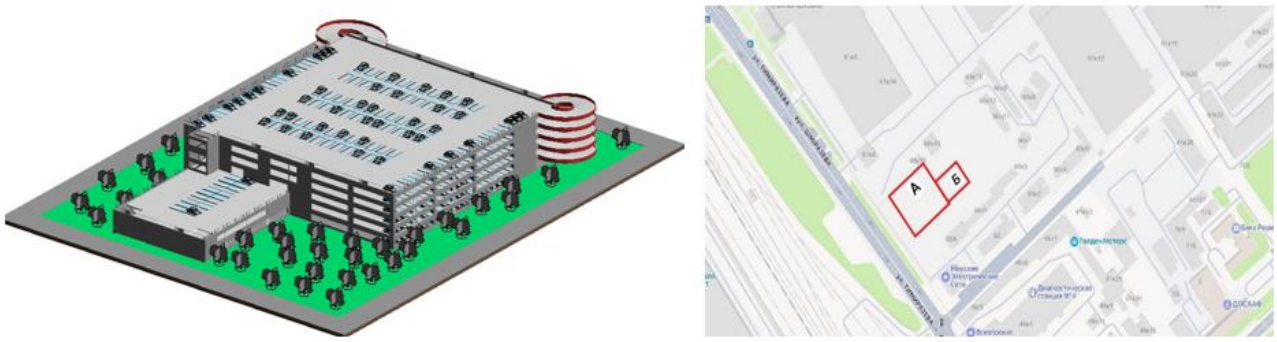
1. СП 16.13330.2017 "Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП I-23- 81
2. С. А. Цаплин. Висячие мосты. Теория и расчёт. – 1937. – 250 стр.
3. promplace.ru [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://promplace.ru/visyachij-most-konstruktciya-i-osobennosti-stroitelstva-498.htm
4. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85

УДК 624.9

Паркинг на пересечении улиц Тимирязева и Саперов в г. Минске

Чекавый Никита Андреевич *студент 3 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Савина Е.Н., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

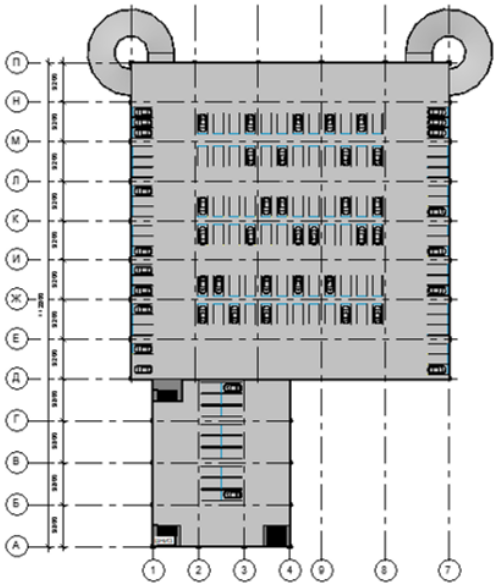
Парковочные пространства являются неотъемлемой частью современной городской инфраструктуры. Их эффективное планирование и управление имеют решающее значение для обеспечения мобильности населения, снижения транспортных заторов, уменьшения уровня загрязнения воздуха и повышения общей привлекательности городской среды. Однако, с ростом числа личного автотранспорта и уплотнением городской застройки, проблема нехватки парковочных мест и их нерационального использования становится все более острой.



общий вид сооружения месторасположение паркинга

Рисунок 1 – Цифровая модель объекта с указанием места строительства

Паркинг располагается на пересечении улиц Тимирязева и Саперов в городе Минске (Рис. 1). Объемно-планировочное решение включает два блока с различной этажностью (Рис. 2). Технические решения для блока А: количество этажей 5; пролёт главной балки – 14,8 м; шаг главной балки – 9,2 м; пролёт вспомогательной балки – 10,6 м; шаг вспомогательной балки – 9,8; количество пролетов – 5; количество шагов – 8. Технические решения для блока Б: количество этажей 2; пролёт главной балки – 10,6 м; шаг главной балки – 9,8 м; пролёт вспомогательной балки – 9,8 м; шаг вспомогательной балки – 5,8; количество пролетов – 5; количество шагов – 8. Общая площадь сооружения составляет 13599,6 м^2. Количество парковочных мест – 606.



План на отм. +0.000



Фасад в осях А–П



Фасад в осях 1–7

Рисунок 2 – Объемно-планировочное решение сооружения

Несущие конструкции паркинга были рассчитаны с использованием программного комплекса «SCAD Office» (Рис. 3). Была создана расчетная схема, к которой приложили постоянные и временные нагрузки, действующие на паркинг, согласно нормативным документам (Рис.3). Собственный вес рассчитывался автоматически, как распределенная нагрузка на перекрытие. Нагрузка от автомобилей была принята как сосредоточенная сила, равная 5 кН на одно колесо.

№	Загружения	Тип загружения	Вид нагрузки	Коэффициент надежности по нагрузке	Доля длительности	Нормативное загружение
1	Собственный вес	Постоянные нагрузки	Вес металл	1,05	1	
2	Автомобили	Постоянные нагрузки	Вес металл	1,05	1	

Нагрузки, принятые в расчете

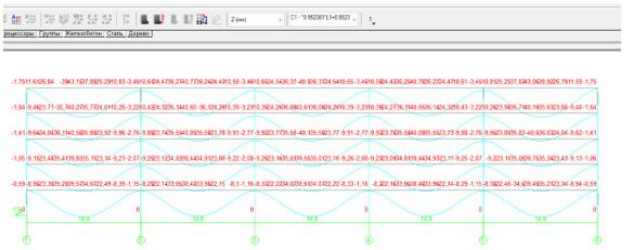
Типы жесткости

	Сечени	Описание	Имя
1		40К5	
2		40Б2	
3		40Б1	
5		40К3	
6		45Б1	

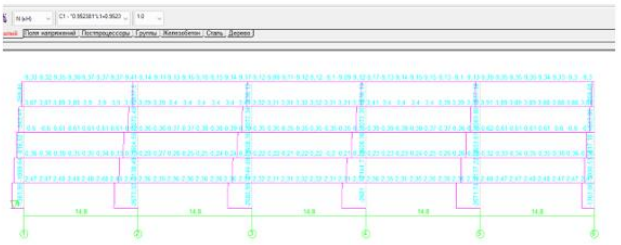
Принятые конструктивные решения

Рисунок 3 – Объемно-планировочное решение сооружения

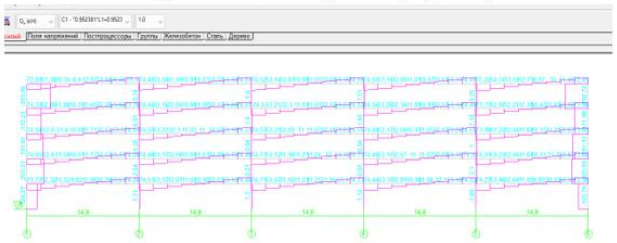
Результаты расчета для блока А представлены на рисунке 4.



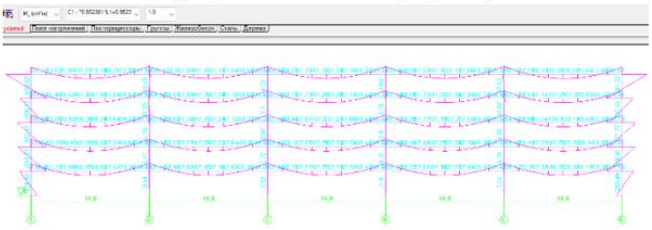
Перемещение улов (Z, мм)



Продольная сила (N, кН)



Поперечная сила (Q, кН)



Изгибающий момент (M, кН*м)

Рисунок 4 – Результаты расчета (блок А)

Вывод

Анализ современных трендов и вызовов в области проектирования и эксплуатации парковочных пространств показывает, что парковки являются динамично развивающейся и критически важной составляющей городской инфраструктуры. Эффективное решение проблемы парковки напрямую влияет на мобильность населения, экологическое состояние городов, экономическую активность и качество жизни.

Была разработана цифровая модель объекта с применением BIM-технологий, а также выполнена расчетная схема с последующим расчетом и анализом полученных результатов.

Литература:

1. Леган, А. Д. Интеллектуальные технологии в обследовании и проектировании мостов / А. Д. Леган, Е. А. Мойсейчик, Е. Н. Савина // Автомобильные дороги и мосты. – 2025. – № 1 (35). – С. 71–78.
2. Савина, Е. Н. Социальные и технические аспекты применения БПЛА и облака точек на примере транспортного сооружения при создании BIM-модели / Е. Н. Савина, Е. А. Мойсейчик, А. А. Яковлев // Автомобильные дороги и мосты. – 2025. – № 1 (35). – С. 48–57.

УДК 624.21

Проектирование автодорожного вантового моста с использованием расчётного комплекса SOFiSTiK

***Шпаков Святослав Сергеевич**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Щербо А.Д., преподаватель-стажёр
кафедры «Мосты и тоннели»

В рамках курсового проектирования был разработан проект металлического вантового моста. Мост расположен на автомобильной дороге III категории; габарит моста Г-8; схема моста: 20+120+20 м; сталь, используемая при строительстве моста: 15ХСНД. Расчет проводился на нагрузку АК-14 (Рис. 1)

В ходе проектирования было принято балочное пролётное строение с ортотропной плитой. Пилоны коробчатого сечения высотой 20 м. Конструкция каната типа К8 состоит из 8 пучков диаметром 72 мм. Подвески выполнены из канатов диаметром 62 мм.

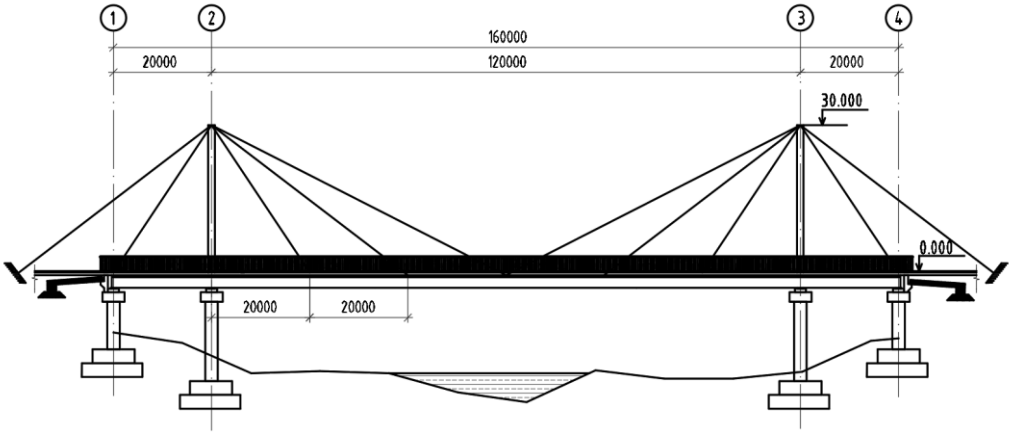


Рисунок 1 – Продольный профиль вантового моста

Для определений усилий в элементах моста был использован расчетный комплекс SOFiSTiK-2025. В программе AutoCAD была выполнена расчетная модель (Рис. 2), после чего, на основе нее был выполнен линейный расчет с учетом комбинации нагрузок.

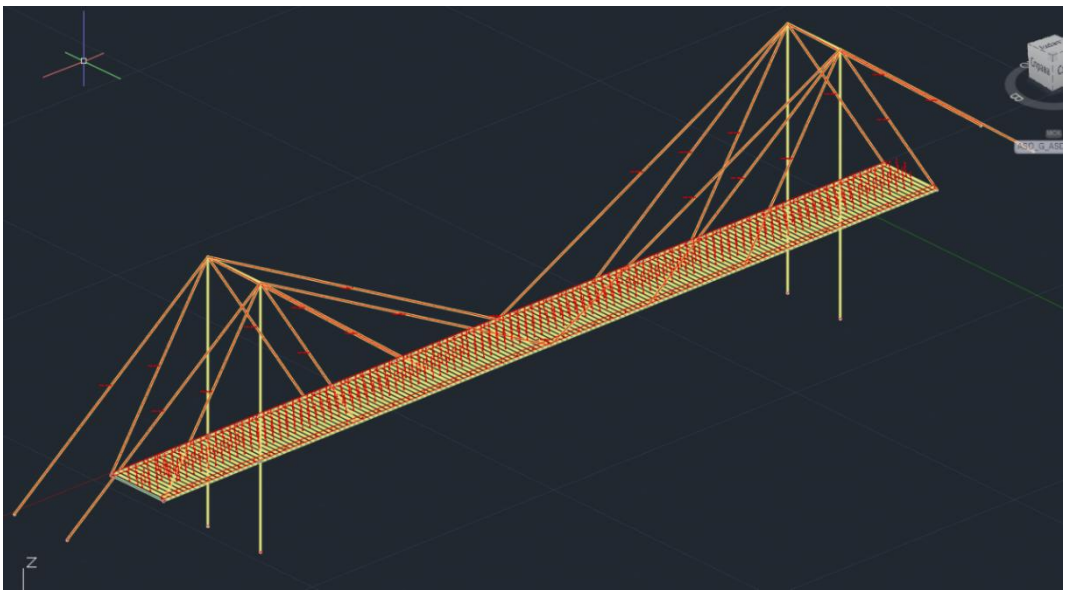


Рисунок 2 – Расчетная модель

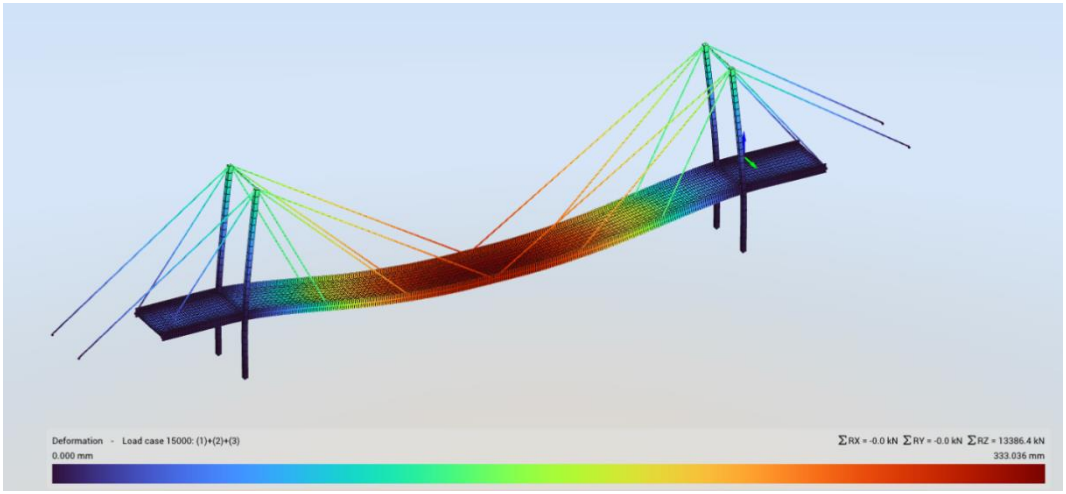


Рисунок 3 – Расчетная модель в SOFiSTiK

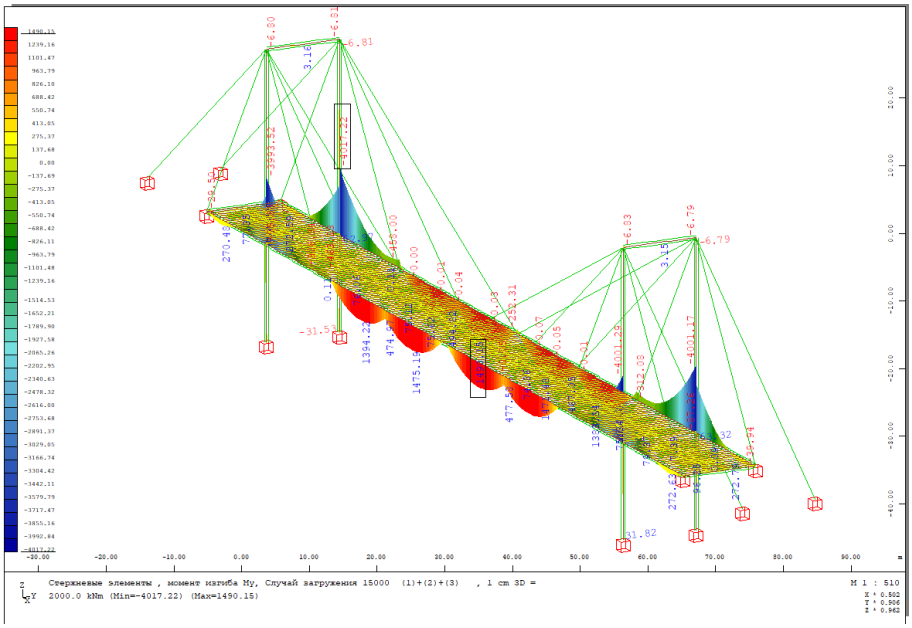


Рисунок 4 – максимальный момент изгиба M_y

В соответствии с СН 3.03.01-2019 (п.6.2.2), прогиб вантового моста в центре пролёта соответствует допустимым нормам. На основании результатов выполненных расчетов, можно утверждать, что несущая способность основных конструкций вантового моста обеспечена.

Использование расчетного комплекса SOFiSTiK облегчило расчёт конструкций моста и принятие проектных решений. Точный расчет программы позволил определить максимальные усилия в опасных сечениях моста.

Литература:

1. СН 3.03.01-2019 – Мосты и трубы. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020 – 279с.
2. Проектирование металлических мостов: Учеб. /Под ред. А. А. Петропавловского. — М.: Транспорт, 1982. — 320 с.

УДК 624.21

Влияние строительства тоннеля метрополитена на существующую застройку, в г. Минск вдоль ул. Нововиленского

***Шпаков Святослав Сергеевич**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

При разработке проекта строительства нового тоннеля метрополитена был выполнен комплекс технических расчётов, направленных на принятие актуального проектного решения с учетом безопасности и долговечности подземного сооружения, а также его влияния на существующую городскую застройку. Место расположения объекта – город Минск, вдоль улицы Нововиленского, имеющий координаты 53.934599, 27.536208 (Рисунок 1).

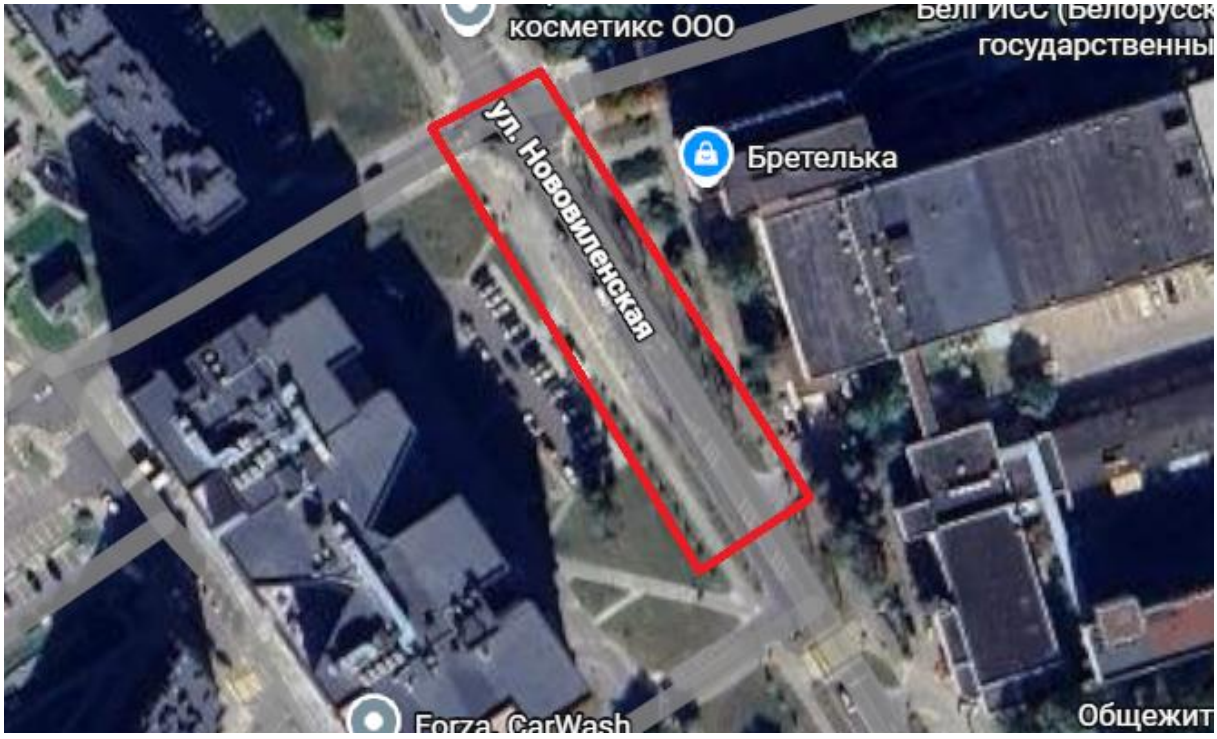


Рисунок 1 – Трасса тоннеля

Перегонный тоннель расположен вблизи жилого кварта, здания которого попадают в зону влияния строительно-монтажных работ. В связи с этим необходимо выполнить детальный расчёт влияния конструкций на этапе строительства и последующей его безопасной эксплуатации. Определены величины деформаций грунтового основания, влияния на обделку перегонного тоннеля и выполнена оценка вероятности осадки конструкций жилых домов.

С использованием многофункционального расчетного комплекса «SOFiSTiK» на основе данных инженерно-геологических изысканий, была разработана расчетная схема сооружения (Рисунок 2).

Исходные данные: Глубина заложения – 9 м.; Диаметр тоннеля – 7,5 м.; Толщина тюбинга – 0,6 м.; Жилые железобетонные дома – 11 этажей (ширина 20 м.), 9 этажей (ширина 30 м.), что соответствует распределённой нагрузке 550 и 675 тонн.

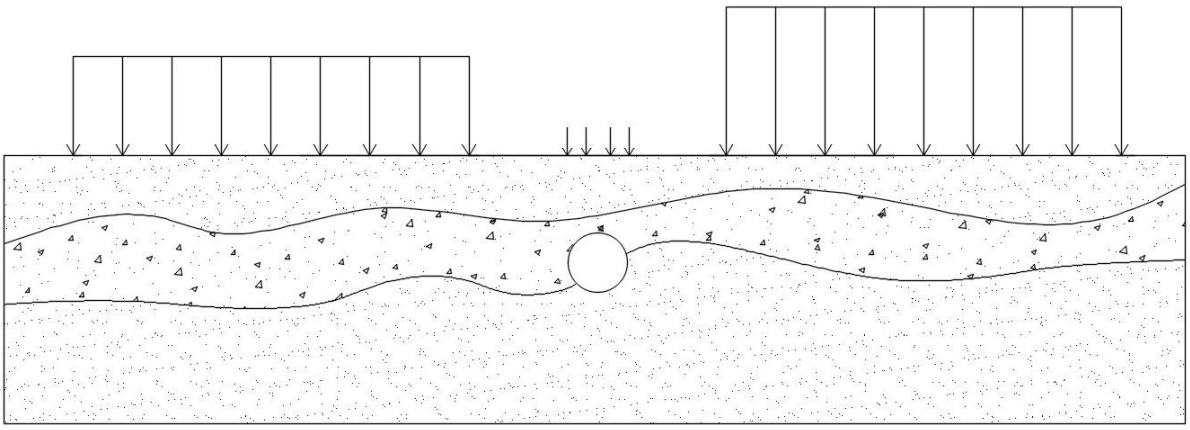


Рисунок 2 – Общий вид расчётной схемы

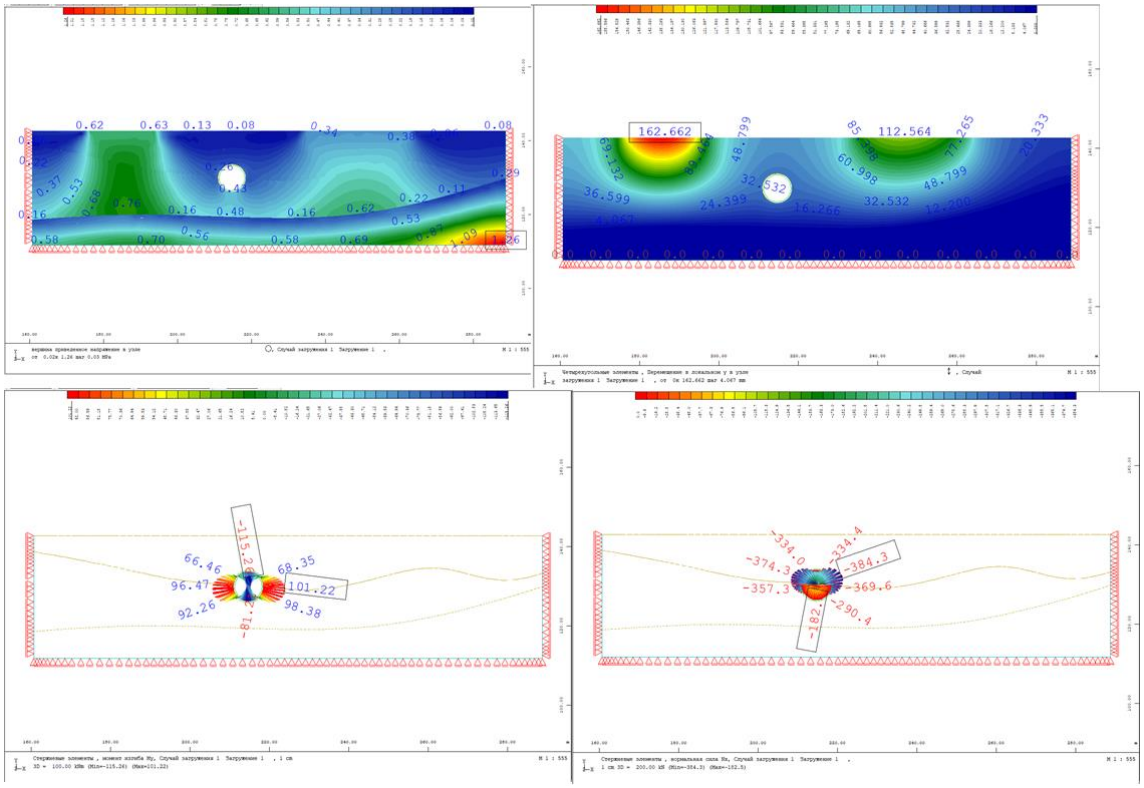


Рисунок 3 – Расчёт SOFiSTiK: 1. Максимальное приведённое напряжение; 2. Локальные перемещения грунтового массива; 3. Расчётные усилия в сечении (изгибающий момент My); 4. Расчётные усилия в сечении (Hx)

На основании результатов выполненных расчетов, можно сделать вывод, что несущая способность основных конструкций перегонного тоннеля обеспечена, осадка грунтового основания не превышает предельно допустимых величин. Здания попадающие в зону влияния строительно-монтажных работ обеспечивают восприятие внешних воздействий, усиление основания не требуется.

Литература:

1. Л. В. Маковский, В. В. Кравченко, Н. А. Сула – «Строительство автодорожных и городских тоннелей». -2024 г.- 408 стр.

УДК 624.21

Строительство монолитного моста с использованием перемещающихся подмостей

***Шпаков Святослав Сергеевич**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Драгун К.В., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Строительство мостов развивается на протяжении тысячалетий, в процессе появились как различные конструкции самих мостов, так и различные способы их возведения. Одним из интересных способов можно назвать использование перемещающихся подмостей.

Строительство монолитного моста с использованием перемещающихся подмостей — это технология, предназначенная для бетонирования балок жёсткости или железобетонных плит проезжей части сразу между опорами будущего моста. Передвижные подмости включают в свою конструкцию среднюю и боковые подвижные части, на которые опирается опалубка пролетного строения, причем средняя и боковые подвижные части состоят из опорной конструкции, механизмов ее перемещения и путей катания. Новым является то, что опорные конструкции выполнены в виде продольных балок, снабженных поперечными и продольными связями и подкосами и имеющих в нижних поясах расположенные с одинаковым шагом отверстия. Пути катания, выполненные в виде опор скольжения, расположены в оголовках постоянных и временных опор моста. Механизмы перемещения выполнены в виде силовых цилиндров, корпус которых закреплен на постоянных опорах моста, а штоки оснащены захватами с направляющими щеками, охватывающими нижний пояс продольных балок с возможностью свободного скольжения вдоль него и имеющими в горизонтальной плоскости отверстие, аналогичное отверстиям нижнего пояса. При совмещении одного из отверстий нижнего пояса с отверстием захвата в них установлен съемный упор. В некоторых конструкциях передвижных подмостей на боковых подвижных частях закрепляют технологическое укрытие.

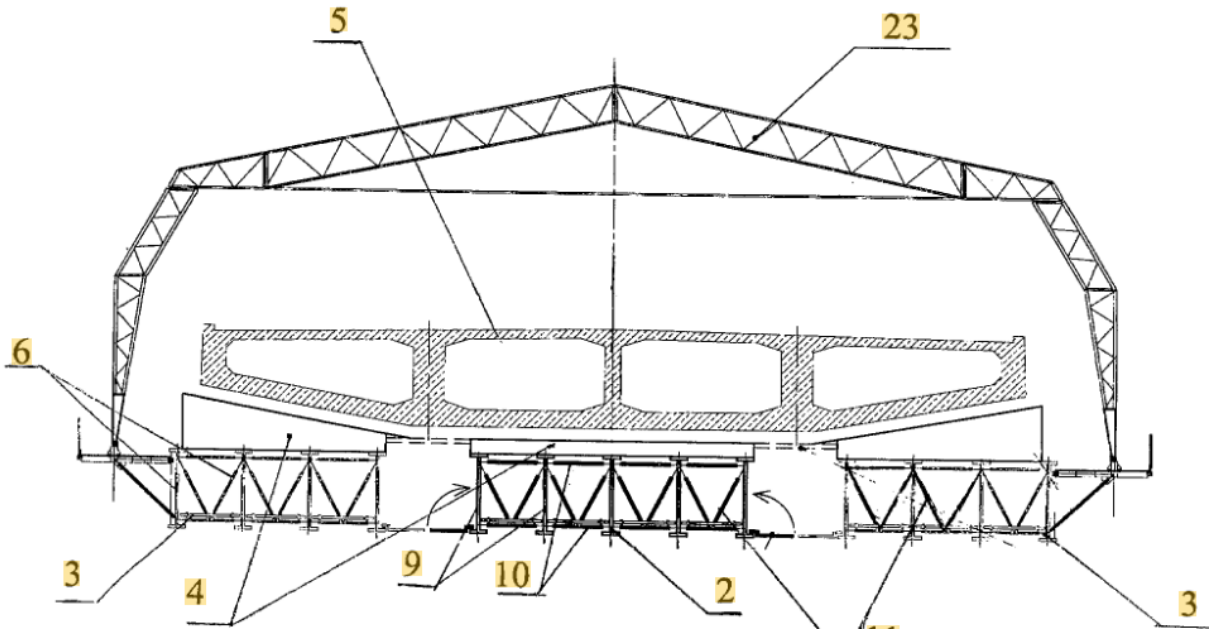


Рисунок 1 – Схема конструкции перемещающейся подмости

Передвижные подмости призваны облегчить, обезопасить, и сделать более удобными работы с мостовым полотном, обеспечить доступ к труднодоступным участкам при невозможности или трудновыполнимости обеспечения доступа к месту выполнения задачи стандартным способом.

Литература:

1. СН 3.03.01-2019 – Мосты и трубы. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020 – 279с.
2. Проектирование металлических мостов: Учеб. /Под ред. А. А. Петропавловского. — М.: Транспорт, 1982. — 320 с.

УДК 624.21

Мост через реку Щара в агрогородке Большие Озёрки

***Шпаков Святослав Сергеевич**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Драгун К.В., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

1 апреля 2025 начался ремонт моста на 30-м километре дороги Р-142. Этот мост, построенный в 1973 году, перестал отвечать современным требованиям и нагрузкам. Данный мост представляет из себя балочную конструкцию (Рис. 1).



Рисунок 1 – Мост через реку Щара в агрогородке Большие Озёрки

Мост планируют открыть 30 июня 2026 года. В прочем, по заверениям старшего прораба, мост будет открыт гораздо раньше.

Для повышения качества строительно-монтажных работ и уменьшения сроков строительства с 1 апреля по 1 декабря 2025 года движение по мосту было прекращено. В ходе капитального ремонта были выполнены работы по ремонту мостового полотна, пролётных строений, опор и подходов к искусственному сооружению. Предусмотрено обеспечение безопасных условий движения транспорта и пешеходов. В настоящее время устанавливаются мостовые барьерные и перильные ограждения.



Рисунок 2 – процесс реконструкции опор моста

Литература:

1. СН 3.03.01-2019 – Мосты и трубы. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020 – 279с.
2. Проектирование металлических мостов: Учеб. /Под ред. А. А. Петропавловского. — М.: Транспорт, 1982. — 320 с.

УДК 624.19

Несущая способность тавровой железобетонной балки

***Эртман Виктор Алексеевич**, студент 4 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Щербо А.Д., преподаватель-стажёр
кафедры «Мосты и тоннели»

В ходе лабораторной работы с использованием программы «Арбат» для тавровой балки был выполнен расчет на прогиб и экспертиза прочности путем подбора армирования и класса бетона до достижения коэффициента надежности в интервале от 0,9 до 1.

Несущая способность железобетонного изгибаемого элемента зависит от длины элемента и его геометрических характеристик [1-4]. В качестве расчетной схемы была выбрана тавровая балка. В программном комплексе «АРБАТ» были заданы геометрические параметры сечения, характеристики материалов (бетона и арматуры). Для бетона был выбран тяжелый тип класса С25/30 с удельным весом 2,5 т/м³, класс арматурных стержней S500. Общий вид расчетной схемы приведен на рисунке 1, геометрические характеристики исследуемого сечения приведены на рисунке 2. Коэффициенты используемы в расчетах для учета условий работы бетона приведены в (Табл.1).

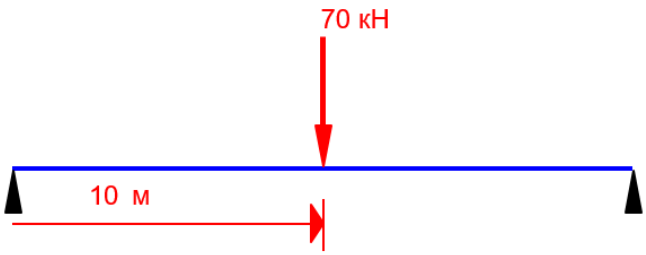


Рисунок 1 – Расчетная схема железобетонной тавровой балки

Согласно задания, в середине пролета прикладывается сосредоточенная сила в размере 70 кН. Выполнен расчет исследуемого элемента и определена величина предельно допустимого прогиба (Рис. 3), а также его несущая способность, с учетом действующих нормативных документов.

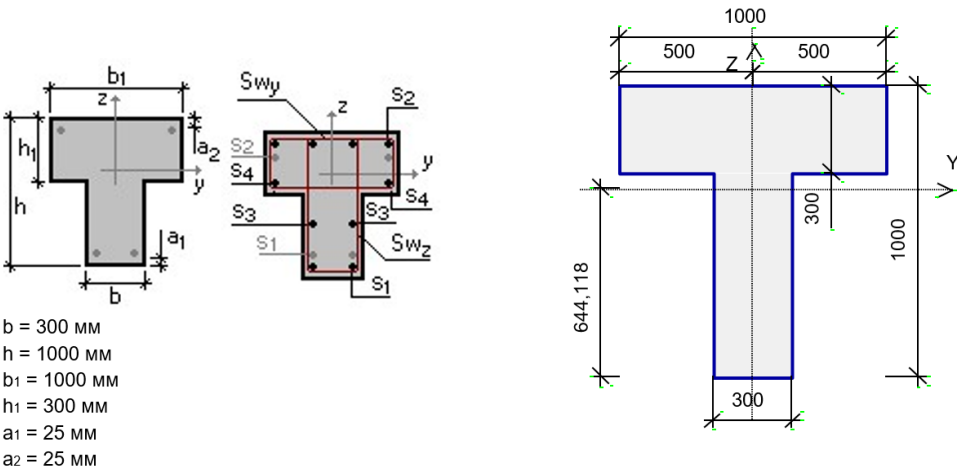


Рисунок 2 – Геометрические характеристики железобетонной тавровой балки

Таблица 1 – Коэффициенты условий работы бетона

№ п.п.	Обозначение	Наименование	Значение
1	2	3	4
1	b1	учет нагрузок длительного действия	1
2	b2	учет характера разрушения	1
3	b3	учет вертикального положения при бетонировании	1
4	b5	учет замораживания/оттаивания и отрицательных температур	1

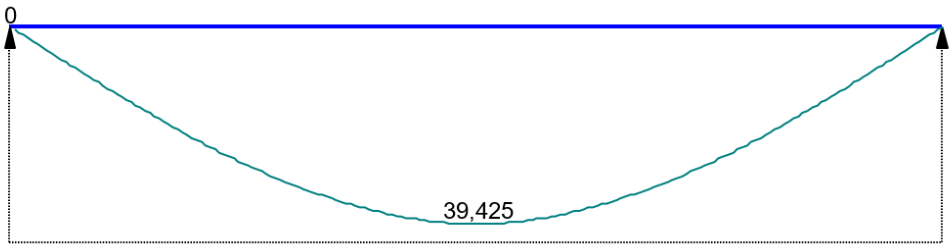


Рисунок 3 – Эпюра прогибов железобетонной тавровой балки (мм)

Практическая работа в программе «АРБАТ» позволила освоить методы расчета и оптимизации железобетонных балок, подтвердив влияние параметров армирования и класса бетона на коэффициент надёжности для обеспечения прочности и экономии материалов, а также установить максимальный прогиб конструкции, составивший 39,425 мм, что удовлетворяет действующим нормативным документам.

Литература:

1. Байков В.Н. Железобетонные конструкции: Общий курс / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. – Москва: Стройиздат, 1991. – 767 с.
2. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – Москва: Стандартинформ, 2019.

УДК 624.21

Практика использования искусственного интеллекта в проектировании мостов

Якубович Александр Дмитриевич, *студент 2 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулан А.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

Мостостроение представляет собой одну из наиболее сложных областей гражданского строительства. В работе исследуется комплексный подход к проектированию вантового моста, сочетающий современные цифровые технологии, искусственный интеллект и творческий процесс.

Определение архитектурного стиля сооружения – задача творческая, которая подразумевает анализ множества различных компонентов: от месторасположения, конструкции до национального признака. В рамках работы на первом этапе с помощью нейросети была реализована идея концепции вантового моста (Рис. 1).



Рисунок 1 – Результат визуализации идеи моста нейросетью

Этап реализации данной концепции был выполнен в программном комплексе Autodesk Revit. Смоделированы уникальная конструкция пилонов вантового моста, разработано семейство вант, создано металлическое пролетное строение с главными балками (Рис 2).

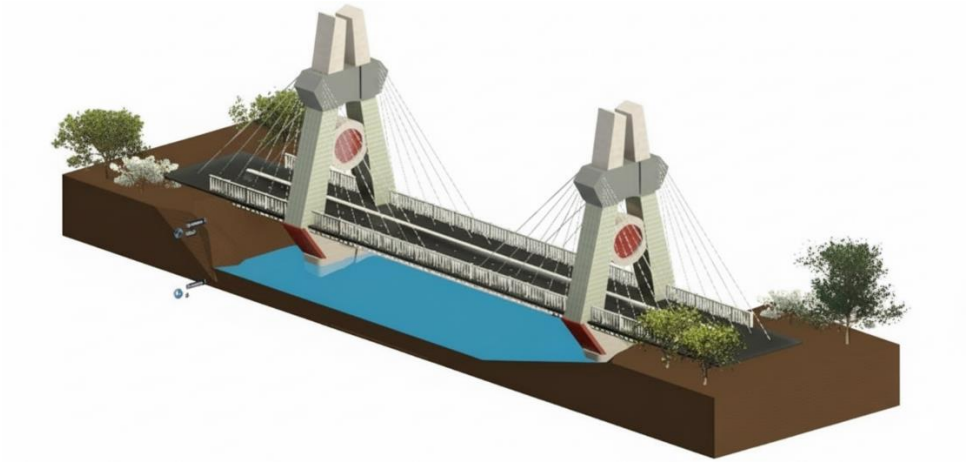


Рисунок 2 – 3D модель вантового моста

Для итоговой визуализации созданной цифровой модели моста с помощью генеративных нейросетей использовался промт, который включал идеи реалистичного изображения 3D-модели вантового моста в городских условиях (Рис 3).



Рисунок 3 – 3D модель вантового моста

На примере вантового моста в данной работе изучены возможности использования моделей искусственного интеллекта на различных стадиях проекта: от поиска идеи до ее реализации.

Литература:

1. Пастушков, Г. П Проектирование мостов: пособие для студентов специальности 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены»: в 2 ч. Ч.1 / Г. П. Пастушков, Л. Г. Расинская. – Минск: БНТУ, 2017. – 41.
2. Тимохин, М.Ю., Шаранин, В. Ю. Искусственный интеллект и теория принятия решений: современные тенденции// Инженерный вестник Дона, 2023, № 10.

Секция 2

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ

УДК 625.7

Виды укрепления откосов

***Анишин Егор Игоревич**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Укрепление откосов является очень важным строительным мероприятием, предназначенным для предотвращения их разрушения и появления оползней. Для стабилизации откосов используют следующие конструкции:

- Геосинтетика;
- Габионы;
- Бетон;
- Биоинженерные методы.

Геосинтетическое укрепление является наиболее распространенным способом среди других. Укрепление начинается с подготовки поверхности, а затем укладки и фиксации анкерами. По завершению предыдущих работ, пустые ячейки георешетки засыпают щебнем либо грунтом. Данное укрепление откосов высокоэффективно при крутых откосах.



Рисунок 1 – Укрепление откоса геосинтетическим методом

Габионы представляют собой металлическую конструкцию в виде сетки, заполненные камнем. Монтаж габионов начинается с установки металлической конструкции, а после, засыпки в нее камнем. Благодаря легкодоступности в получении камня, способ имеет довольно низкую стоимость.



Рисунок 2 – Укрепление откоса методом габион

Укрепление откоса при помощи бетона начинают с укладки дренажного слоя, в частом случае таковым является – песок, а после необходимо установить металлическую конструкцию и опалубку. По окончанию этих работ, строители приступают к заливке бетона. Такой способ применяется в местах, где откос нужно обеспечить высокой прочностью.



Рисунок 3 – Укрепление откоса при помощи бетона

Биотехнический метод укрепления откосов основан на использовании живых растений. Благодаря их развитой корневой системе, данный способ является простым, надежным, легкодоступным, но самое главное — самовосстанавливающимся. В случае повреждения растительного слоя, трава может с легкостью восстановить поврежденные участки. Растения так же улучшают дренажные и защитные свойства грунта.

Литература:

1. prestorus.com. Укрепление откосов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://prestorus.com/ukreplenie-otkosov/— Дата обращения: 09.12.2025.
2. geofast.ru. Виды габионов и их применение. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://geofast.ru/stati/vidi-gabionov-i-ih-primenenie — Дата обращения: 09.12.2025.
3. pskgeodor.ru. Берегоукрепительные сооружения из габионов. Расчеты для проектировщиков [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://pskgeodor.ru/

blog/gabioni/beregoukreplenie-iz-gabionov--rascheti-dlya-proektirovshchikov/ — Дата обращения: 09.12.2025
4. zkupol.ru. Укрепление откосов бетоном и камнем. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://zkupol.ru/укрепление-откосв-бетоном-и-камнем/ — Дата обращения: 09.12.2025.
5. firmapole.ru. Травы для укрепления откосов и склонов. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://firmapole.ru/articles/grasses-for-erosion-control/ — Дата обращения: 09.12.2025.

УДК 625.7

Экспериментальные исследования светотехнических характеристик шероховатых поверхностей дорог

***Балтрушайтис Юрий Эдуардасович**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Зленко Л.В., старший преподаватель
кафедры «Автомобильные дороги»

Когда мы садимся за руль в темное время суток, мы редко задумываемся о том, что безопасность нашего пути зависит не только от исправности фар или остроты зрения, но и от свойств самого асфальта. Каким образом шероховатая поверхность дороги «управляет» светом? Ответ на этот вопрос лежит в основе экспериментальных исследований светотехнических характеристик дорожных покрытий. Эта работа находится на стыке науки и практики, напрямую влияя на безопасность дорожного движения и энергоэффективность городского освещения. Сейчас мы поэтапно разберем, как ученые и инженеры изучают эту взаимосвязь — от фундаментальных понятий до практического воплощения результатов в жизнь.

Представьте себе две дороги: одна гладкая и почти зеркальная, другая шероховатая и матовая. В сухую погоду ночью первая будет слепить водителя яркими бликами от фар, в то время как вторая равномерно рассеет свет, создав комфортную и хорошо освещенную полосу движения. В основе этого явления лежат ключевые светотехнические параметры:

Коэффициент яркости (r) — это, по сути, «паспорт» поверхности, показывающий, сколько света и в каком направлении она способна вернуть водителю.

Яркость (L) — то, что мы реально видим. Измеряется в канделах на квадратный метр и определяет видимость дорожного полотна.

Освещенность (E) — количество света, падающего на дорогу, которое мы измеряем в люксах.

Шероховатость выступает в роли главного режиссера этого светового представления. Она превращает опасное зеркальное отражение в безопасное диффузное. Крупные неровности (макротекстура) отвечают за отвод воды и формирование общей яркостной картины, а мелкие (микротекстура) обеспечивают сцепление и влияют на рассеяние на микроуровне.

Таким образом, главная цель исследований — найти четкую математическую связь между геометрией шероховатости и световым откликом покрытия. Это позволит не гадать, а точно прогнозировать, как будет вести себя дорога в свете фар после ее укладки.

Чтобы эксперименты были объективными и воспроизводимыми, научное сообщество разработало строгий стандарт — так называемую таблицу углов (G-таблицу). Она моделирует реальную дорожную ситуацию:

· Угол падения света (α) ~ 1-2° — имитирует луч света от фары автомобиля.

· Угол наблюдения (β) ~ 0.5-1° — соответствует положению глаз водителя.

· Угол рассеяния (γ = α + β) — ключевой параметр, определяющий, попадет ли отраженный свет в глаза водителю или уйдет в сторону.

Параллельно с этим скрупулезно описывается и сама поверхность: ее средняя высота неровностей (Ra, Rz), глубина и характер макро- и микротекстуры. Для этого используются как традиционные механические профилометры, так и современные лазерные сканеры, создающие точнейшие 3D-модели дорожного полотна.

Процесс исследования выполняется в три этапа:

1. Подготовка образцов. Исследователи либо создают в лаборатории образцы с заранее заданной шероховатостью, либо отбирают пробы (керны) с реальных дорог разного возраста и состояния — от нового покрытия до старого, истертого миллионами шин.

2. Измерение шероховатости. Здесь в ход идут высокоточные инструменты: контактные профилометры, бесконтактные лазерные сканеры и системы фотограмметрии. Их задача — оцифровать рельеф поверхности.

3. Светотехнические измерения. Это ядро эксперимента:

· В лабораторных условиях царит гониорефлектометр — «золотой стандарт» точности. Это комплекс, где источник света и детектор движутся вокруг неподвижного образца, снимая полную диаграмму его яркости.

· В полевых условиях используют мобильные ретрорефлектометры — портативные приборы для быстрой оценки.

· Для масштабных исследований по всей длине дороги запускают мобильные лаборатории на автомобильной платформе, которые проводят измерения на ходу.

4. Анализ данных. Полученные массивы данных обрабатываются с помощью статистики, строятся регрессионные модели. Сегодня им на помощь приходят мощные компьютерные симуляции, например, метод Монте-Карло для трассировки лучей. Миллионы виртуальных лучей «пускают» на цифровую 3D-модель дороги, чтобы теоретически предсказать ее поведение и подтвердить результаты натурных экспериментов.

Эта кропотливая работа не остается на полках лабораторий. Ее результаты имеют прямое и ощутимое влияние на нашу жизнь:

1. «Умные» дорожные покрытия: Инженеры проектируют асфальтобетонные смеси, которые изначально обладают оптимальной шероховатостью — обеспечивая и отличное сцепление, и комфортную видимость ночью.

2. Энергоэффективные города: Зная, как конкретное покрытие отражает свет, проектировщики могут рассчитать минимально необходимое количество светильников, их расположение и мощность, экономя до 30% электроэнергии без ущерба для безопасности.

3. Объективный контроль качества: Регулярные замеры световозвращения позволяют monitorить износ дороги. Резкое пажение коэффициента яркости — тревожный сигнал о появлении опасного «полирующего» слоя или загрязнении.

4. Безопасность будущего: Точные модели отражения света необходимы для разработки реалистичных автосимуляторов и систем компьютерного зрения для беспилотных автомобилей, которые должны «видеть» дорогу в любых условиях.

Экспериментальные исследования светотехнических характеристик дорожных покрытий — это яркий пример того, как глубокие фундаментальные изыскания служат практическим целям. Это не просто изучение того, как свет ложится на асфальт. Это междисциплинарная работа на стыке оптики, материаловедения и дорожного строительства, конечная цель которой — сделать каждую нашу ночную поездку максимально безопасной. Современные методы, объединяющие точный эксперимент с цифровым моделированием, позволяют не просто констатировать факты, а проектировать дороги будущего — предсказуемые, безопасные и комфортные, от самой своей поверхности.

Литература:

1. intjournal.ru: научно издательский центр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: intjournal.ru – Дата доступа: 29.03.2025.
2. СН 3.03.04-2019: строительные нормы Республики Беларусь– Режим доступа: СН 3.03.04-2019 – Дата доступа: 29.03.2025.

УДК 625

Неразрушающие методы контроля прочности асфальтобетона

***Барсукова Мария Сергеевна**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Прочность асфальтобетонного покрытия — важнейший фактор, оказывающий непосредственное влияние на надежность дорог, безопасность участников движения и рентабельность их использования. Общепринятые способы контроля качества, предполагающие разрушение образцов, имеют серьезный недостаток: они приводят к повреждению дорожного покрытия и не обеспечивают полного представления о его состоянии.

В связи с этим активно разрабатываются и применяются неразрушающие методы контроля, позволяющие оценивать параметры асфальтобетона, такие как прочность, жесткость и пр., не нанося ему вреда. Это позволяет проводить масштабные исследования дорог, своевременно обнаруживать проблемные участки и прогнозировать срок их службы. В качестве таких методов используют ультразвуковой (определение скорости прохождения звука), метод ударного импульса (анализ отклика материала на механическое воздействие), радиоволновой (применение электромагнитных волн для выявления внутренних дефектов и измерения толщины) и метод оценки пластической деформации (измерение сопротивления вдавливанию).



Рисунок 1 – Ультразвуковой контроль прочности бетона с помощью прибора ПУЛЬСАР 2.5

Однако стоит учитывать, что неразрушающие методы, несмотря на все преимущества, предоставляют лишь косвенные результаты, которые необходимо сопоставлять с данными лабораторных испытаний. Точность измерений также зависит от калибровки оборудования и квалификации специалистов. Следовательно, наиболее эффективным подходом является комбинирование неразрушающих методов с выборочным лабораторным.

Литература:

1. «Асфальтобетон – Википедия» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Asphalt_concrete — Дата доступа: 11.12.2025.
2. «Лекция 18. Общие положения неразрушающего контроля» [Электронный ресурс]. — Режим доступа https://eam.su/lekciya-18-obshhie-polozheniya-nerazrushayushhego-kontrolya.html — Дата доступа: 11.12.2025.

УДК 625.7

Образование колеи износа на асфальтобетонных дорогах

***Вайтехович Егор Витальевич**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Колейность является одним из наиболее распространенных и опасных видов деформаций асфальтобетонных покрытий, напрямую влияющих на безопасность движения, комфорт и срок службы дороги. Целью работы является анализ механизмов формирования колеи износа на асфальтобетонных покрытиях и факторов, влияющих на интенсивность этого процесса.

Колейность износа представляет собой продольные углубления в покрытии, повторяющие траекторию движения колес транспортных средств (Рис. 1). В отличие от деформационного сдвига, она возникает в результате механического истирания поверхности покрытия под воздействием шин, особенно шипованных, и абразивных материалов (песка, щебня). Этот процесс наиболее интенсивно протекает в условиях повышенных температур, когда битумное вяжущее размягчается, а связь между зернами минерального остова ослабевает.

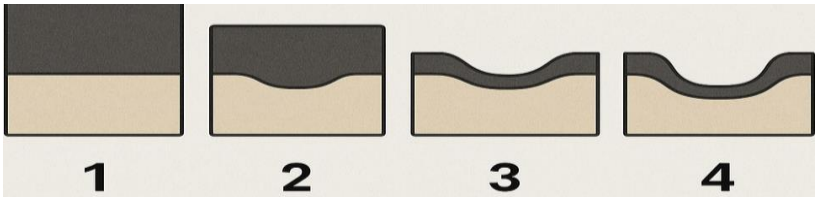


Рисунок 1 – Стадии формирования колеи износа

Для повышения износостойкости асфальтобетонных покрытий и снижения темпов колееобразования необходим комплексный подход. На стадии проектирования смесей для верхних слоев покрытия рекомендуется применять щебень из высокопрочных и износостойких горных пород, битумы с повышенной вязкостью и температурой размягчения, а также модифицированные битумы или дорожные полимеры. Важным является обеспечение высокого качества уплотнения при строительстве для достижения проектной плотности. В период эксплуатации эффективной мерой является своевременная очистка покрытий от абразивных материалов в весенний период.

Таким образом, борьба с колееобразованием требует учета всего комплекса факторов - от правильного выбора материалов и технологий при строительстве до контроля транспортной нагрузки и условий эксплуатации. Использование современных материалов и технологий позволяет существенно повысить износостойкость асфальтобетонных покрытий.

УДК 625

Технологические процессы приготовления щебеночных материалов с использованием современных систем оборудования

***Вечера Карина Геннадьевна**, студент 3 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Козловская Л.В., старший преподаватель
кафедры «Автомобильные дороги»

Производство щебня является ключевым этапом в производстве качественного сырья в строительной отрасли. Дробленная горная порода чаще всего применяется в дорожном строительстве, где от характеристик щебня зависит долговечность и прочность конструкций. Применение современных технологий в производстве щебня позволяет получать продукт высокого качества, например: с высокой степенью кубовидности, отличной фракционной однородностью и минимальным содержанием пылевидных частиц. Также в производство щебня стоит внедрять прогрессивные решения в области автоматизации и экологичности производства.

Производство щебня – это сложный технологический процесс, который включает в себя несколько ключевых этапов: добычи горных пород, их дробления, отсева щебня по фракциям, и обязательного контроля качества готовой продукции.

Методы добычи сырья (щебня):

- Речная добыча– используется для добычи гравийных материалов, добыча осуществляется с помощью барж и драглайнов.

- Добыча в карьерах – карьеры могут быть открытыми, закрытыми, подземными – так, в каждом из этих карьерах, может происходить добыча щебня и гравийных материалов.

- При горной добыче щебень добывается из горных массивов. Первоначально нужно провести взрывные работы, после, с помощью специального оборудования достается сам щебеночный материал.

- Бывают случаи, когда щебень добывают на морском дне, происходит это для получения гравийных материалов, которые потом используются в портах и т.д.

После добычи осуществляется обработка щебня. Обработка щебня – процесс производства, позволяющий превратить сырой продукт в качественный, соответствующий стандартам и строительным требованием.

Первый этап обработки - дробление. Дробление происходит при помощи различных дробилок, это нужно для получения более мелких фракций. Сортировка проходит после дробления. На этом этапе материал проходит через сортировочные установки, с их помощью удаляются нежелательные компоненты (песок, глину). Таким образом обеспечивается качество и чистота продукта. Промывка является дополнительный, но важным этапом обработки для обеспечения качества и чистоты материала. Для отсутствия пыли или других загрязнений в материале его промывают в различных барабанах или центрифужных установках с использованием воды.

- Фракционирование – сортировка щебня по фракциям, соответствующим стандартам и ГОСТам.

- Пескоструйная обработка – позволяет улучшить адгезию с цементов при использовании в бетоне.

Современные системы оборудования и технологии играют важнейшую роль в оптимизации производственного процесса. Осуществляется мониторинг и контроль всех этапов производства благодаря автоматизации, что сильно уменьшает затраты и повышает производительность. Используются также IoT-устройства, благодаря ним есть возможность вовремя находить и предотвращать неисправности оборудования.

Для повышения экономической эффективности предприятия используется современные менее энергозатратные дробилки, что помогает возвращать часть затраченных ресурсов, которые уже были потеряны в процессе производства.

В производство внедряются современные экологические технологии: системы пылеподавления, фильтрация сточных вод, что помогает сократить выбросы вредных веществ в окружающую среду. Также используются безопасные взрывчатые вещества на основе нетоксичных компонентов, так уменьшается загрязнение почвы и водоемов, нет таких больших вибраций и шума.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) являются важным инструментом в производстве. Дроны используют для мониторинга карьеров, оценки объемов добытых полезных ископаемых и планирования горных работ, что снижает затраты на наземные исследования и уменьшает риски, связанные с человеческим фактором. Дроны снижают интенсивность наземных работ и уменьшают площадь воздействия на природу. Современные БПЛА оснащены высокоточными сенсорами и системами дистанционного зондирования, что позволяет детально анализировать состояние карьеров и окружающей территории (Рис.2).



Рисунок 2 – БПЛА на карьерах

В заключении хочется сказать, что производство щебня является высокотехнологичным и оптимизированным процессом, в котором используются современные методы добычи, сортировки и переработки сырья, а также инновационные технологии энергосбережения. Принимаются меры для минимизации негативного воздействия на окружающую среду: внедрение чистых технологий, реабилитация месторождений после добычи.

Литература:

1. Современное искусство добычи щебня [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://npo-promek.ru/articles/articles_137.html– Дата доступа : 16.10.2025.
2. Организационно-технологические особенности производства щебня [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://nerudcc.ru/articles/45– Дата доступа : 16.10.2025.
3. Современные технологии производства щебня на оборудовании НКНМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа :https://www.nknm.ru/o-kompanii/stati/texnologii-proizvodstva-shhebnya-na-sovremennom-oborudovanii.html – Дата доступа : 16.10.2025.

УДК 625

Использование вторичных материалов для получения асфальтобетона

***Вечера Карина Геннадьевна**, студент 3 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Чистова Т.А., канд. техн. наук, доцент
кафедры «Автомобильные дороги»

Асфальтобетон — это композиционный материал, состоящий из битума, модифицированного минеральными наполнителями, а также каменных частиц различных фракций. (Рис.1).

Приготовление асфальтобетонных смесей включают в себя:

1. Подготовительный период, на котором происходит проектирование асфальтобетона
2. Первый (основной) период - формирование микроструктурных связей
3. Второй (завершающий) период - формирование макроструктуры
4. Третий (эксплуатационный) период - стабилизации свойств, происходит доуплотнение покрытия.



Рисунок 1 – Асфальтобетон

В производстве асфальтобетона используются вторичные материалы, они являются необходимым компонентом для современного дорожного строительства и ремонта. Благодаря вторичным материалам, мы можем рационально использовать природные ресурсы и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Этот подход не только экономит деньги, но

и делает дороги более устойчивыми. Ознакомимся с ключевыми категориями вторичных материалов, выявим их преимущества и недостатки с позиции экологической устойчивости и материаловедения.

Рециклированный асфальтобетон (РАБ) - это экологически чистый, вторичный строительный материал. РАБ получается путем переработки старого асфальта, который применяется повторно, для создания новый дорожных покрытий. Этот способ утилизации отходов дорожного строительства помогает сберечь природные ресурсы, существенно снизить затраты на утилизацию, уменьшая объемы отходов. Кроме того, рациональное использование материалов.

Рециклированный асфальтобетон имеет также и недостатки. По сравнению с первичным материалом, РАБ может обладать сниженной прочностью и однородностью. Следовательно, для того чтобы материал соответствовал эксплуатационным требованиям, требуется проведение дополнительных этапов обработки, например, регенерацию и структурную модификацию (Рис. 2).



Рисунок 2 – Дорожный рециклинг

Вторичные щебень и песок – образуются в результате переработки строительных отходов, например разрушенные здания, мосты и другие объекты инфраструктуры. Если использовать их, то можно сократить объем отходов и снизить добычу природных ресурсов. (Рис.3).

Вторичный щебень – отходы, которые остались в строительной сфере, например: бетон, кирпич, асфальтная крошка.

Область применения вторичного щебня:

- Дорожное строительство (временные дороги)
- Строительные работы
- Производство бетонных изделий
- Подготовка участка

Стоит отметить, что при использовании вторичных материалов проводиться тщательная сортировка и очистка, это в свою очередь приводит к увеличению затрат на начальных этапах. Также, следует учитывать, что могут произойти изменения в свойствах материалов в процессе переработки, что в свою очередь может повлиять на качество асфальтобетонных смесей.

Также можно использовать промышленные отходы, например шлаки, золы, стеклобой и т.д., они являются хорошими вторичными материалами при дорожном строительстве. Если их интегрировать в состав асфальтобетонной смести, то можно улучшить эксплуатационную характеристику дорожного покрытия, а также снизить стоимость работ.

Из промышленных отходов производится шлаковый минеральный порошок, который применяется в приготовлении асфальтобетонных смесей. Данный минеральный порошок обладает высоким качеством, а также он является важнейшим структурообразующим компонентом асфальтобетонной смеси.

Также следует отметить, что шлаки, если их дополнительно обработать, могут выступать в роли наполнителей вяжущих композиций. Также если ввести в смесь модификатор, который содержит шлак, возможно получения прочных оснований.

Использование вторичных материалов никак не ухудшает качество автомобильных дорог, и это очень экологично. Зарубежный опыт также показал, что в строительстве автомобильных дорог можно использовать до 90% вторичных материалов.

Литература:

1. ГОСТ 32826–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и песок шлаковые. Технические требования». – Дата доступа: 16.10.2025.
2. Применение вторичных материалов в ходе дорожных работ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://moluch.ru/archive/266/61564– Дата доступа: 16.10.2025.
3. Вторичный щебень [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://xn----btblbvwc3g5ab.xn--p1ai/poleznoe/dlya-chego-ispolzuetsya-vtorichnyy-shcheben – Дата доступа: 16.10.2025

УДК 625.7

Строительство дорог в зонах вечной мерзлоты

***Гопта Николай Андреевич**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Строительство дорог в зонах вечной мерзлоты — сложная инженерная задача, требующая применения специальных технологий и учета особенностей криолитозоны. Несмотря на то, что на территории Республики Беларусь обширных районов вечной мерзлоты нет, однако в республике присутствуют отдельные зоны с сезонно промерзающими почвами, а белорусские дорожные специалисты активно изучают и внедряют опыт, применяемый в вечномерзлых регионах России, Канады и Скандинавии.

Грунт, имеющий отрицательную или нулевую температуру, содержащит в своем составе видимые ледяные включения и (или) лед-цемент и характеризующийся криогенными структурными связями. Многолетнемерзлый грунт - грунт, находящийся в мерзлом состоянии постоянно в течение трех и более лет. Сезонномерзлый грунт - грунт, находящийся в мерзлом состоянии периодически в течение холодного сезона.



Рисунок 1 – Строительство дорог в зонах вечной мерзлоты

В районах с многолетнемерзлыми грунтами основная проблема заключается в изменении свойств основания при воздействии температур. При оттаивании вечномерзлых грунтов происходит их просадка и деформация, что приводит к разрушению дорожного полотна, образованию трещин и провалов.

Для успешного и долговечного строительства автомобильных дорог в таких сложных условиях применяются следующие методы:

-Термостабилизация грунтов. Использование специальных материалов и конструкций, которые предотвращают оттаивание мерзлого основания. Это, например, термосифоны — устройства, обеспечивающие отвод тепла из нижних слоёв дороги.

-Повышенная теплоизоляция дорожной конструкции. Применение изоляционных слоёв (пенополистирольные плиты и другие), препятствующих проникновению тепла от транспортного потока и окружающей среды к мерзлому основанию.

-Увеличение толщины насыпей. Дороги строят на высоких насыпях, чтобы уменьшить тепловое влияние на грунты.

-Дренажные системы. Инженерные решения для быстрого отвода талых и сточных вод, минимизируя замачивание основания и образование наледи.

Еще один ключевой аспект при возведении дорог в районах с сильными перепадами температур — это использование специализированных методов асфальтирования. Для таких климатических условий смесь асфальта подбирается так, чтобы материал сохранял свои свойства даже при значительном промерзании и последующем оттаивании. В состав часто включают специальные добавки, способствующие повышению морозостойкости и предотвращающие появление трещин на поверхности. Помимо этого, большое значение придается подбору армирующих материалов: они существенно увеличивают прочность дорожного слоя и помогают предотвращать деформации, связанные с интенсивным движением транспорта

В Республике Беларусь разрабатываются и внедряются технологии дорожного строительства для работы со сложными грунтами, в том числе происходит обмен опытом с коллегами из северных регионов России. Важное внимание уделяется использованию геосинтетических материалов, устройства эффективного дренажа, а также научному исследованию поведения почв в климатических условиях с глубоким сезонным промерзанием.

Строительство автодорог в районах вечной мерзлоты и глубокого сезонного промерзания требует комплексного подхода и применения современных технологий, что позволяет обеспечить надёжность, длительный срок службы и безопасность инфраструктуры даже в самых тяжёлых климатических условиях. Опыт и инженерные решения, используемые в

Беларуси, адаптируются с учетом местных особенностей и направлены на устойчивость дорожной сети в условиях холодного климата.

Литература:

1. Как строят дороги в условиях вечной мерзлоты [Электронный ресурс]. – Режим доступа :https://blagoystroystvo.ru/blog/kak-stroyat-dorogi-v-usloviyakh-vechnoy-merzloty/?ysclid=mionxkgktc961355031 – Дата доступа : 29.11.2025.
2. Проблемы дорожного строительства на вечномерзлых грунтах [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://geopolitex.ru/information/stati/merzl-grunt.html?ysclid=mionyq6oy2619845702 – Дата доступа : 30.11.2025.

УДК 625.7

Дорожные знаки и их влияние на поведение водителей

***Гопта Николай Андреевич**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ремез Н.И., старший преподаватель
кафедры «Автомобильные дороги»

Дорожные знаки — важная часть современной транспортной инфраструктуры, без которой невозможно представить движение на дорогах. Они обеспечивают понятность, упорядоченность и безопасность, помогают организовывать транспортные потоки, а также информируют всех участников дорожного движения о необходимых правилах и возможных рисках. С каждым годом, по мере роста числа автомобилей и усложнения дорожной ситуации, значение дорожных знаков только возрастает.

Огромную роль играет то, как водитель воспринимает дорожные знаки. Степень восприятия зависит от многих факторов: цвет, форма, размер, а также место, где установлен знак, играют большую роль. Особенно хорошо водители замечают яркие, выделяющиеся знаки, которые видно издалека — чаще всего это красные или жёлтые. Лаконичные и понятные изображения также способствуют быстрому распознаванию смысла. Кроме того, на восприятие влияют опыт самого водителя, его внимательность и даже настроение [1].

Главная задача дорожных знаков — это предупреждать о возможных опасностях, направлять поток транспорта и снижать вероятность дорожно-транспортных происшествий (далее ДТП). Многочисленные исследования и статистика подтверждают: если знаки установлены правильно и хорошо различимы на достаточном расстоянии, количество аварийных ситуаций на участках дорог заметно сокращается. Например, наличие предупреждающих знаков перед опасными участками способствует снижению числа ДТП на четверть или даже треть.

Психологи отмечают, что те водители, которые внимательно следят за знаками и всегда соблюдают правила, значительно реже попадают в аварийные ситуации. В то же время есть и те группы водителей, кто не обращает внимания на дорожные знаки — чаще всего из-за усталости, рассеянности или излишней самоуверенности [1].

Любопытно, что слишком большое количество знаков на одном участке дороги способно привести к обратному эффекту: внимание водителя

рассеивается, и он перестаёт замечать даже важные указания. Поэтому важно не перегружать дороги излишней информацией, чтобы информативность дорожных знаков оставалась максимально эффективной [1].

Дорожные знаки в каждой стране или отдельных регионах мира имеют ряд различий. Что касается формы и размеров знаков можно выделить следующие особенности: в СНГ широко применяются знаки круглой, треугольной и квадратной формы, в США чаще встречаются прямоугольные и квадратные указатели, а для некоторых знаков предусмотрены уникальные формы, как, например, восьмиугольник для "STOP", для Великобритании характерны чаще всего круглая форма для предупреждающих знаков, а предписывающие знаки имеют треугольную форму. Индивидуальные размеры и очертания регулируются, как правило, государственными стандартами.

Символика и надписи играют важную роль в быстром восприятии нужной информации, учитывая скоростные режимы. Так, в СНГ на дорожных знаках обычно изображены понятные пиктограммы, однако для иностранцев некоторые изображения могут быть неочевидны, в США преобладают знаки с текстом, например, используется слово "STOP" вместо аналогичного символа, в Великобритании часто объединяют текст и символы.

Цветовые решения применяются для акцентирования внимания: в СНГ красный цвет применяется для запрещающих знаков, синий указывает на информационные знаки, в США красный сигнализирует о необходимости остановки, жёлтый используется для предупреждений, а зелёный — для предписаний, в Великобритании цветовая система похожа на другие страны, но есть некоторые особенности, например, оранжевый цвет используют для обозначения временных дорожных работ.

Количество дорожных знаков, размещённых в одном сечении, существенно влияет на восприятие информации водителями. Основные аспекты этого влияния можно сформулировать следующим образом: когда на одной стойке размещают сразу несколько знаков, водитель может не успеть их все рассмотреть и правильно понять, особенно если движется с высокой скоростью, избыток информации снижает внимание и может привести к ошибочным реениям, если дорожные знаки расположены слишком близко друг к другу, отдельные указания могут сливаться или перекрываться, из-за чего возрастает риск неправильного понимания дорожной ситуации [3].

Общее количество дорожных знаков в различных регионах мира отличается, и порой существенно.

В США используется стандарт дорожных знаков, установленный Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD). Общее количество дорожных знаков — более 400 (примерно 411 основных обозначений), включая

предупреждающие, предписывающие, информационные, знаки ограничения и специфические для отдельных штатов [3].

В Великобритании стандартизация дорожных знаков закреплена в Traffic Signs Regulations and General Directions (TSRGD) и связанных с ними документах. Общее количество дорожных знаков — около 300 – 400 (включая основные, дополнительные, уникальные знаки для некоторых дорог, туристические и сервисные знаки) [3].

В странах СНГ технические нормативы по дорожным знакам регулируются как правило государственными стандартами, общее количество дорожных знаков — около 250–300 [3].

Типоразмеры дорожных знаков, определяющие основные геометрические габариты щитков, подразделяются на группы и категории также [2].

Типоразмеры дорожных знаков в США регулируются для каждого типа знака с указанием рекомендованного минимального размера с учетом места установки (дорога с интенсивным движением, автомагистраль, улица города и т.п.). Примерные стандартные размеры составляют: 30 × 30" (762 × 762 мм) – для обычной дороги, до 36 × 36" (915 × 915 мм) – для скоростных магистралей [2].

В странах СНГ размеры дорожных знаков регулируются национальными нормативными документами: тип 1 (малый) – 400 × 400 мм (для второстепенных, дворовых дорог), тип 2 (средний) – 700 × 700 мм (городские улицы), тип 3 (большой) – 900 × 900 мм (городские магистрали, автомагистрали), тип 4 (увеличенный) – 1200 × 1200 мм (скоростные трассы, высокоинтенсивные дороги) [2].

В Великобритании размеры дорожных знаков стандартизированы документом Traffic Signs Manual (TCM) и соответствуют типовому проекту BS EN 12899-1:2007. Основные размеры зависят от формы знака: круглые (ограничение скорости, запреты) – малый (300 мм), стандартный (450 мм, 600 мм), крупный (750 мм, 900 мм); треугольные (предупреждающие) – малый (400 мм), стандартный (600 мм), крупный (750, 900 мм); прямоугольные и квадратные (информационные, сервисные) – размер зависит от количества текста и символов, ориентировочно: 600 × 600 мм, 1050 × 750 мм и более.

В последние годы дорожные знаки совершенствуются вместе с развитием технологий. Всё чаще устанавливаются электронные и светодиодные знаки, которые могут менять отображаемую информацию в зависимости от времени суток, погодных условий или дорожной ситуации. Появляются интеллектуальные транспортные системы, которые передают данные о знаках напрямую в навигаторы или на дисплеи автомобилей, что помогает водителям быстрее ориентироваться на дороге и уменьшает число нарушений [2].

В заключение стоит сказать, что дорожные знаки являются основой безопасности на дорогах и сильно влияют на поведение водителей. Их грамотное расположение, своевременное обновление и использование современных технологий позволяют не только снизить количество аварий, но и сделать дорогу более удобной для всех участников движения. Очень важно не только соблюдать требования знаков, но и постоянно совершенствовать систему дорожных указателей в соответствии с новыми вызовами времени.

Литература:

1. Размер дорожных знаков как влияет на восприятие информации и поведение водителей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : Размер дорожных знаков как влияет на восприятие информации и поведение водителей - Поиск в Google– Дата доступа : 26.10.2025.
2. Типоразмер дорожных знаков рб [Электронный ресурс]. – Режим доступа : типоразмер дорожных знаков рб - Поиск в Google– Дата доступа : 26.10.2025.
3. Дорожные знаки стран Европы, Великобритании и США [Электронный ресурс]. – Режим доступа : сколько дорожных знаков в рб - Поиск в Google– Дата доступа : 26.10.2025.

УДК 625

Улучшение свойств битума с использованием химических добавок

***Гопта Юлия Андреевна**, студент 3 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Чистова Т.А., канд. техн. наук, доцент
кафедры «Автомобильные дороги»

Битум является одним из ключевых компонентов дорожного строительства, применяемым в качестве связующего материала в асфальтобетонных смесях. Однако его природные свойства не всегда обеспечивают требуемые эксплуатационные характеристики, особенно при резких перепадах температур, воздействии ультрафиолетового излучения, окислительных процессов и интенсивных механических нагрузок. Для повышения долговечности, пластичности и устойчивости битумных вяжущих активно используются химические добавки, которые позволяют модифицировать структуру и свойства битума на молекулярном уровне. Применение химических модификаторов — одно из наиболее перспективных направлений развития современной дорожной индустрии (Рис. 1).



Рисунок 1 – Битумы

Одним из распространённых способов улучшения битума является использование полимерных добавок. Полимеры создают пространственную сетку в битумной матрице, что повышает эластичность материала при низких

температурах и устойчивость к колееобразованию при высоких. Наиболее часто применяются стирол-бутадиен-стирол (СБС), этиленвинилацетат (ЭВА) и термопластичные эластомеры. СБС-модифицированный битум получил широкое распространение благодаря способности сочетать гибкость при отрицательных температурах и высокую прочность при положительных. Добавление 3–5 % СБС позволяет значительно повысить предел прочности при растяжении и устойчивость к старению. ЭВА, в свою очередь, повышает термостабильность и водостойкость, что особенно важно для климатических условий с частыми дождями и перепадами температур.

Помимо полимеров, важную роль играют поверхностно-активные вещества (ПАВ). Они обеспечивают лучшее сцепление битума с минеральными материалами, что особенно актуально для гранитов и других кислых пород, с которыми битум обычно имеет слабую адгезию. ПАВ уменьшают поверхностное натяжение между битумом и каменным заполнителем, предотвращая отслаивание плёнки битума под действием воды. Типичными представителями ПАВ являются амины, имидазолины и катионные эмульгаторы. Их введение в концентрации 0,2–0,5 % от массы вяжущего может увеличить водостойкость асфальтобетонной смеси на 20–30 % и повысить коэффициент сцепления на мокрой поверхности до 0,85.

Существенное влияние на качество битума оказывают антиоксиданты и стабилизаторы старения. В процессе эксплуатации битум подвергается окислению кислородом воздуха, что приводит к увеличению хрупкости и растрескиванию покрытия. Для предотвращения этих процессов применяются химические добавки, тормозящие реакции окисления. Например, фенольные антиоксиданты (бутилгидрокситолуол, бутилгидроксианизол) и аминные стабилизаторы (дифениламин, парафенилендиамин) замедляют образование кислородсодержащих соединений в битуме. Добавление таких веществ в концентрации 0,1–0,3 % снижает скорость старения до 40 %, что значительно увеличивает срок службы дорожного покрытия.

Другим направлением модификации является использование пластификаторов и флюсов, которые улучшают технологичность битума. Эти добавки снижают вязкость при нагреве, облегчая смешивание с минеральными компонентами и укладку асфальтобетонной смеси при более низких температурах. В качестве пластификаторов часто применяют фталаты, трикрезилфосфат и растительные масла. Введение таких компонентов способствует экономии топлива при производстве и укладке асфальта и снижает выбросы вредных веществ. Кроме того, некоторые био-пластификаторы улучшают совместимость битума с полимерами, что делает смесь более стабильной.

Для повышения устойчивости покрытия к воздействию ультрафиолета и влаги применяются неорганические добавки, такие как наноглины, диоксид титана, оксиды кремния и алюминия. Они выполняют функцию микрофильтров, препятствующих проникновению кислорода и солнечных лучей в структуру битума. Наноглины, например, создают барьерный эффект и увеличивают модуль упругости. Добавление 1–2 % таких наночастиц способно улучшить устойчивость к растрескиванию и старению на 25–35 %.

Интерес представляют и органосиликатные добавки, которые образуют химические связи с компонентами битума, улучшая его термоокислительную стабильность и адгезию к минеральным материалам. Силановые соединения повышают гидрофобность поверхности, предотвращая разрушение покрытия при воздействии влаги.

В последнее время растёт интерес к использованию био-добавок — природных масел, лигнина, крахмала и латекса из возобновляемых источников. Такие компоненты не только улучшают эксплуатационные характеристики, но и снижают углеродный след производства. Например, добавление 5 % растительного масла может снизить температуру приготовления смеси на 20–30 °С без потери прочностных свойств.

Использование комбинированных химических добавок позволяет добиться синергетического эффекта. Например, сочетание СБС и ПАВ улучшает одновременно механические и адгезионные свойства, а добавление антиоксиданта увеличивает срок службы модифицированного битума. Такие композиции активно применяются в производстве «щебёночно-мастичных асфальтобетонов» (ЩМА), обладающих высокой устойчивостью к деформациям и водостойкостью.

Таким образом, применение химических добавок является эффективным способом повышения эксплуатационных свойств битумных вяжущих. Модификация позволяет адаптировать материал под конкретные климатические и эксплуатационные условия, увеличивает долговечность покрытия и снижает расходы на ремонт. Развитие этого направления связано с поиском экологичных и экономически выгодных добавок, способных обеспечивать стабильность свойств битума на протяжении всего срока службы дорожного полотна.

Литература:

1. Улучшение характеристик битумов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://bitumtech.ru/spravochnik/uluchshenie-kharakteristik-bitumov-/?ysclid=mggz9qu5zl453842552 – Дата доступа : 07.10.2025.

УДК 624.21

Автоматизированные системы управления при приготовлении асфальтобетонных смесей

***Гопта Юлия Андреевна**, студент 3 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Козловская Л.В., старший преподаватель
кафедры «Автомобильные дороги»

Современное дорожное строительство требует высокой точности, качества и эффективности на всех этапах производства. Одним из ключевых процессов является приготовление асфальтобетонных смесей, от которого напрямую зависит долговечность и эксплуатационные характеристики дорожного покрытия. Для обеспечения стабильности технологического процесса и снижения влияния человеческого фактора в последние годы всё шире внедряются автоматизированные системы управления (АСУ) (Рис. 1).



Рисунок 1 – Системы управления при приготовлении асфальтобетонных смесей

Асфальтобетонная смесь — это сложный многокомпонентный материал, включающий щебень, минеральный порошок, песок и битум. Малейшее отклонение от проектных дозировок или температурных режимов может привести к ухудшению качества покрытия, появлению трещин или колеи. Традиционное ручное управление технологическим процессом не позволяет гарантировать стабильность параметров, особенно при больших объёмах производства.

Автоматизация решает эти проблемы, обеспечивая:

- точное дозирование компонентов, независимо от человеческого фактора;
- постоянный контроль температуры и влажности материалов;
- повышение производительности и энергоэффективности оборудования;
- снижение потерь сырья и брака готовой продукции;
- повышение безопасности труда операторов и обслуживающего персонала.

Структура автоматизированной системы управления

АСУ для асфальтобетонных заводов обычно имеет многоуровневую структуру.

1. Нижний уровень — это уровень датчиков, измерительных приборов, исполнительных механизмов и контроллеров. Они собирают информацию о состоянии технологического процесса: массу компонентов, температуру, уровень заполнения бункеров, скорость подачи и т.д.

2. Средний уровень — включает программируемые логические контроллеры (ПЛК), которые обрабатывают сигналы от датчиков и управляют исполнительными механизмами: дозаторами, конвейерами, мешалками, клапанами.

3. Верхний уровень — представляет собой персональный компьютер или операторскую станцию с программным обеспечением, обеспечивающим визуализацию процесса, хранение данных и возможность настройки рецептов смесей.

Принцип работы автоматизированной системы

Работа АСУ начинается с выбора оператором рецепта асфальтобетонной смеси из базы данных. После этого система автоматически задаёт требуемые дозировки и запускает процесс.

- На этапе дозирования каждый компонент (щебень, песок, минеральный порошок, битум) поступает в весовые дозаторы. Контроллер отслеживает массу каждого материала по сигналам от тензодатчиков и прекращает подачу при достижении заданных значений.

- Далее следует сушка и нагрев инертных материалов. Температура в сушильном барабане регулируется с помощью термодатчиков и автоматически поддерживается в заданных пределах.

• После сушки происходит перемешивание компонентов в смесителе. Контроллер задаёт время перемешивания и контролирует температуру битума, чтобы смесь получилась однородной и соответствовала требуемым стандартам.

• В завершение система автоматически выгружает готовый продукт в накопитель или в транспортные средства.

Вся информация о ходе процесса, температурах, массе компонентов и времени готовки отображается на экране оператора. При необходимости данные сохраняются в архиве для дальнейшего анализа и контроля качества.

Преимущества использования АСУ на асфальтобетонных заводах

1. Стабильность качества смеси. Автоматизация исключает ошибки дозирования и отклонения от технологического режима, обеспечивая соответствие нормативам ГОСТ и ТУ.

2. Экономия ресурсов. Оптимизация процесса снижает расход топлива, электроэнергии и битума, а также минимизирует отходы.

3. Оперативный контроль и диагностика. Система мгновенно реагирует на отклонения и может автоматически останавливать процесс при аварийных ситуациях.

4. Простота эксплуатации. Оператору достаточно задать нужный рецепт и контролировать работу установки с пульта управления.

5. Возможность удалённого мониторинга. Современные АСУ позволяют вести контроль через интернет, что удобно для крупных предприятий с несколькими производственными площадками.

Примеры и тенденции развития

На рынке сегодня представлено множество решений от мировых и отечественных производителей, таких как Ammann, Benninghoven, Marini, DMI, Кредмаш и другие. Современные установки оснащаются не только автоматическими системами дозирования, но и модулями для адаптивного управления, позволяющими изменять параметры процесса в реальном времени в зависимости от качества исходных материалов и погодных условий.

Тенденцией последних лет стало внедрение интеллектуальных систем управления, основанных на технологиях интернета вещей (IoT) и машинного обучения. Такие системы анализируют накопленные данные, прогнозируют износ оборудования, оптимизируют энергетические затраты и повышают эффективность всего производственного цикла.

Автоматизированные системы управления при приготовлении асфальтобетонных смесей являются неотъемлемой частью современного дорожного строительства. Их внедрение позволяет существенно повысить качество готового продукта, сократить производственные издержки и минимизировать влияние человеческого фактора.

В перспективе развитие цифровых технологий, интеграция систем мониторинга и анализа данных приведут к созданию полностью интеллектуальных асфальтобетонных заводов, где основную роль будет играть не оператор, а алгоритм, обеспечивающий оптимальные условия для получения высококачественного асфальтобетона.

Литература:

1. Автоматизация приготовления асфальтобетонной смеси [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://studref.com/487728/stroitelstvo/avtomatizatsiya_prigotovleniya_asfaltobetonnoy_smesi?ysclid=mggzwbo3yk440618676– Дата доступа : 07.10.2025.

УДК 625

Роль инноваций в работе дорожно-строительных предприятий

***Гопта Юлия Андреевна**, студент 3 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Шохалевич Т.М., старший преподаватель
кафедры «Автомобильные дороги»

В настоящее время дорожно-строительные организации тесно связаны с инновациями. Использование передовых технологий, применение современных материалов и совершенствование способов организации труда существенно повышают эффективность их работы (Рис. 1).



Рисунок 1 – Инновации в дорожном строительстве

- Эффективность строительных работ. Внедрение современных технологий позволяет грамотно организовать рабочие процессы, что приводит к экономии времени и ресурсов.

- Сокращение сроков реализации проектов. Применение инновационных методов управления и строительных технологий способствует более быстрому завершению объектов.

- Оптимизация расходов. Использование новых материалов и технических решений уменьшает издержки как при проведении строительства, так и при последующем обслуживании дорог.

- Улучшение качества дорожных покрытий. Современные материалы обеспечивают долговечность и надежность покрытия.

- Продление срока службы инфраструктуры. Инновационные разработки в области материалов способствуют увеличению прочности и долговечности дорожной сети.

- Повышение уровня безопасности движения. Применение новых подходов в проектировании и строительстве создает более безопасные условия для всех участников дорожного движения.

- Автоматизация управления. Внедрение цифровых решений облегчает мониторинг проектов и снижает вероятность допущения ошибок. Цифровые технологии и «умные» решения:

В настоящее время цифровизация является одной из ключевых тенденций в сфере дорожного строительства. Использование технологий информационного моделирования зданий и сооружений (BIM) позволяет создавать детализированные трёхмерные цифровые модели инфраструктурных объектов уже на стадии проектирования. Такой подход не только способствует уменьшению возможных ошибок, но и помогает рационально распределять финансовые ресурсы и ускорять процедуру согласования проектов. Например, опыт европейских государств показал, что внедрение BIM-технологий сокращает сроки возведения объектов примерно на 20%, а затраты — на 15%, благодаря точному планированию потребностей в материалах и оптимизации логистики.

Другим инновационным направлением выступает разработка \«асфальта с памятью формы\». Такая технология, созданная специалистами из Японии, предусматривает использование дорожного покрытия, которое при нагревании солнечным светом может самостоятельно устранять мелкие трещины. Несмотря на то что подобные материалы обходятся дороже традиционных, срок эксплуатации дорог с их применением увеличивается почти в два раза, что делает новшество оправданным в долгосрочной перспективе.

Тем не менее на пути внедрения современных технологий возникают определённые препятствия. Одна из основных сложностей — значительные стартовые вложения. Так, внедрение BIM связано с необходимостью приобретения специализированных программных продуктов и организации обучения персонала, что зачастую становится серьёзным барьером для компаний с ограниченным бюджетом.

— Нежелание переходить к новшествам. Руководители часто придерживаются привычных методов управления, опасаясь непредвиденных последствий.

— Недостаток универсальных стандартов. В разных государствах предъявляются неодинаковые требования к внедрению элементов «умных дорог», что усложняет реализацию международных инициатив.

Дальнейшее развитие отрасли связано с интеграцией автомобильной инфраструктуры с интеллектуальными транспортными системами (ИТС). К примеру, в Сингапуре уже тестируются участки дорог, на которых электромобили могут пополнять заряд аккумулятора прямо во время движения. В Южной Корее проходят испытания трасс с подсветкой, что способствует лучшей видимости горизонтальной разметки ночью. Ожидается, что подобные технологические решения к 2030 году могут войти в стандартную практику крупнейших мегаполисов.

Внедрение инновационных подходов в дорожно-строительной сфере — это не просто следование модным тенденциям, но важная стратегия для обеспечения безопасности, ресурсосбережения и устойчивости инфраструктуры к возможным вызовам будущего. Ключевая задача компаний — не только заимствовать зарубежные решения, но и адаптировать их в соответствии с национальными особенностями. Например, предприятия Беларуси применяют беспилотные летательные аппараты для обследования дорожной сети в Минске и на региональных объектах, что демонстрирует успешное интегрирование локальных инноваций.

Литература:

1. Инновационные технологии: Передовые подходы в дорожном строительстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-tehnologii-peredovye-podhody-v-dorozhnom-stroitelstve?ysclid=mggupxrola72619558 – Дата доступа : 07.10.2025.

УДК 625.7

Актуальная мировая проблема – смертность в дорожно-транспортных происшествиях

***Дашковский Алексей Юрьевич**, выпускник*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ремез Н.И., старший преподаватель
кафедры «Автомобильные дороги»

В течении последних десятилетий ежегодно во всем мире в результате дорожно-транспортных происшествий обрывается жизнь около 1,19 миллиона человек. Еще от 20 до 50 миллионов человек получают несмертельные травмы, которые во многих случаях приводят к инвалидности [1].

В мировой статистике по причинам смертности среди населения по данным отчетов Всемирной Организации Здравоохранения (World Health Organization) дорожно-транспортный травматизм (road traffic injuries) для отдельных возрастных групп занимает ужасающие «лидирующие» позиции (рисунок 1.1) [2].

RANK	0–4 YRS	5–14 YRS	15–29 YRS	30–44 YRS	45–69 YRS	70+ YRS	TOTAL
1	Perinatal causes	Lower respiratory infections	Road traffic injuries	HIV/AIDS	Ischaemic heart disease	Ischaemic heart disease	Ischaemic heart disease
2	Lower respiratory infections	Road traffic injuries	HIV/AIDS	Tuberculosis	Cerebrovascular disease	Cerebrovascular disease	Cerebrovascular disease
3	Diarrhoeal diseases	Malaria	Tuberculosis	Road traffic injuries	HIV/AIDS	Chronic obstructive pulmonary disease	Lower respiratory infections
4	Malaria	Drownings	Violence	Ischaemic heart disease	Tuberculosis	Lower respiratory infections	Perinatal causes
5	Measles	Meningitis	Self-inflicted injuries	Self-inflicted injuries	Chronic obstructive pulmonary disease	Trachea, bronchus, lung cancers	Chronic obstructive pulmonary disease
6	Congenital anomalies	Diarrhoeal diseases	Lower respiratory infections	Violence	Trachea, bronchus, lung cancers	Diabetes mellitus	Diarrhoeal diseases
7	HIV/AIDS	HIV/AIDS	Drownings	Lower respiratory infections	Cirrhosis of the liver	Hypertensive heart disease	HIV/AIDS
8	Whooping cough	Tuberculosis	Fires	Cerebrovascular disease	Road traffic injuries	Stomach cancer	Tuberculosis
9	Meningitis	Protein–energy malnutrition	War and conflict	Cirrhosis of the liver	Lower respiratory infections	Colon and rectum cancers	Trachea, bronchus, lung cancers
10	Tetanus	Fires	Maternal haemorrhage	Poisonings	Diabetes mellitus	Nephritis and nephrosis	Road traffic injuries
11	Protein–energy malnutrition	Measles	Ischaemic heart disease	Maternal haemorrhage	Self-inflicted injuries	Alzheimer and other dementias	Diabetes mellitus
12	Syphilis	Leukaemia	Poisonings	Fires	Stomach cancer	Tuberculosis	Malaria
13	Drownings	Congenital anomalies	Abortion	Nephritis and nephrosis	Liver cancer	Liver cancer	Hypertensive heart disease
14	Road traffic injuries	Trypanosomiasis	Leukaemia	Drownings	Breast cancer	Oesophagus cancer	Self-inflicted injuries
15	Fires	Falls	Cerebrovascular disease	Breast cancer	Hypertensive heart disease	Cirrhosis of the liver	Stomach cancer
16	Tuberculosis	Epilepsy	Diarrhoeal diseases	War and conflict	Nephritis and nephrosis	Inflammatory heart diseases	Cirrhosis of the liver
17	Endocrine disorders	Leishmaniasis	Falls	Falls	Oesophagus cancer	Breast cancer	Nephritis and nephrosis
18	Upper respiratory infections	Violence	Meningitis	Diarrhoeal diseases	Colon and rectum cancers	Prostate cancer	Colon and rectum cancers
19	Iron deficiency anaemia	War and conflict	Nephritis and nephrosis	Liver cancer	Poisonings	Falls	Liver cancer
20	Epilepsy	Poisonings	Malaria	Trachea, bronchus, lung cancers	Mouth and oropharynx cancers	Road traffic injuries	Violence

Рисунок 1 – Основные причины смерти по возрасту

Дорожно-транспортный травматизм является основной причиной смертности детей и молодых людей в возрасте от 5 до 29 лет. Несмотря на то, что на страны с низким или средним уровнем дохода приходится приблизительно 60% мирового парка автотранспортных средств, в них регистрируется 92% всех дорожно-транспортных происшествий со смертельным исходом. Более половины всех случаев смерти в результате дорожно-транспортных происшествий приходится на уязвимых участников дорожного движения, включая пешеходов, велосипедистов и мотоциклистов. Ущерб, который несет большинство стран в результате дорожно-транспортных происшествий, достигает 3% их валового внутреннего продукта [1].

В долгосрочной перспективе (к 2030 году) тенденции по уровню травматизма на автомобильных дорогах могут значительно подняться вверх и гибель в дорожно-транспортных происшествиях в целом может стать одной из основных причин смерти людей в мире (рисунок 1.2) [2].

TOTAL 2004

RANK	LEADING CAUSE	%
1	Ischaemic heart disease	12.2
2	Cerebrovascular disease	9.7
3	Lower respiratory infections	7.0
4	Chronic obstructive pulmonary disease	5.1
5	Diarrhoeal diseases	3.6
6	HIV/AIDS	3.5
7	Tuberculosis	2.5
8	Trachea, bronchus, lung cancers	2.3
9	Road traffic injuries	2.2
10	Prematurity and low birth weight	2.0
11	Neonatal infections and other	1.9
12	Diabetes mellitus	1.9
13	Malaria	1.7
14	Hypertensive heart disease	1.7
15	Birth asphyxia and birth trauma	1.5
16	Self-inflicted injuries	1.4
17	Stomach cancer	1.4
18	Cirrhosis of the liver	1.3
19	Nephritis and nephrosis	1.3
20	Colon and rectum cancers	1.1

TOTAL 2030

RANK	LEADING CAUSE	%
1	Ischaemic heart disease	12.2
2	Cerebrovascular disease	9.7
3	Chronic obstructive pulmonary disease	7.0
4	Lower respiratory infections	5.1
5	Road traffic injuries	3.6
6	Trachea, bronchus, lung cancers	3.5
7	Diabetes mellitus	2.5
8	Hypertensive heart disease	2.3
9	Stomach cancer	2.2
10	HIV/AIDS	2.0
11	Nephritis and nephrosis	1.9
12	Self-inflicted injuries	1.9
13	Liver cancer	1.7
14	Colon and rectum cancer	1.7
15	Oesophagus cancer	1.5
16	Violence	1.4
17	Alzheimer and other dementias	1.4
18	Cirrhosis of the liver	1.3
19	Breast cancer	1.3
20	Tuberculosis	1.1

Рисунок 2 – Тенденции изменения основных причин смерти

Мировая статистика остается неутешительной и по данным на май 2025 г. Ежегодно на дорогах погибают почти 1,2 млн человек, более четверти которых – пешеходы или велосипедисты. Тем не менее лишь 0,2% дорог во всем мире оборудованы велосипедными дорожками, при этом далеко не во всех

населенных пунктах имеются такие базовые элементы дорожной инфраструктуры, как тротуары или безопасные пешеходные переходы [3].

Обращаясь к статистическим данным, детализированным по группам участников дорожно-транспортных происшествий в странах, входящих в Содружество Независимых Государств (СНГ) также прослеживается тенденция на сохраняющийся, пока еще на высоком уровне, дорожно-транспортный травматизм [4]. Это говорит о том, что данный вопрос о сохранении жизни и здоровья населения требует особого внимания и контроля, а также принятия обоснованных и эффективных мер различного характера для улучшения положения в этом аспекте.

Далее приведены показатели смертности в дорожно-транспортных происшествиях на основании отчетов Всемирной Организации Здравоохранения [4], как один из ключевых показателей в оценке уровня безопасности дорожного движения в мире, и процентное соотношение различных групп участников дорожного движения, являющихся погибшими в ДТП для стран участниц СНГ (рисунки 1.3 – 1.5).

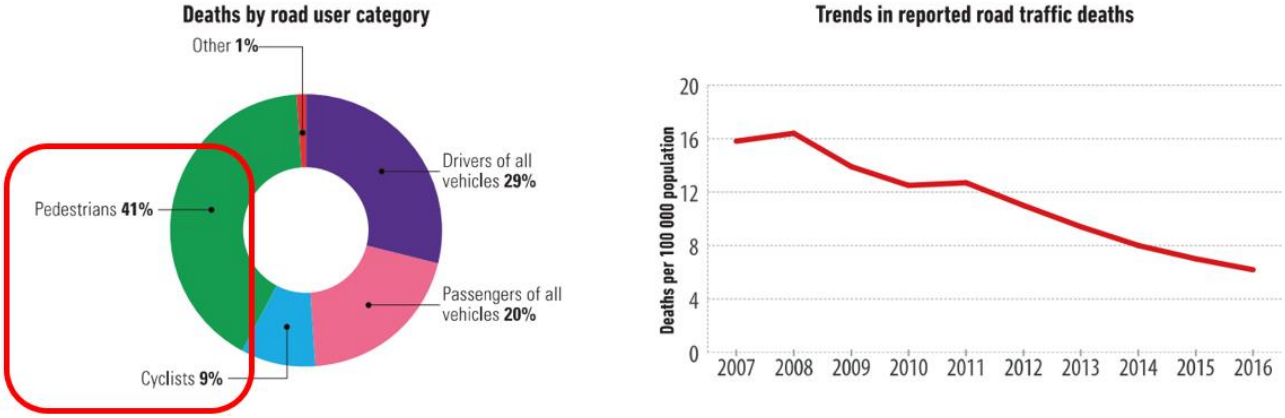


Рисунок 3 – Смертности по категориям участников дорожного движения (Республика Беларусь)

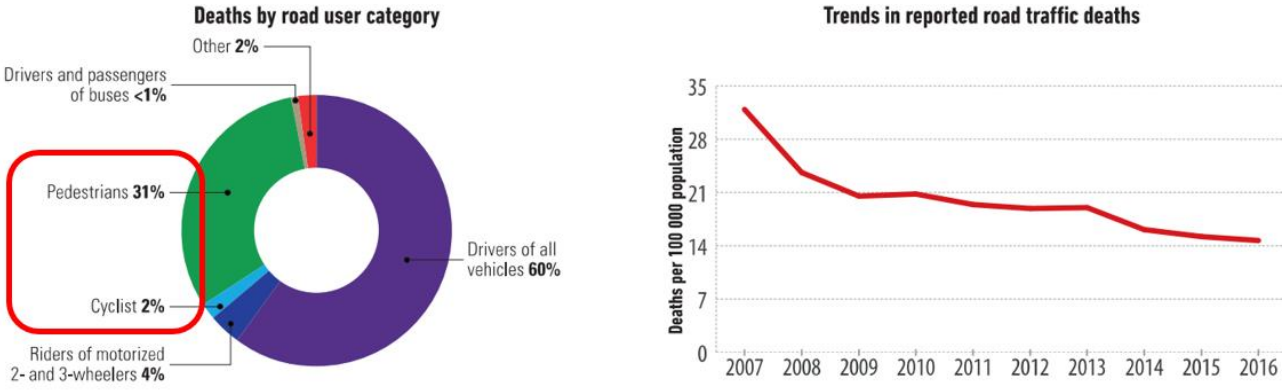


Рисунок 4 – Смертности по категориям участников дорожного движения (Республика Казахстан)

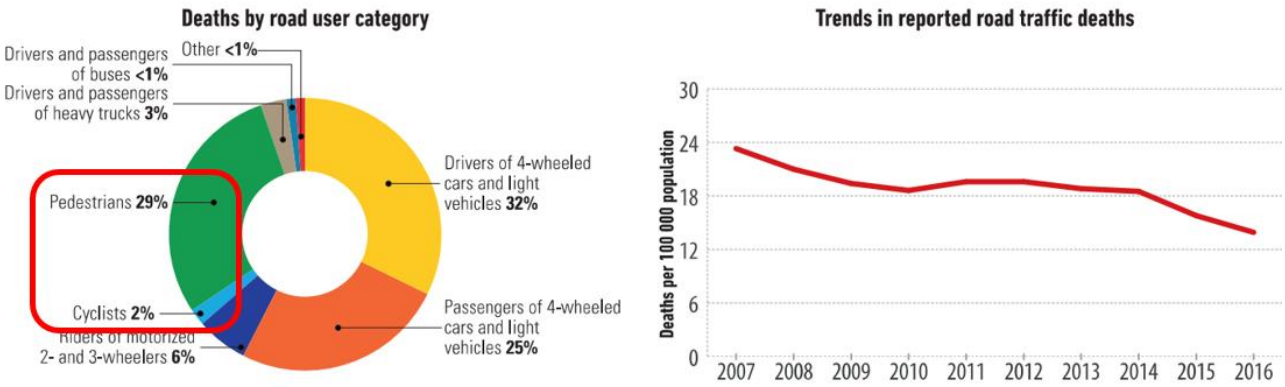


Рисунок 5 – Смертности по категориям участников дорожного движения (Российская Федерация)

В странах СНГ смертность наиболее уязвимых участников дорожного движения – пешеходов (*pedestrians*) и велосипедистов (*cyclists*) составляет от 19 процентов до 50 процентов от общего числа погибших, в среднем этот показатель находится на отметке 40 процентов, что несомненно требует более пристального внимания к проводимым мероприятиям по повышению безопасности дорожного движения в этом направлении.

Литература:

1. https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries. [Электронный ресурс]. – Дата доступа : 20.06.2025г.
2. Global status report on road safety: time for action. Geneva, World Health Organization, 2009 – ISBN 978-92-4-156384-0
3. https://www.who.int/ru/news/item/09-05-2025-safer-walking-and-cycling-crucial-for-road-safety-and-better-health. [Электронный ресурс]. – Дата доступа : 20.06.2025г.
4. Global status report on road safety 2018. Geneva, World Health Organization, 2018 – ISBN 978-92-4-156568-4.

УДК 625

Современные технологии ремонта асфальтобетонных покрытий

***Драпеза Антон Витальевич**, студент 2 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Мытько Л.Р., канд. техн. наук, профессор
кафедры «Автомобильные дороги»

На сегодняшний день в Республике Беларусь самым популярным материалом для дорожного покрытия является асфальтобетон. Это долговечный, прочный, водоотталкивающий, экологичный и ремонтопригодный материал, позволяющий начать эксплуатацию за короткие сроки после его укладки.

К основным причинами разрушения дорожного полотна относятся: нагрузка на дорожное полотно и ее интенсивность; недостаточная толщина покрытия; низкие и высокие температуры, а также их перепады; прочие климатические условия; некачественные материалы, из которых сделано покрытие и его основание; повышенные нагрузки и интенсивность движения; несоблюдение технологии укладки асфальта и некоторые другие факторы.

Ремонт подразделяется на капитальный и локальный. Локальный ремонт производится при условиях легкой деформации дорожного полотна и является самым популярным.

Струйно-инъекционный способ подходит для ремонта небольших дефектов, таких как ямы, трещины или выбоины. В ходе работ участок обрабатывается водно-битумной эмульсией, засыпается мелким щебнем и уплотняется для обеспечения эксплуатационных характеристик заплатки.

Санация трещин - это способ обработки и герметизации швов и трещин при помощи полимерных или битумных составов. В результате предотвращается разрушение полотна.

Ремонт асфальта холодными смесями представляет собой укладку асфальта без подогрева смеси, что уменьшает количество работ с затратами и позволяет их проводить в холодную погоду. Однако холодный метод снижает прочностные характеристики полотна.

Ремонт асфальта горячими смесями производится при температуре воздуха от +5°С,а также при температуре смеси от +110 до +130°С. Этот метод позволяет повысить качество дороги, но требует больших временных и денежных затрат.

Технология ремонта литым асфальтом схожа с технологиями применения горячих и холодных смесей, но при этом отличается тем, что литой асфальт не требует уплотнения.

Инфракрасный ремонт - это современный метод ремонта дорожного полотна, суть которого заключается в разогреве ИК-излучением участка старого асфальта до +150°С, после асфальт смешивают с новой смесью и уплотняют.

Для обнаружения разрушения дорог на ранних этапах могут использоваться пьезоэлектрические или оптоволоконные датчики, а также AI-мониторинг в виде сети видеокамер и дронов, которые выявляют дефекты дорожного покрытия с точностью до сантиметра.

Разрушение асфальтобетонного покрытия на дорогах общего пользования представляет собой комплексный процесс, возникающий под воздействием транспортных нагрузок, климатических факторов и конструктивных недостатков дорожной одежды, что приводит к появлению трещин, выбоин, ям и снижению несущей способности покрытия.

Литература:

1. Каким бывает ремонт асфальта. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.asfalt-kachestvo.ru/news/remont-asfalta.html – Дата доступа : 28.11.2025.
2. О проблемах ремонта старых цементобетонных дорог и пути их решения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rep.bntu.by/handle/data/30330 – Дата доступа : 28.11.2025.
3. Ремонт трещин асфальтобетонных покрытий. Общие положения. Ликвидация трещин с применением пластификаторов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studfile.net/preview/5616022/page:65/ – Дата доступа : 28.11.2025.

УДК 625.8

Использование программного продукта ТИМ КРЕДО при проектировании автомобильных дорог

***Евтух Владислав Александрович**, студент 2 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Мордас М.С., старший преподаватель
кафедры «Автомобильные дороги»

На сегодняшний день проектирование автомобильных дорог – это сложный процесс, который уже невозможно представить без использования специальных компьютерных программ. Одной из самых мощных и распространенных в России и странах СНГ систем для этого является программный комплекс ТИМ КРЕДО. Если говорить просто, это целый набор программ, которые позволяют инженеру создать цифровую модель будущей дороги, начиная от сбора исходных данных и заканчивая выпуском чертежей.

Работа в ТИМ КРЕДО обычно начинается с модуля «КРЕДО ДАТА». Это основа всего проекта. Сюда загружаются все исходные данные: топографические карты, результаты полевых измерений, например, точки, снятые геодезистами с помощью GPS-оборудования. В этом модуле создается так называемая цифровая модель местности – это трехмерная поверхность земли, с которой предстоит работать. Без этой модели невозможно правильно спроектировать ни один земляное сооружение. По сути, программа создает виртуальный аналт той территории, где будет проходить дорога.

Следующий ключевой этап – это трассирование, то есть прокладка направления дороги на этой цифровой местности. За это отвечает модуль «КРЕДО ТРАССА». Инженер не просто рисует линию на карте, а задает так называемый пикетный журнал – основные точки и углы поворотов трассы. Самое главное, что программа сразу позволяет проектировать дорогу в трех измерениях, учитывая продольный и поперечный профили. Проектировщик видит, как его трасса ложится на рельеф, и может сразу оптимизировать ее, чтобы минимизировать объемы земляных работ, например, сократить количество выемок и насыпей. Это позволяет сильно сэкономить средства на будущем строительстве.

После того как направление дороги утверждено, наступает этап детального проектирования всех ее элементов в модуле «КРЕДО ДОРОГИ». Здесь дорога «обретает плоть». Проектировщик задает все ее параметры: ширину проезжей

части, количество полос, уклоны, виражи на поворотах, конструкцию дорожной одежды. Программа автоматически рассчитывает все объемы грунта, который нужно вынуть или подвезти, и позволяет создать модель будущей дорожной одежды – всех ее слоев из щебня, асфальта и т.д. Огромное преимущество в том, что любые изменения, внесенные в проект, мгновенно отражаются на всех расчетах и чертежах.

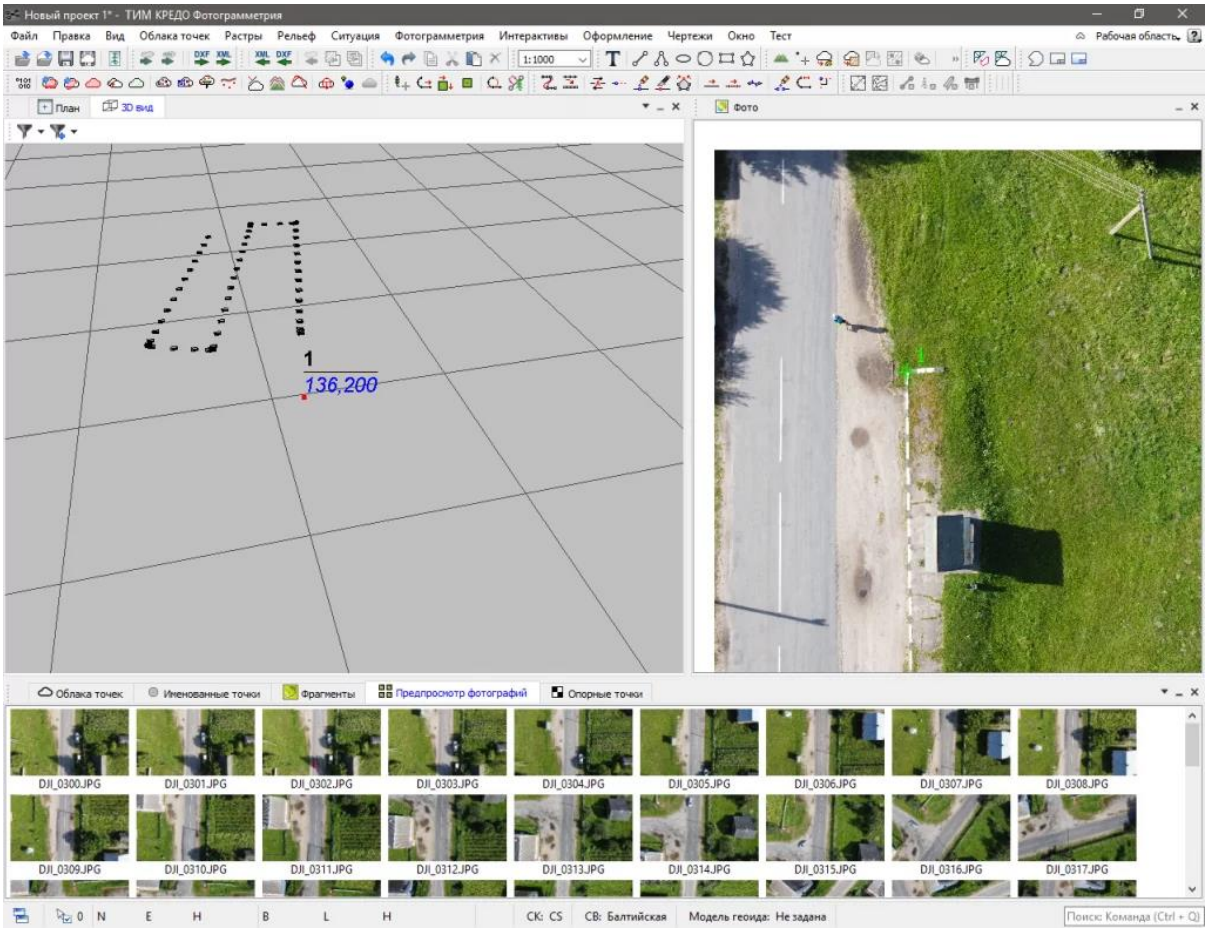


Рисунок 1

Когда цифровая модель дороги полностью готова, наступает этап оформления проектной документации. Раньше это была очень долгая и рутинная работа чертежников. ТИМ КРЕДО же автоматизирует этот процесс. Из единой модели программа автоматически генерирует все необходимые чертежи и документы: планы трассы, продольные и поперечные профили, ведомости объемов работ. Это не только ускоряет работу, но и сводит к минимуму человеческие ошибки, которые могли бы возникнуть при ручном пересчете данных.

Кроме того, современные требования все чаще диктуют использование технологий информационного моделирования (BIM). ТИМ КРЕДО – это как раз BIM-система. Это значит, что создается не просто набор чертежей, а единая информационная модель, которая содержит в себе всю информацию о будущем

объекте на всем его жизненном цикле – от проектирования до строительства и даже последующей эксплуатации.

В заключение можно сказать, что ТИМ КРЕДО стал неотъемлемым инструментом современного проектировщика дорог. Он позволяет работать быстрее, точнее и эффективнее. Программа охватывает абсолютно все этапы создания проекта, от идеи до готовой документации, и помогает принимать более обоснованные инженерные решения, что в итоге приводит к строительству более качественных и безопасных автомобильных дорог. Для нас, как для будущих специалистов, изучение этого программного комплекса является очень важным шагом для успешной карьеры в сфере дорожного строительства.

Литература:

1. Иванов, А.В. Проектирование автомобильных дорог в среде ТИМ КРЕДО: учебное пособие для вузов / А.В. Иванов, С.К. Петров. – М.: ИНФРА-М, 2022.
2. Сидоренко, Е.Н. Цифровые технологии в дорожном строительстве: от геодезии до BIM / Е.Н. Сидоренко. – СПб.: Лань, 2020.
3. ГОСТ Р 57358-2021 «Модели информационные строительные. Правила описания деятельности предприятий и процессов».
4. Официальный сайт ООО «КРЕДО-ДИАЛОГ»: https://credo-dialogue.ru

УДК 625.7

Армирование бетонных дорог

***Костевич Надежда Игоревна**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Бетонные дороги – являются альтернативой асфальтобетонным, однако они имеют свои особенности и недостатки. Которые устраняются следующим образом:

- Увеличение прочности на растяжение конструкции плиты. Нам известно, что бетон обладает высокой прочностью на сжатие и низкой на растяжение. Поэтому, во время строительства автомобильной дороги, производится армирование бетонного покрытия, чтобы предотвратить образование и распространение трещин.

- Уменьшение воздействия температурных деформаций. Арматура помогает снизить внутренние напряжения, возникающие в бетоне при изменении температуры, предотвращая образование температурных трещин.

- Уменьшение толщины дорожного покрытия. В некоторых случаях, с помощью армирования, возможно уменьшить толщину бетонной плиты.

Существует три основных вида армирования, применяемых в дорожном строительстве:

1. Армирование стальной арматурой. Это наиболее распространённый метод, в котором используются арматурные стержни или проволока.

2. Армирование фиброй. Суть данного метода заключается в том, что короткие волокна (фибра), равномерно распределены в объёме бетонной смеси. Фибра бывает стальная, полимерная, базальтовая и стеклянная.

3. Комбинированное армирование. Данный метод способствует достижению максимальной эффективности применяя армирование стальной арматурой и армирование фиброй. Это позволяет использовать преимущества каждого типа арматуры, компенсируя их недостатки.

Процесс армирования бетонных дорог включает несколько ключевых этапов:

- Подготовительные работы. На данном этапе определяется толщина плиты, состав бетонной смеси, тип, количество и шаг укладки арматуры. На

местность переносят оси будущей дороги и производят вертикальную планировку.

- Подготовка основания. Происходит подготовка основания дороги, производится выравнивание, уплотнение и устройство дренажа в земляном полотне. Укладывается подстилающий слой.

- Укладка арматуры. Стальная арматура укладывается на специальные фиксаторы, которые обеспечивают необходимый защитный слой бетона снизу. Соединяют арматуру при помощи вязальной проволоки или сварки.

- Укладка бетонной смеси. Укладка ведётся с помощью бетоноукладчика (Рис. 1.). Сразу после того, как бетоноукладочная машина равномерно распределила бетон, вибрируя удалила воздух и предварительно выровняла поверхность, производится отделка поверхности.



Рисунок 1 – Укладка бетонной смеси

- Формирование швов и уход за бетоном. По истечению 6-12 часов после укладки бетона, по нему проходятся швонарезчиком с алмазным диском (Рис. 2), нарезаются поперечные и продольные швы. Они делаются для того, чтобы бетон при усадке и перепадах температур трескался по шву, создавая контролируемые трещины. После нарезки швов, следующие 7-14 дней бетон постоянно опрыскивают водой, чтобы он не потрескался от быстрой потери влаги.

- Завершение. Снятие боковой опалубки через 2-3 дня. Полное открытие движения производится только после набора бетоном проектной прочности (в общем случае 28 суток).



Рисунок 2 – Швонарезчик

Данный метод строительства автомобильных дороги имеет как преимущества, так и недостатки. К преимуществам можно отнести: значительное повышение срока службы дорожного покрытия, улучшение эксплуатационных характеристик, снижение затрат на ремонт и обслуживание. К недостаткам: увеличение стоимости строительства, сложность технологии строительства, сложность ремонта.

Дальнейшее развитие технологий армирования может привести к достижению снижения стоимости и увеличению долговечности и прочности строительства армированных бетонных дорог.

Литература:

1. ГОСТ 10922-2012 «Арматурные и закладные изделия, их сварные, вязаные и закладные соединения для железобетонных конструкций» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://metallkonstrukt.ru/img/gost10922_2012.pdf?ysclid=miv0b8p3at711088672 – Дата доступа: 06.12.2025.
2. ТР 86-98 «Технические рекомендации по технологии применения дисперсно-армированных бетонных смесей для строительства монолитных покрытий и оснований городских дорог повышенной эксплуатационной надежности» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/97e/4294 848238.pdf?ysclid= miv0j776jg325349948 – Дата доступа: 07.12.2025.

УДК 691.32

Влажность бетона и приборы для ее определения

***Кублашвили Никита Борисович**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Влажность бетона является одним из ключевых показателей его качества, так как от количества воды в поровой структуре напрямую зависят процессы гидратации цемента, прочностные характеристики, морозостойкость и долговечность бетонных конструкций. В дорожном строительстве контроль влажности особенно важен, поскольку бетонные покрытия, плиты и элементы водоотвода подвергаются значительным нагрузкам, воздействию атмосферных факторов и повторяющимся циклам замораживания–оттаивания. Оптимальная влажность обеспечивает правильное твердение бетона, минимизирует образование усадочных трещин и повышает устойчивость конструкций к разрушению.

Влага в бетоне может находиться в виде связанной, капиллярной и свободной. Связанная влага удерживается химическими связями внутри цементного камня, капиллярная — находится в порах и каналах материала, а свободная — наиболее подвижная, легко испаряющаяся. Именно количество свободной и капиллярной влаги определяет текущую влажность бетона. При недостатке воды процессы гидратации замедляются, бетон не набирает проектной прочности; при избытке влаги повышается пористость, ухудшается морозостойкость и увеличивается вероятность разрушения конструкции в зимний период.

Для контроля влажности бетона применяются различные приборы, тогда как сами методы чаще служат лишь основой их работы. Диэлектрический и карбидно-кальциевый методы остаются эталонными по точности, однако сегодня основное значение имеют современные измерительные устройства, позволяющие проводить анализ быстро, без разрушения конструкции и в любых условиях.

Одним из наиболее точных и распространённых приборов считается кальциево-карбидный влагомер GANN Hydromette CM (Рис. 1). Он основан на реакции влаги с карбидом кальция, в результате которой образуется ацетилен. Давление газа внутри герметичной колбы фиксируется манометром, что

позволяет получить достоверное значение влажности. Этот прибор широко применяется в дорожном строительстве благодаря мобильности, устойчивости к внешним условиям и высокой точности результатов.



Рисунок 1 – Кальциево-карбидный влагомер GANN Hydromette CM

Другим надёжным устройством является диэлектрический влагомер Testo 606-2 (Рис. 2). Он определяет изменение диэлектрической проницаемости материала, что позволяет быстро определять влажность без повреждения структуры бетона. Прибор удобен для оперативного контроля состояния дорожных плит и монолитных конструкций непосредственно на объекте.



Рисунок 2 – Диэлектрический влагомер Testo 606-2

Для более глубокого и дистанционного анализа применяется инфракрасный влагомер Trotec T660 (Рис. 3). Он использует инфракрасные волны для фиксации содержания влаги в поверхностных и подповерхностных слоях бетона. Прибор позволяет получать данные на значительной площади в быстром темпе, что важно при обследовании дорожного покрытия или больших бетонных плит.



Рисунок 3 – Инфракрасный влагомер Trotec T660

Отдельного внимания заслуживает комбинированный прибор FLIR MR77 (Рис. 4), который совмещает диэлектрический метод, контактные измерения и контроль параметров окружающей среды. Он особенно удобен для комплексной оценки состояния конструкций, когда требуется учитывать влияние температуры, влажности воздуха и локальных условий эксплуатации.



Рисунок 4 – Комбинированный прибор FLIR MR77

Использование приборов обеспечивает более точный и оперативный контроль влажности бетона, что позволяет своевременно выявлять отклонения от технологических норм и повышает долговечность дорожных конструкций.

Литература:

1. Testo [официальный сайт производителя] – URL: https://www.testo.com/en/testo-606-2/p/0560-6062
2. Vlagomer.com [специализированный портал о влагомерах] – URL: https://vlagomer.com/hygrometer-grain/vlagomer-stroitelnykh-materialov/item/67-vlagomer-stroitelnykh-materialov-t-660-trotec
3. Russtroylab.ru [лабораторное и измерительное оборудование для строительства] –URL: https://russtroylab.ru/product/gann-compact-b

УДК 625.878.06

Применение асфальтогранулята в основании под тротуарной плиткой

***Лаппо Андрей Игоревич**, студент 5 курса, **Пташиц Егор Олегович**,*
выпускник кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Реут Ж.В., старший преподаватель
кафедры «Автомобильные дороги»

Область применения асфальтогранулята, вторичного ресурса, получаемого при фрезеровании изношенных асфальтобетонных покрытий, имеет достаточно широкий диапазон – от укладки в основания дорожных одежд и укрепления обочин до приготовления органоминеральных и регенерированных смесей на их основе. В процессе выполнения студенческой научно-исследовательской работы были исследованы физико-механические свойства асфальтогранулята (см. таблицы 1 и 2).

Таблица 1 – Результаты рассевов проб асфальтогранулята

Наименование материала	Номер пробы	Зерновой состав (содержание зерен мельче данного размера, мм в % по массе)			
		40	5	0,63	0,071
Асфальтобетонный гранулят	1	100,0	80,0	34,3	5,1
	2	100,0	37,2	15,6	7,1
	3	100,0	15,6	8,2	3,5

Таблица 2 – Результаты определения пылеватых частиц

Наименование материала	Номер пробы	Содержание пылевидных частиц, %
Материал существующего основания дорожной одежды с включением асфальтобетонного гранулята	1	4,5
	2	4,2
	3	3,9

Истинную плотность асфальтогранулята определяли с помощью ускоренного метода по прибору Ле-Шателье. Получили следующие значения истинной плотности для проб асфальтогранулята: 2,7, 2,8 и 2,75 г/см^3.

Определенные физико-механические характеристики и гранулометрический состав асфальтогранулята соответствие действующим нормативно-правовым актам РБ (СТБ1705 и ГОСТ 8269.0), следовательно,

существует возможность его использования для конструкции площадки во внутреннем дворике БНТУ.

Проектирование конструкции дорожной одежды с использованием асфальтогранулята позволит уменьшит расход гранитного щебня и тем самым снизить затраты на строительство конструкции. Проектирование конструкции дорожной одежды для площадки выполнено при помощи программной системы ТИМ КРЕДО РАДОН (Рис. 1).

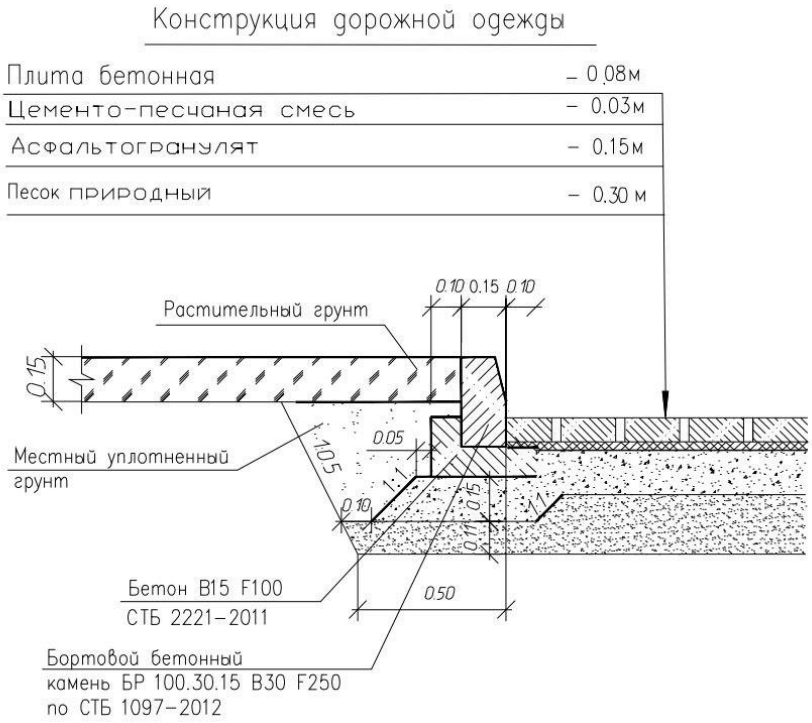


Рисунок 1 – Конструкция дорожной одежды для площадки БНТУ

УДК 625.73

Механизированные комплексы для строительства бетонных дорог

***Лебедев Илья Вячеславович**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

В настоящее время строительство автомобильных дорог с цементобетонным покрытием приобретает всё большее значение в связи с их высокой долговечностью, несущей способностью и устойчивостью к интенсивным транспортным нагрузкам. Повышение темпов и качества строительства таких дорог невозможно без применения современных механизированных комплексов (Рис. 1).



Рисунок 1 – Механизированный комплекс для строительства бетонных дорог

Механизированный комплекс для строительства бетонных дорог представляет собой совокупность специализированных машин и оборудования, обеспечивающих непрерывный технологический процесс укладки цементобетонной смеси, её распределения, уплотнения и формирования поверхности покрытия.

Основные преимущества применения механизированных комплексов при строительстве бетонных дорог:

- Высокая скорость укладки покрытия;
- Снижение затрат человек в часов при строительстве;

- Равномерное уплотнение и точная геометрия.

Механизированные комплексы для строительства бетонных дорог представляют собой важный шаг к модернизации строительной отрасли. Их применение способствует повышению эффективности, снижению затрат и улучшению качества дорожного покрытия, что в конечном итоге влияет на безопасность и комфорт пользователей дорог.

Литература:

1. Автомобильные дороги : учеб. пособие / под ред. В.В. Сильянова. – М. : Транспорт, 2020.
2. Технология строительства цементобетонных покрытий. – М. : Дориздат, 2019.

УДК 624.21

Классификация дефектов асфальтобетонных дорожных покрытий

Лещинская Карина Александровна, *студент 2 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Мытько Л.Р., канд. техн. наук, профессор
кафедры «Автомобильные дороги»

Повреждения дорожных покрытий в процессе эксплуатации значительно уменьшают их срок службы. Так покрытия, которые должны служить 10-15 лет, из-за ненадлежащей эксплуатации и не своевременного ремонта выходят из строя спустя 5-8 лет. Дефекты асфальтобетонных покрытий зависит от погодных условий, некачественных материалов, неправильной технологии укладки и естественного износа покрытия. При изменении погодных условиях можно выделить следующую зависимость: при низких температурах в зимний период года на асфальтобетонных покрытиях образуются трещины, при высоких температурах летом, появляются колеи. Основными видами дефектов асфальтобетонных покрытий являются: просадка, сдвиги, шелушение, трещины (Рис.1), выбоины (Рис. 2), проломы (Рис. 3), выкрашивание, колеи, наплывы.

Таблица 1 – Допустимая глубина повреждений на дорожном полотне

Название	Предельно допустимая величина дефекта
Колея	Глубиной, не более 1 см
Выбоина	Площадь не более 0,16 м² и глубиной не более 10 см
Сдвиг	Глубиной не более 3 см
Пролом	Площадь не более 0,09 м² и глубиной не более 5 см
Смещение	1 см, не более



Рисунок 1 – Трещина



Рисунок 2 – Выбоина



Рисунок 3 – Пролом

В зависимости от происхождения трещины классифицируются на:

- отраженные трещины - это трещины в новом асфальтобетонном слое, которые образуются в районе расположения трещины в нижних, старых слоях покрытия или основания.

- температурные трещины, такие дефекты обусловлены перепадами температуры.

-силовые трещины, возникают при невозможности дорожного покрытия, справится с транспортной нагрузкой из-за недостаточной прочности основания.

- технологические трещины, возникают после укладки покрытия, по следующим причинам: нарушения в процессе технологии укладки, несоблюдение технологии уплотнения, а также неправильно подобранного состава асфальтобетонной смеси.

- усталостные трещины, возникают преимущественно в виде поперечных трещин на нижней поверхности дорожного полотна.

Для устранения дефектов асфальтобетонных покрытий своевременно производится ремонт.

Такие дефекты как мелкие выбоины, шелушение и выкрашивание ремонтируются с помощью инъекционного метода – при помощи битумной эмульсии и щебня. Крупные выбоины, просадки, сдвиги требуют снятия старого покрытия и укладки новой асфальтобетонной смеси.

Виды ремонта дорожного полотна разделяются на:

- капитальный, который включает в себя полное восстановление дорожного покрытия. Проводится при значительном ухудшении состоянии асфальтобетонного покрытия.

- текущий, представляет собой ремонт мелких выбоин и трещин. Включает в себя заделку выбоин и трещин, а так же остальных незначительных повреждений дорожного покрытия. Проводится регулярно, для обеспечения безопасного движения.

- ямочный, представляет собой локальную заделку ям и выбоин.

При ремонте автомобильных дорог необходимо строго выполнять технологию производства работ.

Технологии не стоят на месте, поэтому в наше время появляются новые, современные методы ремонта дорожных покрытий.

1) Инфракрасный ремонт, представляет собой разогрев старого полотна до 150°С, после чего его смешивают с новой смесью. Такой вид ремонта не оставляет швов.

2) 3D печать дорожных покрытий – это технология, благодаря которой дороги ремонтируют, наслаивая асфальтобетонную смесь с помощью экструзионного принтера.

3) Роботизированные ремонтные комплексы — это совокупность автоматизированных машин, предназначенных для локального ремонта дорожного покрытия.

Литература:

1. КУУМ Столинское ЖКХ [Электронный ресурс]. − Режим доступа: https://stolinjkh.by/index.php/ru/blagoustrojstvo/73-dorogi/850-stb-1291-2016
2. Адванс Строй [Электронный ресурс]. − Режим доступа: https://advance.astroy.by/blog/tehnologii-remonta-dorog
3. Грунтовозов [Электронный ресурс]. − Режим доступа: https://gruntovozov.ru/chasto-zadavayemiye-voprosy/harakteristiki-i-svojstva-asfalta/mehanicheskie-svojstva-asfalta/deformativnost-asfaltobetona/
4. SOLOMATIC Асфальтобетонные заводы [Электронный ресурс]. − Режим доступа: https://solomatic.ru/stati/defekty-asfalta-vidy-prichiny-obrazovaniya-remont
5. Белстройцентр [Электронный ресурс]. − Режим доступа: https://bsc.by/ru/story/analiz-prichin-vozniknoveniya-treshchin-v-dorozhnyh-pokrytiyah-i-kriterii-ih

УДК 625.72

Расчет дорожной одежды в ТИМ КРЕДО РАДОН

***Митрофанов Савелий Александрович**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В. А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

ТИМ КРЕДО, как программная система, состоит из групп подсистем, для работы специалистов в сферах проектирования, строительства, эксплуатации и инженерных изысканий. Главным плюсом продуктов ТИМ КРЕДО является нацеленность на работу в странах СНГ и Республики Беларусь в частности. Программы изначально проводят расчет на основе наших строительных норм и стандартов.

Для автоматизации расчетов дорожной одежды в сфере проектирования автомобильных дорог используется модуль ТИМ КРЕДО РАДОН. Он выполняет расчет дорожных одежд жесткого и нежесткого типа и предоставляет набор функций для принятия оптимальных проектных решений.

Проектирование дорожной одежды начинается с назначения климатических характеристик в которой можно выбрать дорожно-климатическую зону, с использованием интерактивной карты, схему увлажнения, с возможностью просмотра справочной информации для каждой схемы, регион и его характеристики.

Во вкладке «Данные о дороге» Назначаются параметры самой проектируемой дороги: Категория, количество полос движения, тип конструкции, срок службы и требуемый коэффициент надежности. Также есть возможность задать информацию и требования по грунтам, дренажу, морозозащите и другим особенностям.

Во вкладке «Состав автомобильного потока» заносится информация о интенсивности потока. Можно вносить информацию о составе движения: типы автомобилей и их количество как в числах, так и процентном эквиваленте от общего значения потока. Если информация о составе движения отсутствует, то есть возможность производить расчет по заданному модулю упругости.

После внесения всех исходных данный можно приступать к расчету и проектированию слоев дорожной одежды. В окне «Конструкции дорожной одежды» мы можем добавлять, редактировать и удалять конструктивные слои. При присваивании материалов назначается толщина слоя и другие

характеристики, в зависимости от типа слоя. Также есть возможность задать использование геосентетических материалов, не влияющих на расчет, или армирование. Необходимо указать какие слои при расчете будут варьируемыми, что позволяет увеличивать или уменьшать их по итогам расчета.

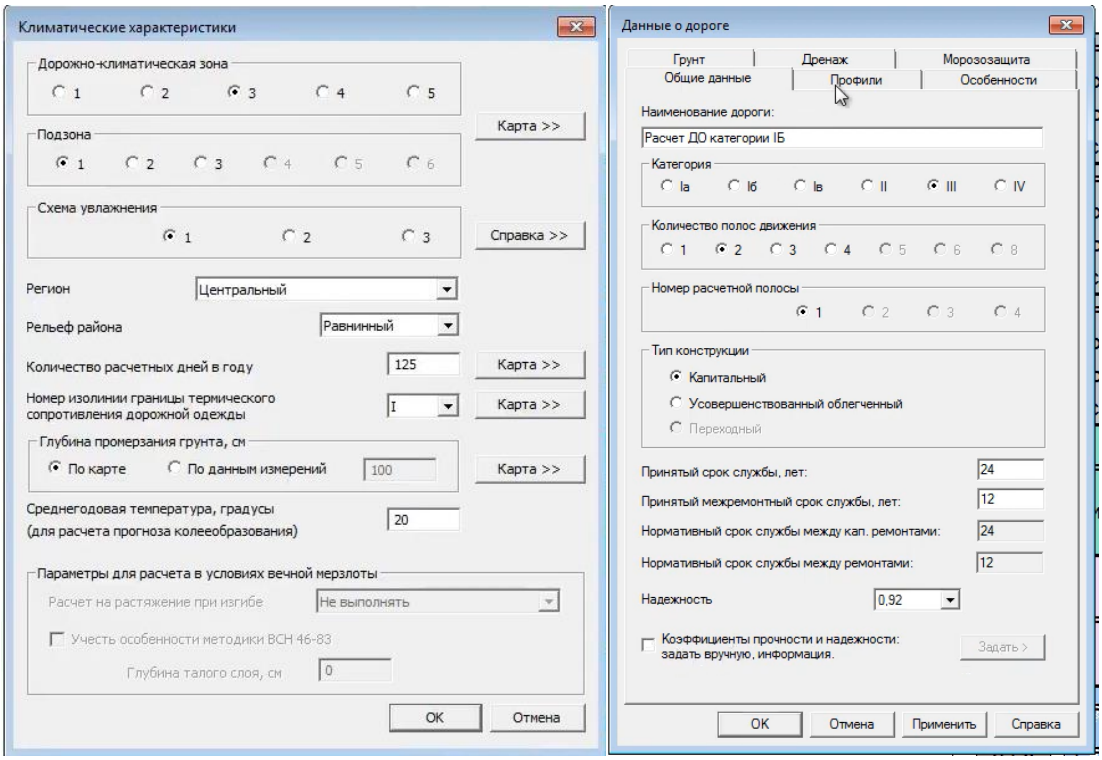


Рисунок 1 – Информационные окна вкладок «Климатические характеристики» и «Данные о дороге»

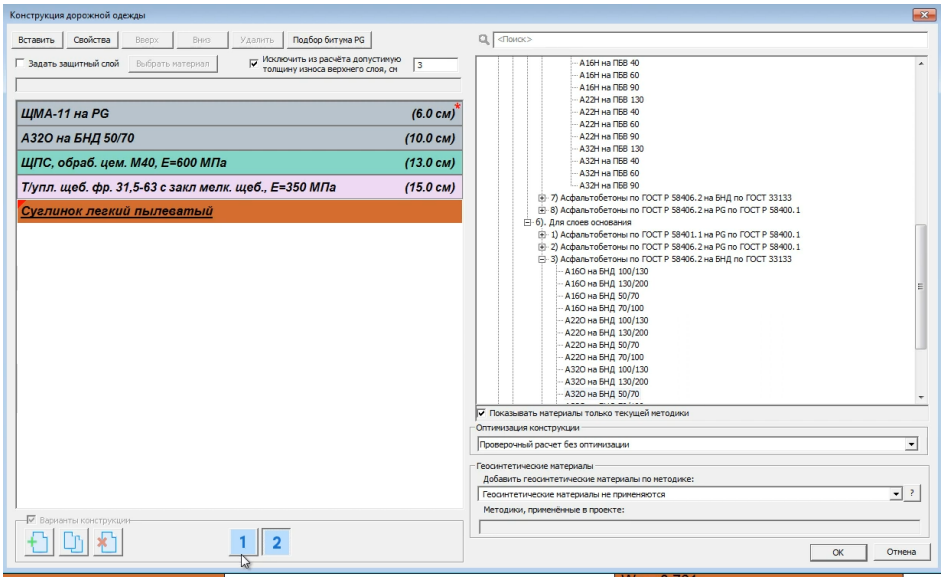


Рисунок 2 – Информационные окно вкладки «Конструктивные слои дорожной одежды»

Расчет проводится по нескольким принципам оптимизации: Оптимизация толщины конструкции, по стоимости конструкции или по соблюдению минимального запаса прочности.

В результате расчета мы получаем визуализацию слоев с информацией по запасу прочности на сдвиг, на упругий прогиб и общей прочностью конструкции.

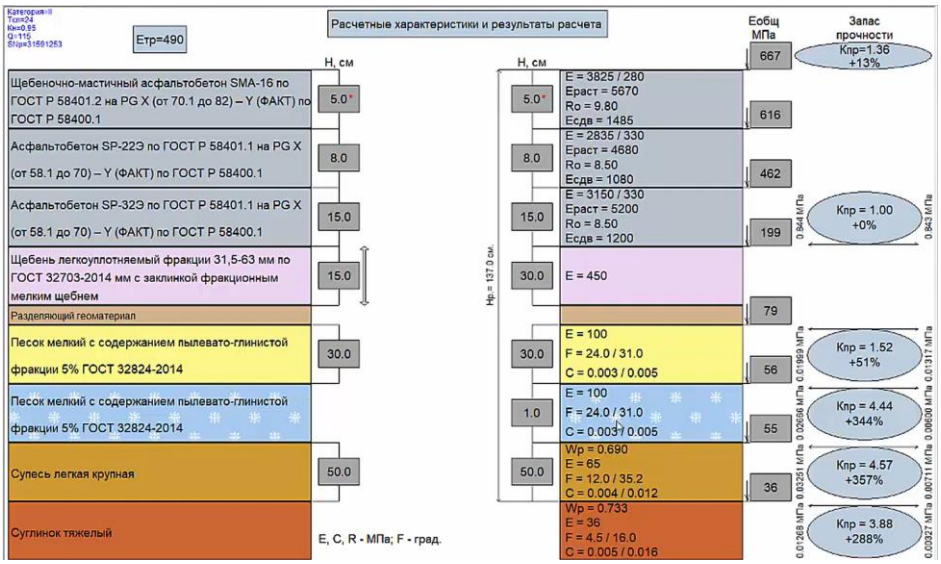


Рисунок 3 – Результаты расчета

Несмотря на то, что ТИМ КРЕДО РАДОН выполняет машинный расчет и предоставляет для него широкий функционал, принятие проектно-конструктивных решений все равно остается за человеком.

Литература:

1. [Электронный ресурс]. – URL : https://www.youtube.com/watch?v=h7gkb0O5vU8 (Дата обращения: 28.11.2025).
2. РАДОН Руководство пользователя к версии 2026.1. [Электронный ресурс]. – URL : https://download.credo-dialogue.ru/Documentation/TC/TC_radon.pdf (Дата обращения: 28.11.2025).

УДК 625.7

Цветовые решения горизонтальной дорожной разметки для повышения внимания водителей

***Михолап Максим Дмитриевич**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ремез Н.И., старший преподаватель
кафедры «Автомобильные дороги»

Дорожная разметка — один из ключевых элементов организации дорожного движения. Традиционные разметочные материалы и методы нанесения разметки, основанные на отражающих материалах и красках, постепенно уступают место инновационным технологиям. В мире активно разрабатываются и внедряются новые подходы к применению разметки, которые улучшают восприятие дорожной ситуации, дополнительно повышают безопасность на отдельных участках и адаптируются к изменениям окружающей среды. В данной статье рассматриваются современные тенденции в адаптации разметочных материалов для повышения уровня восприятия дорожной ситуации.

Цвет — один из самых мощных визуальных стимулов, способных мгновенно изменить восприятие и поведенческие реакции человека. В контексте дорожного движения цветовая разметка служит не только эстетической функцией, но и психологическим сигналом, который формирует уровень внимания, степень тревожности и готовность к быстрой реакции у водителей.

Цвета влияют на психологическое состояние водителя, вызывая определённые ассоциации: красный — опасность, оранжевый — временное изменение, жёлтый — предупреждение, белый — стандартные правила.

Цвет дорожной разметки оказывает значительное влияние на восприятие дорожной ситуации водителями, поскольку он служит для передачи важной информации о режиме движения и возможных опасностях. Разные цвета вызывают различные ассоциации и психологические реакции, что напрямую влияет на поведение водителей [1].

Белый – это наиболее распространённый цвет, который используется для обозначения постоянных элементов дорожной разметки: применяется для разделения полос движения в попутном направлении, для обозначения края проезжей части, пешеходных переходов и других стационарных элементов.

В тоже время использование желтого цвета для постоянной дорожной разметки применяется в местах, где необходимо привлечь внимание водителей и повысить их уровень концентрации. Чаще всего жёлтой разметкой обозначают места, где запрещена остановка или стоянка, а также на потенциально аварийных участках.

Оранжевого цвета дорожная разметка может также активно влиять на поведение водителя, обеспечивая высокую визуальную заметность даже в сложных погодных условиях. Психологически этот цвет ассоциируется с предупреждением, стимулируя внимание и повышая уровень концентрации. Яркий оранжевый цвет отлично контрастирует с цветом покрытия на дорогах и улицах даже при ухудшении погодных условий и видимости. Его применение оправдано для горизонтальной разметки, разделяющей как встречные потоки транспорта, так и для разграничения полос движения в попутном направлении и в зонах перекрестков.

Применение цветной дорожной разметки, в частности ярко-красного цвета, в непосредственной близости от пешеходных переходов является высокоэффективной стратегией для снижения дорожно-транспортных происшествий. Психологическое воздействие красного цвета на водителя — ассоциация с опасностью и немедленной необходимостью торможения — обеспечивает практически мгновенное переключение внимания и повышение концентрации. Когда водитель видит контрастную красную зону на подходах к «зебре», его подсознание активирует защитные механизмы, вынуждая инстинктивно снизить скорость и приготовиться к остановке, даже если белый цвет основной разметки кажется недостаточно предупредительным.

Внедрение красной разметки на критически опасных участках, особенно в местах с плохой видимостью или высоким риском возникновения дорожно-транспортных происшествий (возле школ, рынков, крупных остановок общественного транспорта), функционирует как постоянный, мощный визуальный барьер.

Таким образом, переход от стандартной белой разметки к активным цветовым решениям, таким как красный, переводит дорожную инфраструктуру из пассивного информирования в активное психологическое воздействие на водителя, что является ключевым фактором в достижении цели устойчивого снижения травматизма и смертности на дорогах.

Литература:

1. https://www.speedhumpsaustralia.com.au/traffic-sign-and-road-sign. [Электронный ресурс]. – Дата доступа : 16.10.2025 г.

УДК 625.7

Интеграция транспортных развязок в существующую инфраструктуру без сноса зданий

***Овчаренко Дмитрий Романович**, студент 5 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ремез Н.И., старший преподаватель
кафедры «Автомобильные дороги»

Транспортная развязка – это инженерное сооружение, устраиваемое на пересечениях и примыканиях автомобильных дорог или улиц населенных пунктов, включающее один или несколько путепроводов и систему соединительных ответвлений, обеспечивающих движение всех (полная транспортная развязка) или только основных (неполная транспортная развязка) пересекающихся транспортных потоков в разных уровнях [1].

Расположение транспортных развязок должно обеспечивать плавное изменение режимов движения и приведение их в соответствие с изменяющимися дорожными условиями. С этой целью транспортные развязки необходимо располагать на достаточном расстоянии друг от друга.

Для обеспечения безопасности и удобства движения расстояние между транспортными узлами в разных уровнях должно быть не менее 1000 м. Такие расстояния позволяют иметь достаточную длину участка стабилизации движения транспортного потока, на котором устанавливается режим движения, не зависящий от влияния транспортных развязок друг на друга [2].

Интеграция транспортных развязок в плотную городскую застройку, где каждый квадратный метр на счету, а снос зданий является дорогостоящим и социально нежелательным мероприятием, – это одна из самых сложных, но и самых важных задач современного градостроительства. Возведение транспортных узлов в разных уровнях несет за собой повышение пропускной способности, снижение числа заторов, улучшение безопасности и комфорта передвижения, минимизируя при этом негативное воздействие на существующую городскую среду.

Применение эстакад и тоннелей мелкого заложения для отдельных элементов транспортных узлов на сегодняшний день является одним из самых распространённых подходов в вопросах проектирования сложных транспортных развязок в городской черте.

Эстакада позволяет вывести транспортные потоки на иной уровень относительно существующей застройки, что позволяет использовать имеющиеся городские территории в других целях, например, для организации парковочных или складских территорий, а также устройства рекреационных зон или прокладки отдельных видов коммуникаций.

Проложение элементов транспортных развязок в тоннелях, которые проходят под существующей городской территорией открывает возможность не вносить кардинальных изменений в сложившуюся архитектуру и планировку городских районов.

Обращаясь к мировой практике применения таких подходов можно обратить внимание на симбиоз застройки и транспортных сооружений в крупнейших городах планеты.

Многие транспортные развязки в центре Лондона, такие как развязка на пересечении A4 (Great West Road) и M4, используют многоуровневые решения с эстакадами, которые проходят над другими дорогами и, в некоторых случаях, вблизи зданий (Рис. 1). Снос зданий при этом был минимален.



Рисунок 1 – Великобритания, г. Лондон

В Париже, несмотря на плотную историческую застройку, активно используются подземные тоннели для скоростных транзитных магистралей. Например, автомагистраль «Paris-Tours A10 autoroute» имеет участки, проходящие под городом, где прямой снос зданий не потребовался. Ее общая протяженность 557 километров что делает ее самой длинной автомагистралью во Франции, в то же время эта автомагистраль

является составной частью Европейского маршрута Е05, проходящего по территории Великобритании, Франции и Испании общей протяженностью 2960 километров.

В Токио, одном из самых густонаселенных городов мира, широко применяются многоуровневые эстакады, которые буквально «наслаиваются» друг на друга. Пример – развязки на Tokyo Metropolitan Expressway, где эстакады несут на себе транспортные артерии города над другими уровнями транспортных путей и все это в непосредственной близости от зданий, но без их сноса (Рис. 2).



Рисунок 2 – Япония, г. Токио

К примеру, в Нью-Йорке, особенно на Манхэттене, многие транпортные узлы организованы таким образом, что потоки разделяются и затем снова соединяются, используя существующие улицы и небольшие пространства. Например, развязка на FDR Drive и East 59th Street – это пример того, как множество въездов и съездов интегрированы в городскую среду с минимальным нарушением (Рис. 3).

Интеграция транспортных развязок в существующую инфраструктуру без сноса зданий это сложный, но крайне важный процесс, который будет актуален и в будущем. Этот процесс требует творческого инженерного мышления, применения новейших цифровых решений и глубокого понимания основных аспектов функционирования городской среды.



Рисунок 3 – Соединенные Штаты Америки, г. Нью-Йорк

Примеров такой успешной интеграции становится с каждым годом всё больше и больше, что говорит о том, что сейчас уделяется большое внимание гармоничному развитию городской среды. Сочетание транспортных развязок и компактных строительных конструкций, интегрированных с иными городскими постройками, открывает новые возможности для создания более привлекательного пространства в городах, а использование новых «умных технологий» открывает новые возможности для строительства в особо стесненных условиях.

Литература:

1. Яцевич, И. К. Транспортные развязки. Основы проектирования : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» / И. К. Яцевич, Е. И. Кононова, Н. И. Шишко ; Белорусский национальный технический университет, кафедра «Автомобильные дороги». – Минск : БНТУ, 2022. – 175 с.
2. Чудинов, С. А. Проектирование транспортных развязок : учебно-методическое пособие / С. А. Чудинов, А. Ю. Шаров ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург, 2021. – 80 с. : ил. – Текст : электронный.

УДК 625.7

Теоретические исследования светотехнических характеристик дорожных покрытий

***Оздемиров Якуб Мусаевич**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Зленко Л.В., старший преподаватель
кафедры «Автомобильные дороги»

Главной задачей теоретических исследований светотехнических характеристик дорожных покрытий является изучение свойств материала покрытия при взаимодействии со светом. Также изучение данного направления стремится предусмотреть комфортабельность отражающего света, а именно комфортное восприятие для глаз водителя. Такие исследования проводятся с целью безопасности движения транспортных средств в тёмное суток.

Основное внимание для оценки дорожного освещения уделяется поверхности дорожного покрытия. При этом распространённые тёмные покрытия из асфальтобетона имеют плохие характеристики отражения света. Это приводит к высокому энергопотреблению. В процессе исследований создаются различные математические модели, которые не только помогают описать рассеяние света дорожной поверхностью, а также показывают то, как микроструктура покрытия влияет на отражающую способность покрытия. Для этого используются специальные программы.

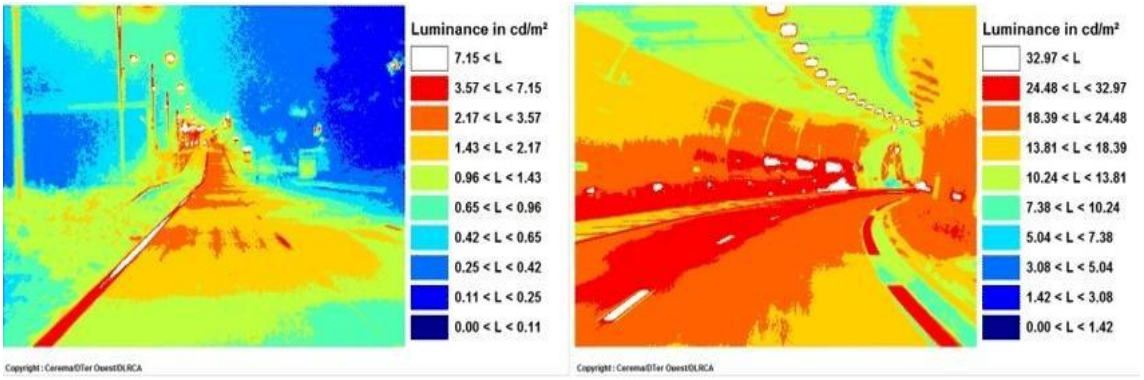


Рисунок 1 – Изображение яркости дорожного освещения (слева) и освещения тоннеля (справа)

Благодаря таким программам было определено, что если добавить светлые заполнители в асфальтобетон, то они значительно увеличивают значение коэффициента яркости покрытия дороги, тем самым преобразуя тип отражения

в диффузное. Для получения такого эффекта добавляют светлое вяжущее или внедряют в поверхность асфальтобетона заполнители с высокими характеристиками отражения. Также активно проводятся исследования с добавлением стеклянных заполнителей. При добавлении стеклянных заполнителей у покрытия наблюдается усиление свойств зеркального отражения.

Благодаря теоретическим исследованиям было выяснено, что с точки зрения механизмов отражения света наиболее эффективными являются диффузно-отражающие материалы. Они самые выгодные для энергоэффективного освещения и в то же время не нарушают комфорт для водителя автотранспорта.

Литература:

1. Sciencedirect.com. Исследование характеристик освещения и отражения светлых дорожных материалов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.sciencedirect.com — Дата обращения: 15.12.2025.
2. journals.sagepub.com. Обзор методов и устройств фотометрии дорожного покрытия – Предложение по новым геометрическим параметрам измерения - В. Музет, Дж. Бернаскони, П. Иакомусси, С. Лиандрат, Ф. Греффье, П. Блаттнер, Дж. Ребер, М. Линдгрен, 2021 г. [Электронный ресурс].— Режим доступа: https://journals.sagepub.com— Дата обращения: 15.12.2025
3. researchgate.net. Изображение яркости дорожного освещения (слева) и освещения тоннеля (справа) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.researchgate.net — Дата обращения: 15.12.2025
4. bntu.by. Светотехнические качества дорожных покрытий [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://rep.bntu.by — Дата обращения: 16.12.2025.

УДК 625.7

Влияние стабилизации оснований дорожных одежд неорганическими вяжущими материалами на окружающую среду

***Опацкая Вероника Васильевна**, студентка 5 курса,*
***Емельянова Маргарита Александровна**, выпускник*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходан Е.П., старший преподаватель, доцент
кафедры «Автомобильные дороги»

Актуальность проблемы стабилизации оснований дорожных одежд обусловлена возрастающими объемами дорожного строительства и необходимостью минимизации его экологического следа. В условиях дефицита качественных каменных материалов во многих регионах страны, применение местных грунтов, укрепленных неорганическими вяжущими, становится технически и экономически целесообразным решением.

Стабилизация грунтов представляет собой принципиально новый подход к конструированию дорожных и аэродромных одежд, позволяющий преобразовывать дисперсные системы в монолитные массы с заданными физико-механическими свойствами. Этот процесс достигается путем внесения оптимальных добавок вяжущих и выполнения установленных технологических операций. Экологические аспекты данной технологии требуют комплексного изучения, поскольку они включают как положительные эффекты (сокращение использования природных ресурсов, утилизация отходов), так и потенциальные риски (химическое воздействие на почвы и водные источники).

Основные типы неорганических вяжущих

В дорожном строительстве применяются различные неорганические вяжущие материалы, которые можно классифицировать:

Цементы: портландцемент, шлакопортландцемент и другие виды, обеспечивающие быстрое затвердение и образование твердой, связанной, непроницаемой прослойки. Цемент наиболее эффективен для мелкозернистых и песчаных грунтов с показателем пластичности менее 20.

Известь: включает гидратированную высококальциевую известь, моногидратированную доломитовую известь, кальцитовую негашеную известь, доломитовую негашеную известь и известковую пыль. Особенно эффективна для обработки мелкозернистых грунтов с показателем пластичности 20 и более.

Зола-унос: минеральные остатки от сжигания измельченного топлива (обычно угля), которые при смешивании с известью и водой создают пуццолановую реакцию и обладают цементирующими свойствами.

Промышленные отходы: нефелиновые шламы, металлургические шлаки и другие побочные продукты промышленности, которые могут использоваться в качестве добавок или частичных заменителей традиционных вяжущих.

Экологические аспекты стабилизации неорганическими вяжущими информационные и цифровые функции.

Использование неорганических вяжущих для стабилизации дорожных оснований оказывает многогранное положительное воздействие на окружающую среду***:***

Сокращение транспортных перевозок: Применение местных грунтов исключает необходимость дальних перевозок каменных материалов автомобильным и железнодорожным транспортом. Это приводит к существенному снижению выбросов парниковых газов и потребления топлива. *Утилизация промышленных отходов*: Технология позволяет эффективно использовать различные промышленные отходы, такие как нефтешламы, золы-уноса, металлургические шлаки. Вовлечение таких отходов в дорожное строительство решает проблему их складирования и предотвращает загрязнение окружающей среды.

Сокращение использования природных ресурсов: За счет применения местных материалов и отходов уменьшается потребность в добыче природного камня и других нерудных материалов, что сохраняет природные ландшафты и снижает энергозатраты на добычу и переработку.

Повышение долговечности дорожных конструкций: Укрепленные грунты образуют более прочные и долговечные основания, что сокращает частоту ремонтов и связанное с ними потребление ресурсов. Стабилизированное основание лучше распределяет нагрузку, улучшая ровность покрытий по сравнению с щебеночным или гравийным основанием.

Улучшение гидрологических характеристик: Слои из укрепленных грунтов значительно уменьшает проникновение воды в земляное полотно, что стабилизирует влажность верхней части земляного полотна и повышает устойчивость дорожной конструкции к замораживанию-оттаиванию.

Потенциальные экологические риски и меры их смягчения

Несмотря на значительные преимущества, применение неорганических вяжущих связано с определенными экологическими рисками:

Выбросы CO_2 при производстве вяжущих: Производство цемента и извести сопровождается значительными выбросами углекислого газа. Для производства одной тонны цемента выделяется примерно 0,9 тонны CO_2. Снижение этого воздействия возможно за счет частичной замены цемента промышленными отходами с пуццолановыми свойствами.

Потенциальное загрязнение почв и грунтовых вод: Некоторые виды вяжущих могут изменять pH окружающей среды (например, известь создает щелочную среду) и способствовать миграции химических элементов в почвенные воды. Необходим тщательный контроль состава применяемых материалов и мониторинг состояния окружающей среды в зоне строительства.

Использование промышленных отходов: Применение таких материалов, как нефтешламы, золы-уноса, требует тщательной оценки их экологической безопасности, включая радиологический контроль. Содержание потенциально опасных компонентов не должно превышать установленных нормативов.

Повышенная жесткость оснований: Слишком большое количество цемента в смеси делает основание чрезмерно жестким и недостаточно эластичным. Такой слой становится хрупким и склонным к образованию трещин. Эти трещины со временем передаются на верхние слои асфальта, приводя к его разрушению. В результате дорогу приходится ремонтировать чаще, что ведет к дополнительным затратам материалов и финансов.

Таблица 1 – Сравнительный анализ экологического воздействия основных неорганических вяжущих

Тип вяжущего	Основные экологические преимущества	Потенциальные экологические риски	Меры снижения воздействия
Цемент	Высокая прочность, долговечность, снижение частоты ремонтов	Высокие выбросы CO_2 при производстве, возможное пылеобразование	Частичная замена промышленными отходами, использование местных материалов
Известь	Эффективность для глинистых грунтов, доступность	Изменение pH окружающей среды, пылеобразование при применении	Контроль дозировки, комбинирование с другими вяжущими
Зола-унос	Утилизация отходов энергетики, пуццолановые свойства	Возможное содержание тяжелых металлов, пылеобразование	Радиологический и химический контроль, оптимальное дозирование
Нефелиновые шламы	Утилизация отходов, экономия цемента	Щелочная реакция, потенциальное воздействие на почвы	Геоэкологический мониторинг, оптимизация состава смесей

Оптимизация составов и технологий

Снижение негативного воздействия стабилизации неорганическими вяжущими на окружающую среду возможно за счет:

Разработки композиционных вяжущих: Создание многокомпонентных систем, в которых традиционные вяжущие частично заменяются промышленными отходами с пуццолановой активностью. Исследования показывают возможность использования нефтешламов в композиции с цементом для устройства оснований дорожных одежд. Это позволяет не только экономить цемент, но и решать проблему утилизации отходов.

Совершенствования методов проектирования: Применение математического планирования эксперимента для оптимизации составов стабилизированных смесей с целью минимизации расхода вяжущих при обеспечении требуемых физико-механических характеристик.

Использования золы-уноса: Замена части цемента золой-уноса позволяет снизить углеродный след строительства. Этот подход особенно эффективен для грунтов с показателем пластичности менее 20 и низким содержанием органических веществ.

Нормативное и методическое обеспечение

Для минимизации экологических рисков необходимо:

Разработка экологических стандартов: Создание системы нормативных требований к составам стабилизированных материалов с точки зрения их воздействия на окружающую среду.

Внедрение методологии оценки жизненного цикла: Комплексная оценка экологического воздействия стабилизированных дорожных конструкций на всех этапах - от производства материалов до утилизации.

Создание системы экологического мониторинга: Регулярный контроль состояния окружающей среды в районе применения стабилизированных материалов.

Выводы

Стабилизация оснований дорожных одежд неорганическими вяжущими материалами представляет собой эффективное направление в дорожном строительстве, обладающее значительным потенциалом для снижения экологической нагрузки. Ключевые преимущества включают сокращение транспортных перевозок, утилизацию промышленных отходов, сохранение природных ресурсов и повышение долговечности дорожных конструкций.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой новых экологически безопасных составов композиционных вяжущих, совершенствованием методов оценки экологического воздействия и созданием нормативной базы, регламентирующей применение стабилизации с позиций устойчивого развития. В данной статье изучалась эффективность активной светящейся разметки полос движения на автомагистралях в ночное время.

Литература:

1. Интернет-ресурс: https://piterenergomash.ru/images/pdf/PEM_dorogi.pdf
2. Интернет-ресурс: https://naukovedenie.ru/PDF/44TVN614.pdf
3. Интернет-ресурс: https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-stabilizatsii-grunta-pri-stroitelstve-avtomobilnyh-dorog/viewer

УДК 625.878.06 (625.765)

Физико-механические характеристики органоминеральных смесей на основе асфальтогранулята

***Пташиц Егор Олегович**, выпускник, **Лапно Андрей Игоревич**,*
студент 5 курса кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Реут Ж.В., старший преподаватель
кафедры «Автомобильные дороги»

В настоящее время существует острая проблема в улучшении качества использования такого вторичного отхода от ремонта асфальтобетонных покрытий, как асфальтогранулят. Область применения его значительна – от укладки в основания дорожных одежд до использования при приготовлении ремонтных смесей.

Использование асфальтогранулята в составе новых дорожно-строительных материалов позволяет не только сократить потребление каменных материалов и битума, но и уменьшить объемы отходов, направляемых на полигоны.

В работе необходимо было улучшить асфальтогранулят, полученный от фрезерования покрытий дорог в Логойском районе Минской области путем введения портландцемента и битумной эмульсии.

Были запроектированы два состава органоминеральных смесей для проведения дальнейших испытаний (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Составы органоминеральных смесей

№ п/п	Наименование материала	Состав смеси №1 (эмульсия и вода сверх 100%)	Состав смеси №2 (эмульсия и вода в 100%)
1	Асфальтогранулят	75	70,6
2	Щебень фр. 5-20мм	21,8	20,5
3	Портландцемент М400	3,2	3,0
4	Битумная эмульсия ЭБКД-М-60	3,0	3,0
5	Вода	3	2,8

Для контрольных испытаний запроектированных органоминеральных смесей изготовили серию цилиндрических образцов диаметром 71,4 ± 0,6 мм и высотой 71,4 мм в соответствии с СТБ 1115. Физико-механические характеристики этих смесей должны соответствовать ГОСТ 30491-97 по следующим параметрам: водонасыщение, набухание и предел прочности при

сжатии при температуре 20°С и 50°С (рисунок 1), испытанные через 28 сут после изготовления.

Результаты испытаний физико-механических свойств, выполненных согласно СТБ 1115, приводим в таблице 2.



Рисунок 1 – Испытание образцов на сжатие при температуре 50 °С

Таблица 2 – Физико-механические характеристики органоминеральных смесей

Наименование показателя	Требования ГОСТ 30491	Фактические показатели	
		состава №1	состава №2
1	2	3	4
Средняя плотность, г/см3	не нормируется	2,28	2,38
Водонасыщение, % по объему	не более 10	3,025	3,034
Набухание, % по объему	не более 2,0	0,744	1,278
Предел прочности при сжатии, МПа:			
при температуре: 20 °С	не менее 1,4	3,138	3,303
при температуре: 50 °С	не менее 0,50	1,536	2,055

Таким образом, образцы подобранных составов органоминеральных смесей соответствуют требованиям ГОСТ 30491 и могут в дальнейшем рассматриваться для устройства в слоях дорожной одежды.

Проектирование конструкции дорожной одежды с использованием разработанной органоминеральной смеси, включая обоснование ее места в слоях покрытия или основания, было выполнено при помощи программной системы ТИМ КРЕДО РАДОН для следующих условий: категория дороги IV; количество полос движения – 2; капитальный тип конструкции дорожной одежды; срок службы покрытия – 15 лет, коэффициент надежности Кн - 0.90.

Рассчитанная конструкция дорожной одежды (рисунок 2) может быть использована для устройства на дорогах местного значения, что позволит сэкономить новые материалы и утилизировать вторичные ресурсы.

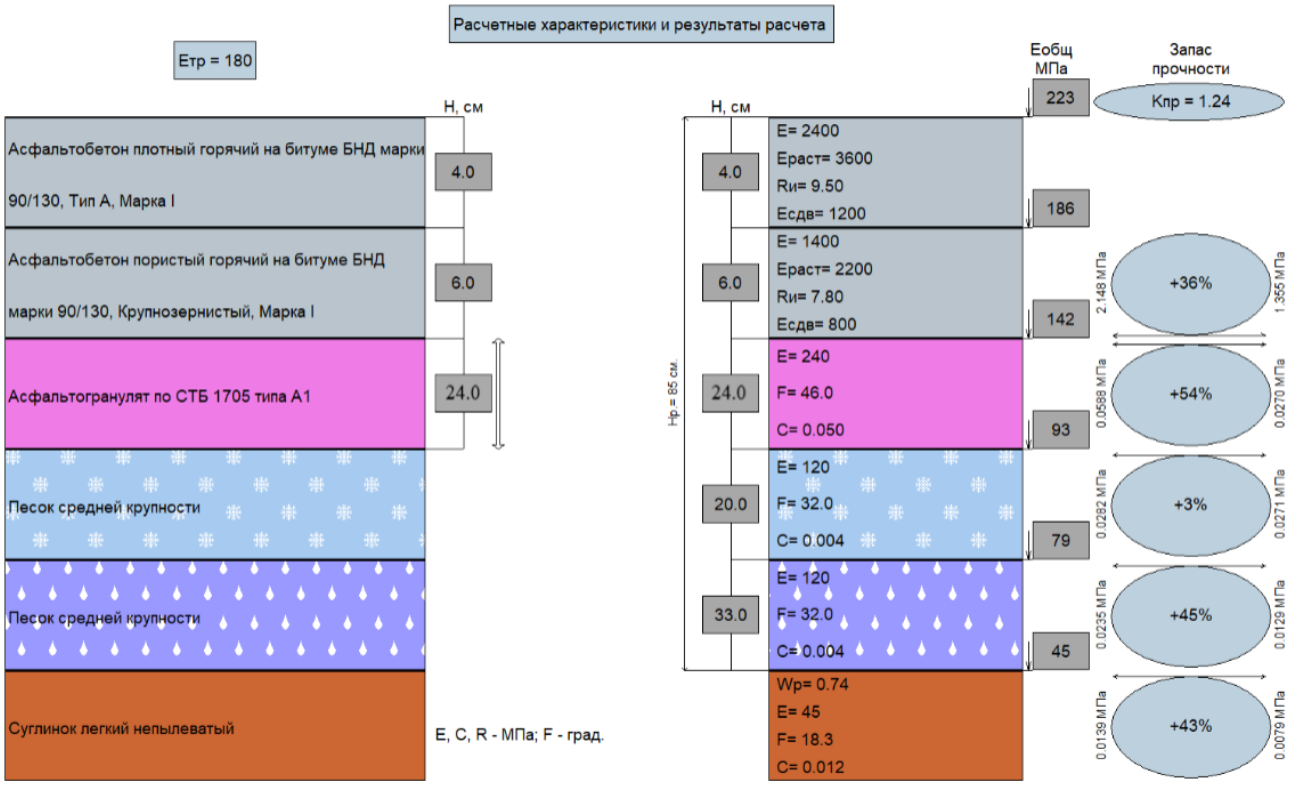


Рисунок 2 – Расчет конструкции дорожной одежды с основанием из органоминеральной смеси

УДК 625.7

Образование колеи износа на цементобетонных дорогах

***Радкевич Антон Михайлович**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Введение в эксплуатацию бетонных дорог связано с их высокой несущей способностью и долговечностью. Однако, как показывает практика, на таких покрытиях под воздействием интенсивного движения формируется специфический дефект – колея износа. Данное явление представляет собой локальные продольные углубления в зоне следования колес, снижающие безопасность движения и комфорт. Целью работы является анализ причин образования и механизма развития колеи износа на цементобетонных покрытиях.

Основной причиной образования колеи является абразивный износ поверхности бетона шипами противоскольжения и частицами абразива (песком, щебнем), зажатыми между шиной и покрытием. Процесс носит циклический характер и усугубляется в период межсезонья. Интенсивность износа напрямую зависит от твердости заполнителя и прочности цементного камня. Исследования показывают, что при недостаточной износостойкости верхнего слоя бетона скорость формирования колеи может достигать 1-2 мм в год на полосах наката грузового транспорта. Ключевыми факторами, влияющими на скорость процесса, являются: интенсивность и состав движения, климатические условия, качество применяемых материалов и технологии строительства.

Для повышения износостойкости бетонных покрытий и борьбы с колееобразованием предлагается комплекс мер. На стадии проектирования – применение бетонов с повышенной маркой по прочности на сжатие и изгиб, а также использование высокотвердых износостойких заполнителей (например, из гранита или габбро). На стадии строительства – обеспечение качественного уплотнения и ухода за бетоном, формирование требуемой текстуры поверхности. В процессе эксплуатации – своевременная очистка покрытия от абразивных материалов и регламентированное применение противогололедных средств. Внедрение таких решений позволит существенно продлить межремонтные сроки службы бетонных дорог и повысить безопасность движения.

УДК 625

Пьезоэлектрики как инновационные технологии в дорожном строительстве

***Сазанчук Эмилия Павловна**, студент 2 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет. г.Минск.
Научный руководитель – Бабаскин Ю.Г., канд. техн. наук, доцент, профессор
кафедры «Автомобильные дороги»

Дорожные сети потребляют большое количество энергии не только для строительства и обслуживания, но и для питания вспомогательных систем, таких как светофоры, датчики и освещение. По глобальным оценкам, на транспортную инфраструктуру в развитых странах приходится примерно 20-25% общего энергопотребления. Сами дороги вносят значительный вклад в выбросы углерода: выхлопы автомобилей и производство асфальта и бетона. Влияние на окружающую среду: строительство дорог ежегодно высвобождает парниковые газы, приравненные миллионам тонн CO_2, влияя на изменение климата. Кроме того, удаленные или сельские дороги часто не имеют доступа к электросетям, что вынуждает использовать дизельные генераторы, загрязняющие воздух и почву. Эти проблемы усугубляются учащением экстремальных погодных явлений, которые ускоряют износ дорог и требуют ремонта. Пьезоэлектрическая технология предлагает прямое решение, уменьшая кинетическую энергию транспортного потока, что потенциально может компенсировать эти энергозатраты и снизить углеродный след дорожной инфраструктуры.

Согласно исследованиям М.П. Вопаровича и Э.П. Пархоменко, ключевые минералы с пьезосвойствами включают: кварц (SiO_2), турмалин, сегнетова соль ($KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$), барит ($BaTiO_3$). [1] Пьезоэлектрическим эффектом называется – механическая деформация, благодаря которой генерируется электрический заряд. При дорожном строительстве эти материалы интегрируются в слои дорожного полотна, обычно под поверхностью или внутри бетонных плит. Когда автомобили проезжают по дороге, их вес и вибрации сжимают пьезоэлементы, генерируя электричество, которое можно накапливать или подавать напрямую в сеть. Этот процесс пассивен и может быть масштабирован, не требуя посторонних деталей, кроме естественного движения транспорта. Например, одна пьезоэлектрическая плитка под полосой оживленной трассы может производить достаточно энергии для освещения улиц или зарядных станций для электромобилей. Интеграция датчиков и «умных»

сетей также позволяет таким дорогам отслеживать структурную целостность, предупреждая службы о трещинах или износе до того, как они станут опасными.

Внедрение пьезоэлектриков в дороги напрямую решает обозначенные проблемы, создавая самодостаточную инфраструктуру. Энергия, собираемая от транспорта, может питать придорожные устройства, снижая потребность в ископаемом топливе и расходы в районах с интенсивным движением. С экологической точки зрения, эта технология снижает выбросы, уменьшая зависимость от невозобновляемых источников энергии для обслуживания и освещения. В некоторых областях, где доступ к сетям ограничен, пьезоэлектрические элементы, внедрённые в дороги, могли бы обеспечить электричеством удаленные места, способствуя экономическому росту без дополнительной нагрузки на природу. Более того, долговечность пьезоэлектрических элементов увеличивает срок службы дорог, так как они выдерживают большие нагрузки, одновременно принося доход от продажи выработанной энергии.

Изображение (рис. 1) иллюстрирует принцип работы пьезоэлемента, что происходит с ним в неактивном состоянии и при механическом воздействии в виде изгиба. В исходном состоянии, когда пьезоэлемент находится в покое, его конструкция неподвижна, и отключения заряда на его поверхности не возникает. В таком состоянии материал не содержит никакого напряжения, так как отсутствует внешнее механическое воздействие.

Когда пьезоэлемент перемещается по изгибу, происходит перемещение внутренних ионных и электронных зарядов в материале за счёт деформированной кристаллической решётки. При изгибе вверх на верхней стороне пьезоэлемента накапливаются положительные заряды, а на нижней – отрицательные. Это создает разность потенциалов между поверхностями, и элемент начинает ограничивать электрическое напряжение. Такая электрическая энергия возникает именно из-за механического напряжения, которое воздействует на материал, благодаря уникальному свойству пьезоэлектрического эффекта.

Если же изогнуть в противоположную сторону – то есть согнуть пьезоэлемент вниз – масса зарядов инвертируется. Теперь положительные заряды устройства на нижней стороне, отрицательные – на верхней, что меняет полярность выходного сигнала. Таким образом, пьезоэлемент может преобразовывать механическую переменную направленность электрической энергии, что и является его применением в различных инновационных технологиях, включая современное дорожное строительство. Такой механизм позволяет использовать давление и вибрацию, возникающие при движении

транспорта, для выработки электроэнергии прямо на дорогах, тем самым увеличивая функциональность и энергоэффективность [2].

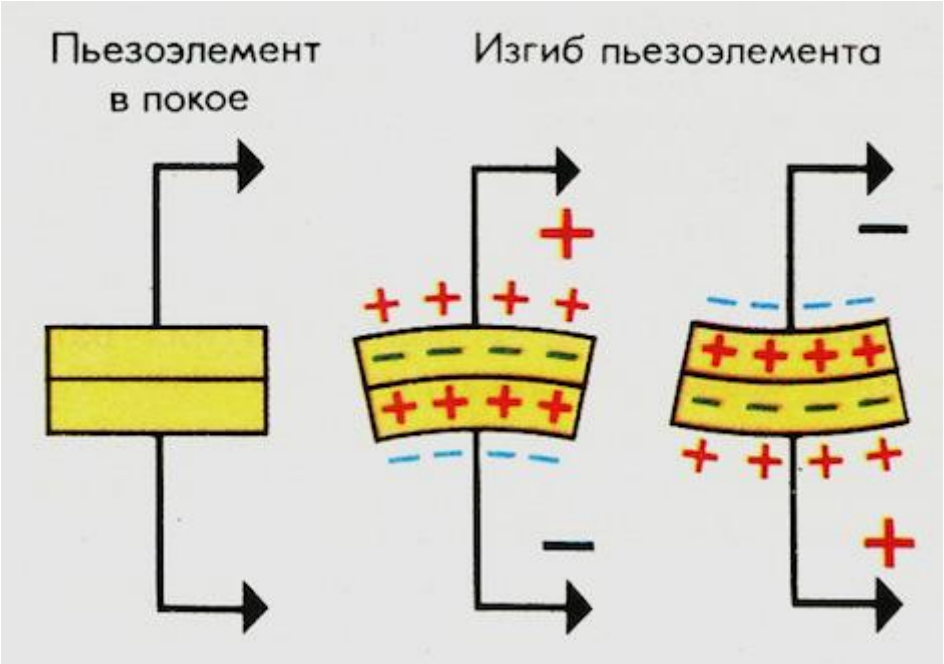


Рисунок 1 – Принцип работы пьезоэлемента

Пьезоэлементы внедрённые в дороги помогают решать важные проблемы: они сокращают расходы на электроэнергию и уменьшают загрязнение окружающей среды. Кроме того, они делают дороги более прочными и умными. В конечном счете, пьезоэлектрические дороги служат примером того, как инновационные материалы могут превращать пассивные системы в активных участников зеленого будущего, гарантируя, что пути, по которым мы путешествуем, также питают наш прогресс.

Литература:

1. Пьезоэлектрический эффект, пьезоэлектрические материалы и их свойства.Инженерные решения. 2014.
2. Негров Д.А., Еремин Е.Н. и др. Ультрозвуковые колебательные системы для синтеза полимерных композитных материалов. 2012.

УДК 625

Лизинг в дорожной отрасли

***Старовойтов Александр Витальевич**, студент 3 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Шохалевич Т.М, старший преподаватель
кафедры «Автомобильные дороги»

Лизинг в дорожностроительной сфере — это форма долгосрочной аренды специализированной техники, при которой строительная организация получает машины, оборудование или транспорт для выполнения своих работ с правом последующего выкупа или возврата. По сути, это финансовый инструмент, позволяющий подрядчикам использовать дорогостоящие активы без необходимости сразу оплачивать их полную стоимость. Лизинговая компания приобретает технику у поставщика и передаёт её строительной фирме во временное пользование за ежемесячные платежи (Рис. 1).



Рисунок 1 – Дорожно-строительная техника

В дорожностроительной отрасли применяются разные виды лизинга. Наиболее распространённый — финансовый лизинг, при котором техника берётся на длительный срок, а по завершении договора становится собственностью лизингополучателя. Он используется для приобретения основной техники — асфальтоукладчиков, катков, самосвалов, экскаваторов и грейдеров. Оперативный лизинг ближе к аренде: техника берётся на сезон или на время выполнения конкретного контракта и возвращается лизингодателю без

выкупа. Такой вариант выгоден компаниям, выполняющим краткосрочные дорожные проекты. Существует также возвратный лизинг — форма, когда организация продаёт свою технику лизинговой компании и тут же берёт её обратно в лизинг, получая при этом оборотные средства для участия в новых тендерах или закупок материалов.

Актуальность лизинга в дорожностроительной сфере сегодня крайне высока и продолжает расти, поскольку он стал одним из ключевых инструментов обновления и развития материально-технической базы предприятий. Дорожное строительство требует применения сложной, дорогостоящей техники - для большинства подрядчиков покупка такого оборудования за собственные средства невозможна без серьёзного ущерба для оборотного капитала.

Ключевой особенностью дорожных работ является выраженная сезонность: основная часть выручки приходится на весенне-летний период, тогда как зимой техника часто простаивает. Лизинговые компании учитывают эту специфику и предлагают гибкие графики платежей, что делает использование техники более удобным и экономически оправданным (Рис. 2).



Рисунок 2 – Простой дорожно-строительной техники в зимний период

Кроме того, дорожные подрядчики активно участвуют в государственных тендерах, где наличие собственной или арендованной техники — обязательное условие допуска. Лизинг позволяет быстро обеспечить предприятие необходимыми машинами, что повышает конкурентоспособность на рынке госзаказов.

В дорожном строительстве широко используется возвратный лизинг, когда компания продаёт имеющуюся технику лизинговой компании и сразу берёт её обратно в пользование. Такой механизм позволяет освободить оборотные

средства для новых проектов, одновременно сохранив доступ к необходимому оборудованию.

В дорожностроительной отрасли лизинговые платежи играют ключевую роль в оптимизации финансовых потоков и налоговой нагрузки компании. Ежемесячные выплаты по лизингу включаются в бухгалтерские расходы, что позволяет уменьшить налогооблагаемую прибыль и, соответственно, снизить налог на прибыль. Налоговый эффект усиливается благодаря возможности ускоренной амортизации. В обычной покупке дорожной техники стоимость списывается постепенно в течение нескольких лет, что отсрочивает налоговую экономию. В лизинговом договоре применяют коэффициент ускорения амортизации, позволяющий списывать стоимость оборудования быстрее.

Кроме того, НДС, включённый в лизинговый платёж, частично подлежит вычету. При покупке техники за собственные средства НДС оплачивается сразу целиком, а при лизинге налог распределяется по платежам и возмещается постепенно, что облегчает финансовую нагрузку на компанию.

Литература:

1. ГАЗПРОМБАНК Лизинг: расчетный комплекс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: gpbl.ru – Дата доступа : 05.10.2025.
2. Амортизация лизингового имущества в налоговом учете: расчетный комплекс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: expomobility.com – Дата доступа : 05.10.2025.

УДК 625

Механическая обработка каменных материалов для улучшения их свойств

***Старовойтов Александр Витальевич**, студент 3 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Чистова Т.А., канд. техн. наук, доцент
кафедры «Автомобильные дороги»

Механическая обработка каменных материалов представляет собой совокупность технологических процессов, направленных на изменение формы, размеров, структуры и поверхности минеральных зерен с целью улучшения их эксплуатационных и физико-механических характеристик. Суть этих процессов заключается не только в измельчении или сортировке материала, но и в целенаправленном воздействии на его микроструктуру, что позволяет повысить адгезию с битумом и обеспечить более плотное и прочное соединение в составе дорожного покрытия.

К основным видам механической обработки относят дробление, шлифование, истирание, а также механическую активацию. Дробление является наиболее распространённым способом подготовки минеральных материалов. В процессе работы дробильных установок происходит разрушение крупных кусков породы до требуемых фракций, при этом частицы приобретают угловатую форму и шероховатую поверхность. Это положительно сказывается на сцеплении с вяжущими веществами, так как увеличивается площадь контакта между щебнем и битумом (Рис. 1).



Рисунок 1 – Процесс дробления

Шлифование и истирание направлены на удаление слабых участков и загрязнений с поверхности зерен. Такие методы позволяют очистить каменные материалы от пылевых и глинистых включений, которые ухудшают прочность сцепления.

Особое значение в последние годы приобретает механическая активация, при которой на минеральные зерна воздействуют интенсивными ударными и сдвиговыми нагрузками. В результате на поверхности и внутри частиц формируются микротрещины и дефекты кристаллической решётки, что делает материал более реакционноспособным. Активированная поверхность лучше связывается с битумом и способствует формированию прочного контактного слоя.

Влияние механической обработки на адгезию каменных материалов с битумом объясняется не только изменением формы и шероховатости поверхности, но и более глубокими процессами, происходящими на уровне физико-химического взаимодействия между минеральными частицами и органическим вяжущим. В процессе дробления и особенно при механической активации происходит разрушение кристаллической решётки минералов, образование микротрещин и увеличение доли активных центров — несбалансированных атомов и ионов, расположенных на поверхности. Эти дефекты создают зоны повышенной поверхностной энергии, что делает материал термодинамически «жадным» до взаимодействия с другими веществами. При контакте с битумом такие активные участки легко вступают в адсорбционные и, в отдельных случаях, слабые химические взаимодействия с полярными компонентами вяжущего.

Битум, несмотря на органическую природу, содержит множество полярных соединений — смол, асфальтенов, кислород- и серосодержащих функциональных групп. При контакте с активированной поверхностью каменного материала между ними возникают силы молекулярного притяжения, главным образом электростатического характера. На границе раздела «минерал–битум» формируется тонкий переходный слой, где происходит перераспределение зарядов: отрицательно заряженные участки минеральной поверхности притягивают положительно поляризованные молекулы битума и наоборот. Благодаря этому устанавливается устойчивая адсорбционная связь, которая существенно повышает сцепление между компонентами.

Кроме того, механическая обработка усиливает микрорельеф поверхности, создавая благоприятные условия для механического зацепления битума за микронеровности зерна. В совокупности физико-механические и физико-химические факторы обеспечивают прочное и долговечное соединение. Следует

отметить, что минералы с преобладанием кремнезёма, кальция или алюминия проявляют разную активность по отношению к битуму, и именно механическая активация позволяет нивелировать эти различия, повышая общую адгезионную способность материала.

Механическая обработка каменных материалов оказывает заметное влияние на технологические параметры приготовления асфальтобетонных смесей, в том числе на потребность в поверхностно-активных веществах (ПАВ), а также на продолжительность и температурный режим смешения на асфальтобетонных заводах. В основе этих изменений лежит улучшение физико-химических свойств поверхности минеральных зерен, которые после обработки становятся более восприимчивыми к взаимодействию с битумом (Рис. 2).



Рисунок 2 – Приготовление асфальтобетонной смеси

В необработанном состоянии поверхность многих каменных материалов покрыта пылевыми, глинистыми или карбонатными плёнками, которые препятствуют равномерному распределению битума и ухудшают сцепление. Чтобы компенсировать это, производители часто добавляют ПАВ — вещества, способствующие смачиванию и адгезии между минеральным и органическим компонентами. Однако после механической активации необходимость в таких добавках снижается. Поверхность обработанных зерен становится более чистой и энергетически активной, что повышает естественную адгезию к битуму и позволяет сократить дозировку ПАВ без потери качества. В некоторых случаях расход модифицирующих добавок может уменьшаться на 20–30 %, особенно при использовании щебня с высоким содержанием кремнезёма или карбонатов.

Кроме того, повышенная шероховатость и микро пористость обработанного щебня способствуют быстрому и равномерному смачиванию битумом, что сокращает время смешения. При традиционной технологии для достижения однородности смеси требуется длительное перемешивание, чтобы битум успел распределиться по поверхности зерен и проникнуть в их микропоры. Активированный материал, напротив, связывается с вяжущим практически сразу, что позволяет уменьшить продолжительность цикла без ухудшения структуры смеси.

Температурный режим также может быть оптимизирован. Так как активированная поверхность лучше удерживает битум, процесс обволакивания зерен становится менее зависимым от температуры. Это означает, что смесь можно готовить при несколько более низких температурах, что экономит топливо и снижает термическое старение битума. На практике снижение температуры смешения на 10–15 °C не приводит к ухудшению технологических показателей, если применяются механически активированные материалы.

Литература:

1. Головин С. В., Каширин А. А. Механическая обработка минеральных материалов в дорожном строительстве // Вестник транспортного строительства. – 2021. – № 3. – С. 45–52.
2. Мельников Н. П., Федосеев И. И. Технология приготовления асфальтобетонных смесей. – Минск: Академия дорожного хозяйства, 2020. – 180 с.
3. Сидоров П. Ю., Ермаков В. Л. Повышение адгезии битума к щебню при механической активации поверхности // Дороги и мосты. – 2022. – № 4. – С. 27–34.
4. Технологическое оборудование для дробления и активации минеральных материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://titan-machinery.com – Дата доступа: 26.10.2025.
5. Влияние механической обработки на свойства асфальтобетонных смесей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net – Дата доступа: 26.10.2025.

УДК 625

Использование современных технологий для повышения экологической безопасности асфальтобетонных заводов

***Старовойтов Александр Витальевич**, студент 3 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Козловская Л.В., старший преподаватель
кафедры «Автомобильные дороги»

Асфальтобетонные заводы, являясь важным звеном дорожного строительства, одновременно представляют собой один из источников техногенного воздействия на окружающую среду. Их основная экологическая нагрузка связана с процессами нагрева, сушки и смешивания минеральных материалов с битумом, которые сопровождаются образованием пыли, газовых выбросов и запахов. В атмосфере вблизи таких предприятий можно обнаружить целый спектр загрязняющих веществ, среди которых преобладают твердые частицы, оксиды азота, угарный газ, углекислый газ, сернистые соединения и летучие органические вещества, возникающие при испарении битума (Рис. 1).



Рисунок 1 – Выбросы АБЗ

Одной из наиболее заметных проблем является пылевое загрязнение. Оно возникает при транспортировке, сушке и сортировке инертных материалов — щебня, песка, минерального порошка. Мельчайшие частицы пыли легко поднимаются в воздух и могут распространяться на значительные расстояния,

оседая на почве, растительности и строительных объектах. Пыль не только ухудшает санитарное состояние территории, но и оказывает вредное воздействие на органы дыхания людей, работающих на заводе или проживающих поблизости.

Не менее серьезной угрозой являются газовые выбросы, возникающие в процессе горения топлива в сушильных барабанах и при нагреве битума. В атмосферу выделяются оксиды азота и углерода, диоксид серы, а также пары углеводородов. Эти соединения способствуют образованию смога, кислотных дождей и парникового эффекта. Кроме того, при термическом разложении битума и органических добавок образуются летучие органические соединения (ЛОС), многие из которых токсичны и обладают канцерогенными свойствами.

Отдельного внимания заслуживают запахи, возникающие из-за испарения битума. Несмотря на то что концентрация этих веществ может быть сравнительно небольшой, их присутствие ощущается даже на значительном расстоянии и вызывает дискомфорт у населения. Помимо воздуха, деятельность АБЗ может негативно влиять и на другие компоненты окружающей среды. При неправильной организации производства возможны загрязнение почвы и сточных вод нефтепродуктами, остатками битума и пылью. Также повышенный уровень шума и вибрации от работающего оборудования ухудшают санитарные условия на территории завода.

Современные асфальтобетонные заводы постепенно переходят на новые технологические решения, направленные на снижение вредного воздействия на окружающую среду и повышение экологической безопасности производства. Эти меры охватывают практически все этапы технологического процесса — от подготовки сырья до утилизации отходов. Основная цель таких преобразований заключается в уменьшении объёмов выбросов загрязняющих веществ, экономии энергии и ресурсов, а также в более рациональном обращении с материалами.

Большое внимание уделяется снижению выбросов паров битума и летучих органических соединений. Для этого применяются закрытые системы хранения и подачи битума, оснащённые улавливателями паров и герметичными крышками резервуаров. В местах загрузки и выгрузки материалов устанавливаются аспирационные системы, предотвращающие распространение запахов и паров за пределы производственной площадки.

Не менее важной мерой является переход на более экологичные виды топлива и оптимизация тепловых процессов. Вместо традиционного мазута всё чаще используется природный газ, который сгорает чище и выделяет меньше сажи, серы и углекислого газа. Кроме того, внедряются системы рекуперации тепла — специальные теплообменники, позволяющие использовать энергию горячих дымовых газов для предварительного нагрева воздуха или инертных

материалов. Это не только снижает энергозатраты, но и уменьшает общий объём выбросов в атмосферу.

Одним из наиболее распространённых направлений является установка эффективных систем очистки выбросов. На современных заводах пыль, образующаяся при сушке и транспортировке минеральных материалов, улавливается многоступенчатыми фильтрационными установками. Наиболее широко применяются рукавные фильтры, которые способны задерживать до 99,9% твердых частиц. Они позволяют практически полностью исключить выбросы пыли в атмосферу, возвращая уловленные частицы обратно в производство в качестве минерального порошка. В дополнение к этому используются циклоны и скрубберы, обеспечивающие предварительную очистку воздуха от крупных частиц и газовых примесей (Рис. 2).



Рисунок 2 – Современная система фильтрации

В последние годы широкое распространение получили технологии «тёплых» и «холодных» асфальтобетонных смесей. Производство тёплого асфальта (Warm Mix Asphalt) осуществляется при температурах, на 20–40 °C ниже традиционных, что позволяет сократить расход топлива и снизить выбросы углекислого газа и паров битума. Холодные смеси, в свою очередь, изготавливаются без нагрева компонентов, что делает их особенно экологичными, хотя и применимыми в основном для ремонта дорог и временных покрытий.

Особое значение имеет повторное использование старого асфальта — рециклинг. Технологии добавления регенерированного асфальтового покрытия (RAP) позволяют перерабатывать до 50% старого материала, сокращая

потребность в природных ресурсах и уменьшая количество отходов. Использование вторичных материалов, таких как резиновая крошка, стеклобой или переработанный пластик, также становится важным элементом экологизации производства.

Наконец, значительный вклад в повышение экологической безопасности вносит цифровизация и автоматизация процессов. Современные системы управления обеспечивают точный контроль температуры, дозирования компонентов и работы фильтров, что снижает вероятность аварийных выбросов и перерасхода сырья. На некоторых заводах внедряются системы онлайн-мониторинга выбросов, позволяющие в режиме реального времени отслеживать качество воздуха и реагировать на превышения нормативов (Рис. 3).



Рисунок 3 – Автоматизированная система управления АБЗ

В совокупности эти меры формируют комплексную систему экологической модернизации асфальтобетонных заводов. Их внедрение не только снижает негативное воздействие на окружающую среду, но и повышает экономическую эффективность предприятий, так как уменьшение потерь, энергозатрат и штрафов за загрязнение напрямую способствует росту конкурентоспособности производства.

Литература:

1. GHG EMISSIONS INVENTORY FOR ASPHALT MIX PRODUCTION : расчетный комплекс [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://surl.li/nbjtlw – Дата доступа : 10.10.2025.
2. Eapa.org : расчетный комплекс [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://eapa.org/warm-mix-asphalt/ – Дата доступа : 10.10.2025.

УДК 625

Экономические основы проектирования автомобильных дорог

***Толмачевец Полина Игоревна**, студент 3 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Шохалевич Т.М., старший преподаватель
кафедры «Автомобильные дороги»

Проектирование автомобильных дорог — это сложный процесс, где экономические факторы играют ключевую роль. Для успешной реализации и дальнейшей эксплуатации проекта необходимо обосновать его экономическую целесообразность (Рис. 1).



Рисунок 1 – Проектирование автомобильных дорог

Дорожное хозяйство является ключевым элементом экономики страны, обеспечивая безопасное и непрерывное движение автомобилей. Состояние транспортной инфраструктуры непосредственно влияет на функционирование

автомобильного транспорта. Эффективность строительства, реконструкции и ремонта дорожной сети во многом определяется правильным выбором оптимальных проектных решений и организационно-технологических подходов.

Задачи проектирования: улучшение транспортной доступности, обеспечение надежного сообщения между различными территориями, сокращение транспортных издержек, оптимизация маршрутов для уменьшения времени в пути и связанных с этим затрат, повышение безопасности движения, снижение аварийности на дорогах.

Но самое важное с чего нужно начинать проектирование автомобильной дороги - оценка стоимости проекта, которая будет предусматривать: капитальные вложения, расходы на строительные работы, материалы, технику и оплату труда, эксплуатационные расходы, затраты на содержание дороги, включая ремонт и регулярное обслуживание, социально-экономические последствия, воздействие на окружающую среду и возможные компенсации для местного населения.

Так же нужно обратить внимание на экономическую эффективность, которая будет предусматривать: сравнительный анализ вариантов (оценка различных проектных решений с точки зрения затрат и получаемых выгод), анализ "затраты-выгоды" (CBA) (сопоставление всех расходов с ожидаемыми доходами, такими как увеличение трафика и налоговые поступления), период окупаемости, (время, необходимое для возврата вложенных средств за счет получаемых доходов)

В целом, экономические аспекты проектирования автомобильных дорог имеют определяющее значение для успешной реализации проектов. Тщательный анализ затрат и выгод, выбор оптимальных источников финансирования и оценка влияния на экономику региона способствуют долгосрочной устойчивости и эффективности дорожной инфраструктуры.

Литература:

1. Основы проектирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа rep.bntu.by/bitstream/handle/data/27304/Osnovy_proektirovaniya_avtomobilnyh_dorog.pdf?sequence=1&ysclid=m8rfspzqez158520511 – Дата доступа : 27.03.2025.

УДК 625

Снижение аварийности на автомобильных дорогах путем использования дорожных ограждений

***Трухнов Даниил Игоревич**, студент 2 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Мытько Л.Р., канд. техн. наук, профессор
кафедры «Автомобильные дороги»

Дорожные ограждения имеют большое значение в обеспечении безопасности на дорогах, поскольку они способствуют снижению количества аварий и уменьшения их последствий. Эти конструкции могут быть различных типов, включая тросовые, барьерные, бетонные и металлические. Они предназначены для физической защиты участников дорожного движения и помогают предотвратить выезд транспортных средств за пределы проезжей части (Рис. 1).



Рисунок 1 – Ограждение дорожное

Функции дорожных ограждений: предотвращение съезда транспортных средств с дороги, мостового сооружения, переезда через разделительную полосу, столкновения со встречным транспортом и наезда на массивные препятствия, расположенные на обочине и в полосе отвода; плавное изменение траектории движения транспортного средства после наезда на ограждение, что исключает резкое перестроение других транспортных средств и не создает препятствий на их пути; плавное изменение траектории движения транспортного средства после наезда на ограждение, что исключает резкое перестроение других транспортных средств и не создает препятствий

на их пути; обеспечение минимального замедления транспортного средства, наехавшего на ограждение, и предотвращение опрокидывания машин; поглощение энергии удара при сохранении целостности конструкции ограждения. Это снижает вероятность опрокидывания автомобиля и уменьшает повреждения, которые могут возникнуть при столкновении с ограждением; предотвращение переезда транспортных средств через разделительную полосу; предотвращение наезда автомобилями на массивные препятствия, расположенные на обочине и в полосе отвода.

Наиболее распространенными дорожными ограждениями являются металлические барьерные ограждения, которые изготавливаются из специального металлического профиля и состоят из стоек, балок и консолей. Технические характеристики металлических барьерных ограждений должны соответствовать требованиям ГОСТ 26804–2012 и ГОСТ 33128–2014. С целью увеличения удерживающей способности они могут быть установлены на бордюр, парапет или цоколь мостовых стоек (комбинированные ограждения). Металлические барьерные ограждения подразделяются на группы: односторонние, двусторонние дорожные и односторонние и двусторонние мостовые. Односторонние металлические барьерные ограждения рекомендуется устанавливать на обочинах вдоль дорожного полотна. Они препятствуют съезду транспортных средств. Двусторонние металлические барьерные ограждения рекомендуется устанавливать на дорогах с четырьмя и более полосами движения для предотвращения столкновений с автомобилями встречного транспортного потока (Рис. 2).



Рисунок 2 – Металлическое барьерное дорожное ограждение

Фронтальные дорожные ограждения в соответствии с ГОСТ 33127–2014 по условиям их расположения подразделяются на две группы – дорожные и

мостовые. Каждая группа состоит из подгрупп, которые по принципу погашения энергии удара делятся: - на односторонние, удерживающие автомобили, двигающиеся перед ударом по полосе одного направления движения; - двусторонние, удерживающие автомобили, двигающиеся перед ударом по полосам различного направления движения. Дорожные фронтальные ограждения подразделяют на типы: - телескопические (энергия удара гасится за счет трения при вхождении одних элементов конструкций в другие); - упругопластические (энергия удара гасится за счет упругопластических деформаций собственной конструкции); - конструкции других типов с иными принципами гашения энергии. Фронтальные дорожные ограждения в виде буферов рекомендуется устанавливать перед массивными препятствиями, на которые возможны наезды транспортных средств (торцевые участки парапетов, подпорных стен, начальные участки ограждений в местах разветвления проезжих частей, съездов с дороги, опор путепроводов, размещенных на проезжей части, и т. п.). Фронтальное ограждение рекомендуется применять в качестве концевого элемента, устанавливаемого перед торцевой поверхностью барьерного ограждения, расположенного на обочине или разделительной полосе. Фронтальные дорожные ограждения должны быть окрашены в желтый цвет и иметь вертикальную разметку в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51256–2011. Фронтальные дорожные ограждения должны соответствовать требованиям стандартов или технических условий, согласованных и утвержденных в установленном порядке изготовителем, а также чертежам детализированных конструкций и проектам (Рис. 3).



Рисунок 3 – Фронтальное дорожное ограждение

Статистика влияния дорожных ограждений на безопасность дорожного движения в России: согласно данным ГИБДД, установка дорожных ограждений на магистралях и автодорогах с высоким трафиком позволяет снизить число ДТП, связанных с выездом на встречную полосу или съездом с дороги, на 25-30%; на участках федеральных трасс, где были установлены современные барьерные ограждения, число аварий с выездом на встречную полосу снизилось на 20-25%. Это особенно актуально для регионов с повышенной аварийностью, таких как Московская и Ленинградская области; внедрение ограждений из металла на трассах федерального значения показало снижение тяжести аварий на 30-40%. Ограждения не только предотвращают выезд на встречную полосу, но и смягчают удар при столкновении; в крупных городах, таких как Москва и Санкт-Петербург, установка ограждений на ключевых пешеходных переходах и рядом с образовательными учреждениями позволила снизить число наездов на пешеходов на 15-20%; на участках дорог с высокой аварийностью, таких как М-4 «Дон» и М-7 «Волга», установка ограждений и барьеров привела к снижению средней скорости движения и уменьшению числа ДТП на 10-15.

Литература:

1. Дорожные ограждения – виды, функции, правила монтажа [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://rosdorznakservis.ru/stati/dorozhnye-ograzhdeniya-vidy-naznachenie-pravila-ustanovki/. – Дата доступа : 28.11.2025.
2. Влияние дорожный ограждений на снижение аварийности [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://npo-ross.ru/articles/ograzhdeniya/vliyanie-dorozhnykh-ograzhdeniy-na-snizhenie-avariynosti/. – Дата доступа : 28.11.2025.
3. Отраслевой дорожный методический документ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://rosavtodor.gov.ru/storage/app/media/uploaded-files/240odm-2186017-2015.pdf. – Дата доступа : 29.11.2025.

УДК 625

Армирование земляного полотна

***Цегалко Иосиф Игоревич**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Армирование земляного полотна автомобильной дороги – это укрепление грунта с помощью геоматериалов (геокомпозит, геотекстиль и т.д.), которые повышают долговечность, прочность и устойчивость конструкции.

Технология по армированию довольно проста. Армирующие материалы укладываются на грунт при послойной отсыпке после уплотнения каждого слоя. Укладываемые армирующие материалы закрепляются с помощью анкеров.

Как правило результатом использования армирующих материалов являются: увеличение устойчивости земляного полотна, снижение стоимости ремонта (способствует сохранению тела земляного полотна), улучшение дренажных свойств.

Земляное полотно состоит из нескольких элементов, таких как: верхняя часть, тело земляного полотна и откосы. Все эти элементы армируются различными материалами и технологиями.

Рассмотрим различные армирующие материалы для земляного полотна.

Геотекстиль – тканый, нетканый или вязаный сплошной проницаемый материал, состоящий из синтетических волокон, соединённых в единое полотно. Однако для дорожного строительства нетканый геотекстиль не подходит, т.к. он не предназначен для сдерживания нагрузок, поэтому для армирования применяют либо тканый, либо вязаный, прочность растяжения которых может достигать 2500 кН/м. В основном геотекстиль применяется в теле и верхней части земляного полотна.

Технология устройства армирования геотекстилем земляного полотна автомобильной дороги не является сложной.

Изначально проводится подготовка основания и раскатывание геотекстиля (важно помнить, что складок и неровностей не должно быть). Для обеспечения надёжности, геотекстиль необходимо укладывать с перекрытием в диапазоне от 10 до 15 см. Затем укладывается послойно местный грунт. После засыпки слой уплотняется катками.

Геокомпозит – это многофункциональный геосинтетический материал, использующийся для армирования и обеспечения дренажа, состоящий из комбинации различных материалов, которые совместно повышают характеристики земляного полотна. Так как геокомпозит состоит из нескольких геоматериалов, то и устраиваться он может как на откосах, так и в теле земляного полотна.

Также он не даёт смешиваться слоям дорожной конструкции. Так как в состав геокомпозита входит геотекстильный компонент, то он без проблем пропускает воду и при этом не даёт мелким частицам грунта перемешиваться и забивать дренажную систему.

Основной функцией геокомпозита является повышение несущей способности слабых оснований, что не мало важно при строительстве автомобильной дороги на нестабильных грунтах.

Георешётки – это синтетическое полотно из полимерных лент, скреплённых между собой и составляющих сотовую (ячеистую) структуру. Этот материал предназначен для армирования откосов земляного полотна автомобильной дороги.

Укрепление земляного полотна хоть и не является необходимостью для всех случаев, однако в ситуациях со слабыми основаниями одним из вариантом является армирование различными геоматериалами, что увеличит устойчивость и улучшит дренажные свойства земляного полотна.

Литература:

1. Solomatic.ru Армирование дорог: материалы, устройство, ГОСТы [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://solomatic.ru/stati/armirovanie-dorog-materialy-ustrojstvo-gosty — Дата обращения: 28.11.2025.
2. Репозиторий БНТУ [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://rep.bntu.by — Дата обращения: 03.12.2025.
3. Ю. Г. Бабаскин УП «Строительство земляного полотна автомобильных дорог», Минск 2022.

УДК 625.7/.8

Перспективы развития и новые функции ТИМ КРЕДО в будущих обновлениях

***Швед Олег Александрович*, *Романцов Даниил Дмитриевич*,**
студенты 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Мордас М.С., старший преподаватель кафедры «Автомобильные дороги»

ТИМ КРЕДО активно развивается, и в 2025 году платформа получила ряд значительных обновлений, отражающих её стремление к технологическому лидерству в области информационного моделирования и геоинформационных систем. В 2025 году вышло несколько обновлений с добавлением новых функций:

Вышли крупные изменения сразу в 8 подсистемах ТИМ КРЕДО. Улучшили 3D-модели, ускорили работу с DXF/DWG-файлами. В самом крупном обновлении 2025 года 04.06.25 вышли доработки, относящиеся к новой версии ТИМ КРЕДО 3D СКАН: появился мощный инструмент для обработки облаков точек, полученных разными методами сканирования. Были выполнены доработки и внесены изменения в принципе работы с системами координат, также добавили составную систему координат. Была проведена работа по исправлению различных ошибок. Ещё был улучшен функционал новой конфигурации ТИМ КРЕДО 3D СКАН (Дорожная инфраструктура) и функционал новой конфигурации ТИМ КРЕДО 3D СКАН (Резервуары).

Помимо каких-либо масштабных изменений разработчики ещё работают над интерфейсом стараясь упростить его в использовании или добавляя новые функции.

Исходя из текущих тенденций в геоинформационных системах, BIM, цифровых двойниках и векторизации инфраструктурных систем, можно ожидать в будущих обновлениях, что ТИМ КРЕДО будет двигаться в следующих направлениях:

- усиление автоматизации и ИИ-инструментов;
- интеграция с цифровыми двойниками;
- системы мониторинга, улучшенный BIM, IFC, открытые форматы;
- конфигурации отраслевых сценариев и специализированные модули;
- коллаборация и распределенная работа;
- совместная работа в облаке и серверных средах;

- интеграция с ГИС, картографическими сервисами;
- расширение поддержки систем координат, преобразований, адаптаций;
- интерфейсы и API, интеграции с другими системами;
- документация, отчёты и аналитика, улучшенная визуализация и пользовательский интерфейс.

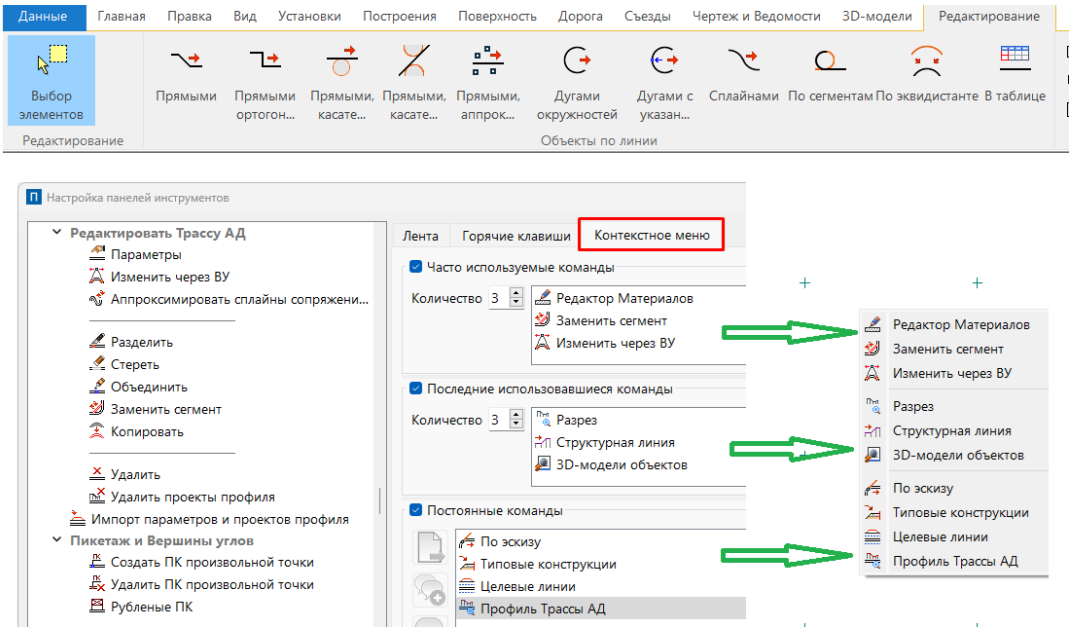


Рисунок 1 – В меню Рабочая среда / Настройки добавили настройку – Контекстное меню

Это может включать: визуализацию в реальном времени, рендеринг больших моделей, гибкую настройку видов, стилей, анимаций в модели, а также поддержку виртуальной, дополненной реальности (VR/AR) для осмотра модели.

Компания не забывает про поддержку и обучение новых пользователей, она активно создает и продолжит создавать обучающие материалы и курсы для пользователей, который помогает осваивать новый функционал. Свидетельством тому являются видеоуроки, вышедшие летом 2025 года, которые обучают работе с генпланом в ТИМ КРЕДО Проектирование.

Литература:

1. https://credo-dialogue.ru/
2. https://geoinfo.ru/

УДК 691.328

Неразрушающие методы контроля прочности дорожного цементобетона

***Шинкевич Артём Сергеевич**, студент 4 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Существует несколько эффективных методов проверки и оценки качества бетона при строительстве автомобильных дорог и мостов. На данный момент в Беларуси неразрушающий контроль прочности цементобетона, является очень важным этапом при строительстве дорог или мостов, который проводиться на объекте без разрушения дорожного покрытия.

Некоторые из методов являются наиболее распространенными для нашей страны, так как имеют минимальную погрешность и высокую эффективность. Основные методы делятся на 3 группы в соответствии с межгосударственными стандартами действующими на территории Республики Беларусь.

Методы местных разрушений – это механические методы контроля прочности бетона, которые, в отличие от чисто неразрушающих методов (таких как ультразвук или отскок), предполагают незначительное, локальное повреждение исследуемой конструкции.

Методы ударного воздействия на бетон – это группа механических неразрушающих методов контроля прочности, основанных на измерении энергии удара и ответной реакции материала (отскока или величины деформации). Эти методы являются косвенными: они не измеряют прочность напрямую, а фиксируют физическую характеристику, которая коррелирует с прочностью бетона.

Ультразвуковой метод воздействия – это метод, который основан на измерении скорости ультразвукового акустического сигнала, на определенном участке бетона. Принцип прост, чем выше прочность,

тем быстрее скорость сигнала. Так же это помогает выявить скрытые дефекты либо определить сроки полного затвердевания бетона.



Рисунок 1 – Классификация методов контроля прочности бетона

Таким образом в заключении можно сказать, что методы приведенные выше являются основными и ключевыми в Беларуси, помогают безопасно и качественно определить прочность бетона на определенных участках без серьезных воздействий и с минимальными повреждениями конструкций самого бетона.

Литература:

1. Особенности неразрушающего контроля прочности бетона эксплуатируемых железобетонных конструкций (Несветаев Г.В., Коллеганов А.В., Коллеганов Н.А.,2017) [Электронный ресурс] URL:http://naukovedenie.ru/PDF/14TVN217.pdf Дата доступа: 15.12.2025
2. Применение методов неразрушающего контроля для определения прочности бетона (фрагмент сборника, БНТУ). [Электронный ресурс] – URL: https://rep.bntu.by /bitstream/handle/data/26035/107-112.pdf.Дата доступа: 15.12.2025
3. О выборе методов контроля прочности бетона построенных сооружений (Улыбин А.В., 1995; ссылка на статью в журнале, 2011).) [Электронный ресурс]. URL:https://engstroy.spbstu.ru/userfiles/files/2011/4(22)/ulybin_control.pdf Дата доступа: 15.12.2025
4. Особенности и виды механических, физических и комбинированных методов неразрушающего контроля. [Электронный ресурс]. URL: https://ies.unitechmo.ru/files/ upload/publications/32810/cc9d8ad31af88716f8879e726a9c6c17.pdf Дата доступа: 15.12.2025

Секция 3

ГЕОДЕЗИЯ И АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ГЕОТЕХНОЛОГИИ

528.5:624

Анализ инновационных геодезических методов при создании топографических карт и планов

Абдуллаев Шохжахон Абдуманнап угли, *студент 4 курса кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»*
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кашура В.Н., старший преподаватель кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Современный этап развития геодезии характеризуется масштабным переходом к цифровым и высокотехнологичным методам получения, обработки и представления пространственной информации. В производственные процессы все активнее внедряются автоматизированные системы измерений, методы дистанционного зондирования Земли, спутниковые навигационные технологии и различные варианты лазерного сканирования. Эти решения обеспечивают создание топографических карт и планов принципиально нового уровня точности, детальности и оперативности.

Совершенствование геодезического оборудования и совершенствование алгоритмов обработки данных приводят к формированию новых стандартов профессиональной деятельности в изысканиях, кадастре, проектировании и территориальном планировании. В этой связи анализ инновационных технологий картографирования становится важной частью профессиональной подготовки специалистов в области геодезии и аэрокосмических геотехнологий.

Спутниковые методы как ключевой элемент современного топографического производства.

Одним из наиболее значимых направлений технологической модернизации геодезии является использование глобальных навигационных спутниковых систем — GPS, ГЛОНАСС, Galileo и BeiDou. Их широкое внедрение позволило существенно повысить точность определения пространственных координат и значительно сократить зависимость от разветвлённых наземных геодезических сетей.

Применение технологий RTK и RTN обеспечивает получение координат с сантиметровой точностью в режиме реального времени, а при длительных статических наблюдениях — достижение миллиметровых значений. Такие параметры соответствуют требованиям крупномасштабного картографирования и инженерных изысканий высокой точности.

Дополнительным преимуществом спутниковых методов является их устойчивость к внешним условиям, возможность работы в труднодоступных районах и интеграция результатов в единую мировую систему координат. В совокупности эти факторы делают GNSS-технологии базовым инструментом современной геодезии и опорным компонентом большинства топографических проектов.

Использование беспилотных летательных аппаратов в картографировании.

В последние годы беспилотные летательные аппараты заняли ключевую позицию в системе получения пространственных данных. БПЛА обеспечивают оперативное формирование ортофотопланов с разрешением вплоть до 1–5 см/пиксель, а также построение цифровых моделей поверхности, рельефа и разнообразных трёхмерных реконструкций территорий.

Инновационный характер технологии связан и с возможностью интегрировать данные аэрофотосъёмки с GNSS-опорными точками, что позволяет достигать метрической точности конечных материалов. Современные программные комплексы для фотограмметрической обработки ускоряют камеральные операции и повышают качество топографических продуктов.

Лазерное сканирование (LiDAR).

Лазерное сканирование относится к числу наиболее информативных и точных методов получения пространственных данных. Технология LiDAR формирует облака точек высокой плотности, что даёт возможность детально моделировать рельеф и инфраструктуру даже в условиях плотной растительности или сложной городской застройки.

LiDAR активно применяется в инженерных изысканиях, кадастре, мониторинге деформаций, BIM-проектировании и обновлении картографических данных, обеспечивая значительное повышение точности итоговых материалов.

Геоинформационные системы как интеграционная основа современных геодезических технологий

Геоинформационные системы являются фундаментом цифровой обработки данных в геодезии. ГИС обеспечивают объединение разнородных пространственных источников — результатов GNSS-измерений, аэросъёмки, лазерного сканирования, архивных данных и материалов дистанционного зондирования.

ГИС-технологии создают сквозную цифровую среду, необходимую для комплексных геодезических и проектных задач, и обеспечивают высокий уровень управляемости пространственными данными.

Автоматизация геодезического производства

Развитие автоматизации затрагивает все этапы геодезического производства — от полевых измерений до камеральной обработки. Современные роботизированные тахеометры, автоматические станции слежения, мобильные лазерные комплексы и облачные системы обработки данных существенно повышают производительность и уменьшают вероятность ошибок.

Внедрение автоматизации формирует современную высокотехнологичную модель геодезического производства, ориентированную на стабильность и воспроизводимость результатов.

Инновационные технологии — спутниковые методы, БПЛА, лазерное сканирование, ГИС и автоматизированные системы — формируют новую парадигму создания топографических карт и планов. Совместное использование наземных, воздушных и космических средств обеспечивает получение пространственных данных высокой точности и комплексности.

Такие технологические решения становятся основой цифровой трансформации инженерно-геодезических работ, кадастровой деятельности, инфраструктурного мониторинга и территориального управления. Их развитие определяет дальнейшие направления модернизации отрасли и повсеместное внедрение цифровых геотехнологий.

Литература:

1. Агеенко, В. Н. Спутниковые методы определения координат: учебное пособие. – Москва: Геодезиздат, 2019. – 312 с.
2. Аборовский, В. И., Лебедев, В. А. Современные геодезические приборы и технологии. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 368 с.
3. Кошкарев, А. В., Кириченко, А. С. Лазерное сканирование и цифровая обработка пространственных данных. – Новосибирск: СО РАН, 2018. – 295 с.
4. Попов, М. И. Фотограмметрия и дистанционное зондирование: современные методы и технологии. – Москва: Картгеоцентр-ГЕО, 2022. – 340 с.
5. Якунин, Г. Н. Геодезия: современные технологии инженерных изысканий. – Санкт-Петербург: Питер, 2020. – 528 с.
6. McCarthy, R., Smith, T. UAV Photogrammetry for Mapping and Surveying. – London: Taylor & Francis, 2017. – 284 p.
7. Shan, J., Toth, C. Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing. – 2nd ed. – Boca Raton: CRC Press, 2020. – 678 p.

УДК 528.5:624

Точность лазерного сканирования (LIDAR), при создания 3D-моделей исторических памятников

***Алексейчик Алексей Сергеевич**, студент 2 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Будо А.Ю., старший преподаватель
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Актуальность использования LiDAR объясняется необходимостью получения высокоточных, детализированных трехмерных моделей, которые служат основой для реставрационных и консервационных работ. Точная документация позволяет не только сохранить информацию о состояниях памятников на разных этапах времени, но и способствует более эффективному планированию ремонтов, реконструкций и виртуальных представлений объектов.



Рисунок 1 – Лазерный сканер Faro Focus S350

В реставрационных работах применяются различные LiDAR, включая наземное лазерное сканирование и аэрокосмические методы, что позволяет получать облака точек с различных ракурсов, которые используются для анализа конструкций, выявления повреждений и подготовки проектной документации для сохранения памятников.

Лазерное сканирование (LiDAR) - это высокотехнологичный метод сбора геопространственных данных с использованием лазерных лучей, которые

измеряют расстояния до объектов с помощью отраженного сигнала. Основной принцип работы LiDAR заключается в посыле коротких лазерных импульсов и регистрации времени их отражения от поверхности, что позволяет получить облако точек с точными координатами и высокой детализацией.

Существует несколько видов LiDAR-устройств, которые применяются в архитектурной и исторической геодезии:

• Наземные лазерные сканеры (Terrestrial Laser Scanners, TLS).Этот тип сканеров дает возможность получить высокую точность, добиваются этого с помощью близости к объекту сьемки.

• Мобильные LiDAR-системы (Mobile Mapping Systems, MMS).Этот тип объединяет лазерные сканеры и инерционные навигаторы, они расположены на транспортных средствах и собирают данные в движении.

Работа с историческими памятниками имеет свои особенности, это необходимость сохранять мельчайшие архитектурные детали и точность геометрии, для этого требуется высокое качество данных и аккуратной обработки. Использование LiDAR позволяет обеспечить гипердетализированное покрытие, в том числе труднодоступных элементов фасадов и интерьеров, что значительно улучшает качество создаваемых 3D-моделей по сравнению с традиционными метод фотограмметрии или ручной съемки.

Точность лазерного сканирования (LiDAR) при создании 3D-моделей исторических памятников зависит от нескольких ключевых факторов. Прежде всего, важную роль играют технические характеристики самого сканера, включая разрешение, дальность и угол обзора.

Таким образом, LiDAR становится незаменимым инструментом в проектировании, строительстве, ремонте и содержании исторических объектов, обеспечивая комплексный подход к сохранению культурного наследия на современном технологическом уровне.

В данном исследовании рассмотрены возможности и перспективы применения технологии лазерного сканирования (LiDAR) в области документирования и сохранения исторического наследия. Проведен анализ факторов, влияющих на точность и качество создаваемых моделей, а также представлены практические примеры использования данных технологий в реставрационных работах, архивировании и виртуализации памятников культурного наследия и расширить возможности его исследовательского использования

УДК 528.4

Разработка методики мониторинга деформаций зданий и сооружений с использованием современных геодезических методов

***Алексейчик Алексей Сергеевич**, студент 2 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Будо А.Ю., старший преподаватель
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Деформации зданий – естественная часть их жизненного цикла. Осадки фундаментов, крены и появление трещин возникают под действием уплотнения грунтов, строительных и эксплуатационных нагрузок, динамических и техногенных факторов. Контроль этих процессов необходим для обеспечения безопасности и предотвращения аварий. Геодезический мониторинг позволяет выявить опасные деформации на ранней стадии и принять меры по усилению конструкций.

С ростом плотности городской застройки задача получения достоверных данных о состоянии объектов становится особенно актуальной. Современные геодезические методы – нивелирование, тахеометрия, спутниковые измерения (GNSS) и лазерное сканирование – обеспечивают высокоточную оценку пространственных смещений и позволяют комплексно контролировать развитие деформаций.

Цель работы – разработка методики мониторинга деформаций зданий, объединяющей классические и современные геодезические методы.

Основные задачи:

- Выбор оптимального комплекса наблюдений.
- Обоснование точности и периодичности измерений.
- Разработка схемы опорной сети.
- Формирование алгоритма обработки данных.
- Установление критериев оценки деформационного состояния.

Контроль осадок выполнялся высокоточным геометрическим нивелированием с использованием нивелира класса HI. Тахеометрия применялась для определения плановых смещений и кренов; электронный тахеометр обеспечивал одновременное измерение углов и расстояний. Для горизонтально-вертикальных смещений крупных элементов использовался GNSS-приёмник. Лазерное сканирование (TLS) позволило построить

трёхмерную модель здания и выявить локальные деформации фасадов и перекрытий.

Измерения проводились ежемесячно в период строительства и первого года эксплуатации, затем – ежеквартально, с переходом на полугодовой режим после стабилизации осадок.

Исследовалось многоэтажное жилое здание, основанное на сплошной железобетонной плите, уложенной на песчано-гравийное основание в зоне с неоднородными инженерно-геологическими условиями. Поблизости велись подземные строительные работы, способные влиять на состояние грунтов.

Для мониторинга создана опорная геодезическая сеть с пунктами за пределами зоны деформаций и контрольными марками на фасадах и фундаменте. Реперы использовались для определения вертикальных смещений.

На первом этапе выполнялось уравнивание нивелировочных ходов методом наименьших квадратов и расчёт отметок контрольных точек.

На втором этапе определялись относительные смещения между эпохами наблюдений.

Третий этап включал оценку точности: погрешность осадок не превышала 2 мм, плановых смещений – 3 мм.

Далее строились графики развития деформаций и сравнивались с нормативными допусками.

За два года мониторинга максимальная осадка фундамента составила 18 мм, наблюдалась в центральной части здания. Углы конструкции осели на 8–12 мм, что указывает на дифференциальные осадки до 10 мм. Плановые смещения контрольных точек не превышали 5 мм и имели случайный характер, связанный с температурными изменениями. Крены здания оставались в пределах 0,001–0,003 рад (1:3000–1:1000 от высоты).

Раскрытие трещин в ненесущих стенах не превышало 1,5 мм и коррелировало с постепенным уменьшением осадок. Наибольшая интенсивность смещений приходилась на первые шесть месяцев эксплуатации, затем процесс стабилизировался.

Согласно строительным нормам, допустимая осадка для зданий на плотных грунтах – 50–100 мм, предельный крен – не более 1:1500. Полученные значения (осадка 18 мм, крен 1:1000–1:3000, раскрытие трещин до 1,5 мм) соответствуют нормативам и не представляют угрозы конструкции. Дифференциальные осадки не превышают допустимых величин и не вызвали структурных нарушений.

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

- Разработана структура опорной геодезической сети, обеспечивающая надёжный трёхмерный контроль деформаций.

- Сформирован алгоритм обработки данных, включающий уравнивание, вычисление смещений и оценку точности.
- Определены критерии оценки состояния здания на основе сравнения измеренных деформаций с нормативными значениями.
- Практическая реализация методики на жилом здании подтвердила её эффективность и выявила закономерности развития осадок в начальном периоде эксплуатации.

Методика комплексного геодезического мониторинга деформаций зданий с применением современных технологий обеспечивает достоверный контроль состояния конструкций и может эффективно использоваться при эксплуатации объектов в сложных геологических и урбанизированных условиях.

УДК 624.21

Сравнительный анализ возможностей лазерного сканирования и фотограмметрии

***Андрушкевич Алексей Константинович**, студент 3 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Вахнер И.В., ассистент
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Современная геодезия стремительно развивается в сторону автоматизации и интеграции с информационными технологиями. В последние годы все большее развитие получают методы дистанционного зондирования, обеспечивающие возможность получения пространственных данных о рельефе, сооружениях и объектах инфраструктуры без непосредственного контакта с ними. Среди таких методов ведущие позиции занимают лазерное сканирование и фотограмметрия, которые позволяют формировать с высокой точностью и визуализацией.

Развитие данных технологий обусловлено потребностями проектирования, строительства, кадастровых и мониторинговых работ, где требуется оперативное получение точных данных об объектах в пространстве.

Принципы методов. Лазерное сканирование (LiDAR – Light Detection and Ranging) – это активный метод измерений, основанный на регистрации отраженного лазера. Измеряя время прохождения сигнала от прибора до объекта и обратно, сканер определяет расстояние, формируя миллионы точек в пространстве. Эти точки создают облако точек, содержащее координаты X, Y, Z каждой отраженной поверхности. Преимущество метода заключается в высокой точности измерений, независимо от освещения, что делает возможным работу в любое время суток.

Для реализации метода применяются наземные лазерные сканеры, например, Leica RTC360 или Riegl VZ-400i, которые обеспечивают автоматическую регистрацию и высокую скорость сбора данных. Такие приборы широко используются в инженерных съёмках, архитектурных обмерах и при мониторинге деформаций зданий и сооружений.

Фотограмметрия относится к пассивным методам измерений. Она основана на принципе геометрической триангуляции, при котором пространственные координаты точек определяются на основе анализа изображений, полученных с различных позиций камеры. Современные фотограмметрические системы нередко используют беспилотные летательные

аппараты (БПЛА), оснащённые высокоточной навигацией и калиброванными камерами.

Сравнительные характеристики и особенности обработки данных. Оба метода имеют плюсы и минусы. Лазерное сканирование обеспечивает высокую точность измерений, равномерное покрытие поверхности и возможность измерения в труднодоступных участках. Благодаря высокой плотности точек метод позволяет детально описывать сложные геометрические формы – арки, фасады, элементы мостов и т.д. Кроме того, полученные данные пригодны для построения цифровых моделей рельефа, расчёта объема работ.

К минусам можно отнести высокую стоимость оборудования, значительный объем данных, требующие мощные компьютеры, а также умение работать с программным обеспечением.

Фотограмметрия обладает иными преимуществами. Она позволяет выполнять съёмку больших территорий с воздуха, получать ортофотопланы, трёхмерные модели местности и текстурированные изображения объектов. Её преимуществом является высокая производительность при относительно низкой стоимости оборудования. Фотограмметрические комплексы можно использовать даже в труднодоступных районах, где невозможно установить наземное оборудование.

Однако точность фотограмметрии во многом зависит от условий освещения, погодных факторов, текстуры поверхности и качества калибровки камеры. Плохая освещённость или однообразная поверхность (например, асфальт или трава) могут привести к снижению плотности и точности получаемых точек.

Сравнение областей применения. В инженерной практике оба метода нашли широкое применение, но в разных типах задач:

- Лазерное сканирование применяется при обследовании фасадов, промышленных и транспортных объектов, при реконструкции исторических зданий, а также для высокоточной съёмки карьеров, тоннелей и подземных сооружений. Оно незаменимо там, где требуется геометрическая точность и высокая детализация.

- Фотограмметрия чаще используется в аэрофотосъёмке, кадастровых и топографических работах, мониторинге линейных объектов (дорог, трубопроводов, линий электропередачи), а также при экологическом контроле территорий.

Тенденция развития технологий. В последние годы наблюдается активное развитие программных решений для объединения данных лазерного сканирования и фотограмметрии. Использование алгоритмов машинного обучения и нейросетей позволяет автоматизировать классификацию облаков

точек, фильтрацию шумов и распознавание объектов на моделях. Современные геодезические комплексы GNSS-приемники, камеры высокого качества, обеспечивая согласованность пространственных данных разных типов. Одним из перспективных решений является создание онлайн сервисов, которые будут хранить все измерения в облаке, что поможет и ускорит процесс совместной обработки.

С помощью лазерного сканирования можно получить высокоточные, плотные и в хорошем качестве данные, благодаря чему этот метод широко применяется в инженерных и кадастровых работах, где требуется максимальная детализация поверхности. Фотограмметрия, в свою очередь, позволяет выполнять съемку большой площади быстро и недорого, при этом обеспечивая хорошую точность для топографических и картографических задач. В перспективе ожидается развитие технологий, которые объединят оба метода в один для повышения эффективности и качества результатов.

Литература:

1. Лобанов, А. Н. Фотограмметрия / А. Н. Лобанов – 2-е изд. – М. : «Недра», 1984. – 570 с.

УДК 528.489

Связь фотограмметрии и цифровой модели рельефа

***Антонович Тимофей Владимирович**, студент 3 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Вахнер И.В., ассистент
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

В последние десятилетия происходит значительное развитие ЦМР (цифровой модели рельефа). Большой вклад в улучшение качества моделей рельефа вносит фотограмметрия, она является основным способом получения трёхмерных моделей. Модели рельефа представлены в виде облак точек, линий и горизонталей. Современные беспилотные аппараты дают большой охват съёмочной территории, относительно небольшие трудозатраты и возможность оперативного обновления данных при изменении рельефа. Так же метод позволяет получать детальные модели даже на труднодоступных территориях.

Какие основные методы и принципы используются в фотограмметрии для построения цифровых моделей рельефа?

Метод строится на основе геометрической реконструкции пространства по перекрывающимся изображениям объекта. Во время процесса проходит несколько этапов построения: ориентирование фотоснимков, определение координат сопряжённых точек (точек связи) между снимками и трёхмерную триангуляцию. Фотограмметрическая обработка пользуется различными методы пространственной ориентации, такими как: внутреннюю ориентацию (калибровку камеры), относительную ориентацию (взаимное положение снимков) и абсолютную ориентацию (привязку к системе координат земной поверхности). Точность построения напрямую зависит от количества опознаков (контрольных точек). Так же на точность влияет качество аэрофотоснимков расположения контрольных точек и методов обработки.

Для получения исходных данных в построении ЦМР пользуются наиболее доступным источником, то есть БПЛА (беспилотные летательные аппараты). Современные системы съёмки позволяют получать сверхвысокие качество, что даёт большое количество точек и низкую погрешность. Но есть и минусы у источника, метеорологических условия сильно влияют на качество снимков.

Обработка полученных данных выполняется в специализированных программах (Agisoft Metashape и других). Конечным результатом обработки является облако точек трёхмерное распределение точечных данных, содержащих

информацию о геометрии и топографии объекта. Для повышения точности строится сетка ЦМР, на основе плотного облака точек. Она может быть интерполирована с использованием методов кригинга или других интерполяторов.

Цифровые модели рельефа находят своё применения в самых разнообразных отраслях. В сфере строительства ЦМР используют для мониторинга строительства, визуализация проектов и оценки воздействия на окружающую среду. Так же используется для правильной планировки пространства населённых пунктах. Владельцы сельское хозяйства используют возможности моделей рельефа для оценки урожайности, проверки состояния полей и управления ресурсами, что значительно влияет на эффективность аграрного производства. В лесоводстве цифровые модели высоты используются для таксации древостоев и оценки объёмов древесины. Созданные методом фотограмметрии ЦМР находят широкое применение в научных исследованиях и практической деятельности. Они используются для мониторинга эрозии береговых склонов, анализа лавиноопасных зон и расчёта различных параметров рельефа, таких как уклоны, экспозиция и высоты.

Таким образом в создании цифровых моделей рельефа фотограмметрия является самым надёжным и проверенным временем способом. Современное развитие БПЛА и программных обеспечений с каждым годом делает огромные шаги в расширении возможностей ЦМР.

УДК 528.5:624

Анализ влияния технологий дистанционного зондирования на геодезическое производство

Белозарович Владислав Леонидович, *студент 4 курса кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии» Белорусский национальный технический университет, г. Минск Научный руководитель – Кашура В.Н., старший преподаватель кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»*

Современное геодезическое производство характеризуется возрастающими требованиями к скорости, точности и экономической эффективности получения пространственных данных. Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) представляет собой технологическую основу для перехода от традиционных методов съемки к высокоавтоматизированным цифровым процессам.

Организация геодезического производства в современных условиях требует управления комплексом взаимосвязанных процессов: планирования, полевых работ, камеральной обработки и контроля качества. Технологии ДЗЗ, включая аэрофотосъемку (с пилотируемых средств и беспилотных летательных аппаратов – БПЛА), спутниковую съемку и лазерное сканирование (LiDAR), формируют новые технологические схемы.

Ключевым преимуществом ДЗЗ с точки зрения управления является сокращение доли трудоемких и продолжительных полевых этапов.

С точки зрения организации геодезических процессов, внедрение ДЗЗ приводит к:

Смещению акцентов на камеральную обработку: Центр тяжести работ перемещается с поля в офис, где используются мощные цифровые фотограмметрические системы (ЦФС) и ГИС.

Стандартизации процессов: Обработка данных выполняется по формализованным цифровым workflow, что повышает повторяемость и контролируемость результатов.

Параллелизации задач: Возможность одновременного сбора данных для разных проектов на одно.

Внедрение технологий дистанционного зондирования следует рассматривать не как простую замену имеющимся технологиям геодезического производства, а как стратегическую трансформацию бизнес-

процессов геодезической компании. Комплексный анализ позволяет выделить несколько уровней влияния: операционный, тактический и стратегический.

На операционном уровне изменения носят наиболее очевидный характер. Организация производства трансформируется из маршрутизации полевых бригад в разработку детальных полетных заданий. Происходит качественное изменение состава полевых бригад. На камеральном этапе возникает основной прирост объема работ, требующий перестройки управления человеческими и техническими ресурсами.

С тактической точки зрения влияние технологий ДЗЗ наиболее наглядно отражается в изменении ключевых показателей эффективности проекта. В трудовой и временной сфере наблюдается радикальное улучшение. Трудоемкость полевых работ падает в несколько раз, что напрямую высвобождает человеческие ресурсы для наращивания общего объема производства. Сроки выполнения полевого этапа сокращаются с недель до дней, что резко повышает оперативность реагирования на запросы рынка и позволяет компании выступать в роли поставщика «быстрых» решений.

Наибольшее влияние ДЗЗ проявляется на стратегическом уровне, открывая пути к изменению самой бизнес-модели геодезического предприятия. Предприятие получает возможность эволюционировать от исполнителя разовых съемок к поставщику подписки на геоданные. Освоенная технология ДДЗ позволяет предприятию выходить за традиционные рамки инженерной геодезии. Появляется потенциал для работы в секторах точного земледелия, лесной таксации, экологического мониторинга, оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций.

Применение дистанционного зондирования Земли является ключевым фактором повышения эффективности геодезического производства за счет радикального сокращения сроков и себестоимости полевых работ при одновременном повышении детальности и видов выходных продуктов. Внедрение ДЗЗ требует системных изменений в управлении производством– перераспределения ресурсов, инвестиций в цифровую инфраструктуру и переподготовку кадров.

Литература:

1. Еремеев В.В. (ред.) Современные технологии обработки данных дистанционного зондирования Земли. М.: Физматлит, 2015. 460 с.
2. Гук А.П., Конечный Г. Фотограмметрия и дистанционное зондирование. Новосибирск: СГУГиТ, 2018. 248с.

УДК 528.5:624

Построение поверхности в Civil 3D

Белозарович Владислав Леонидович, *студент 4 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кабацкий А.В., старший преподаватель
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

В рамках моей учебной деятельности я занимаюсь изучением современных CAD-систем для решения инженерно-геодезических задач. Особый интерес вызывает Autodesk Civil 3D – программный комплекс, который позиционируется как инструмент для информационного моделирования инфраструктурных объектов. Однако на практике выяснилось, что его функционал выходит далеко за рамки проектирования дорог и коммуникаций.

Центральный вопрос моей работы – можно ли использовать Civil 3D в качестве инструмента для фотограмметрической обработки парных аэроснимков и создания на их основе метрически достоверных моделей местности?

Конкретные задачи, которые я ставил перед собой:

- изучить модули и инструменты Civil 3D, потенциально пригодные для работы с аэрофотоизображениями;
- разработать последовательность операций по обработке стереопары снимков;
- оценить точность получаемых моделей по сравнению со специализированным ПО;
- сформулировать рекомендации по применению Civil 3D для фотограмметрических задач в учебном процессе.

1. Ключевые инструменты, использованные в работе

В процессе исследования я активно использовал следующие модули Civil 3D:

- инструменты создания и редактирования поверхностей (Tin Surface). Это основа работы. Civil 3D позволяет строить TIN-поверхности по трёхмерным точкам, импортированным из различных источников;
- модуль импорта данных. Система поддерживает загрузку облаков точек из форматов .txt, .csv, .xyz, а также из специализированных форматов, что позволяет использовать предобработанные данные из фотограмметрического ПО;

- инструменты анализа поверхностей. Civil 3D предоставляет возможности для расчёта уклонов, экспозиций, построения изолиний, что полезно для анализа рельефа, полученного фотограмметрическим путём;
- работа с растровыми подложками. Возможность привязки ортофотоплана как растровой подложки к созданной поверхности для визуального контроля и анализа.

2. Практическая реализация методики

Этап 1. Подготовка исходных данных

Для экспериментов была взята стереопара аэроснимков с перекрытием около 65%. Первичная обработка выполнялась в учебной версии Agisoft Metashape по стандартному алгоритму:

- Выравнивание снимков.
- Построение плотного облака точек.
- Генерация ортофотоплана и экспорт данных.
- Ключевой момент: облако точек было экспортировано в формате .txt (X, Y, Z), а ортофотоплан — в GeoTIFF с привязкой.

Этап 2. Импорт и создание поверхности в Civil 3D

Создание новой поверхности. В палитре "Toolspace" создавал поверхность типа "Tin Surface".

Импорт точек. Через пункт "Add Data" → "Point Files" загружал текстовый файл с облаком точек. Civil 3D автоматически распознавал столбцы координат.

Построение TIN. Система автоматически генерировала триангуляционную нерегулярную сеть на основе импортированных точек. Здесь я экспериментировал с настройками "Maximum triangle length" для фильтрации возможных выбросов (Рис. 1).

Этап 3. Анализ и оформление результатов

После создания поверхности в Civil 3D выполнялись следующие операции:

- добавление ортофотоплана как растровой подложки для проверки соответствия рельефа и изображения;
- построение горизонталей с заданным сечением (0.5 м) для наглядного представления рельефа;
- расчёт статистики поверхности — минимальная/максимальная отметка, общая площадь;
- создание профилей по произвольным линиям для анализа поперечного сечения местности.



Рисунок 1 – Создание поверхности из топосъемки в Civil 3D

Этап 4. Контроль точности

Для оценки точности модели, созданной в Civil 3D, использовались 8 контрольных точек, не участвовавших в построении. Их координаты, полученные традиционной тахеометрической съёмкой, сравнивались с отметками на поверхности в Civil 3D (использовалась команда "Quick Profile" или "Surface Elevation").

3. Качественные наблюдения

Сильные стороны Civil 3D:

- интеграция в проектную документацию. Созданную поверхность можно сразу использовать для расчёта объёмов земляных работ, проектирования трасс, что экономит время;
- работа с большими наборами данных. Civil 3D оптимизирован для обработки плотных облаков точек, с которыми специализированное ПО иногда "тормозит";
- гибкость редактирования. Инструменты редактирования поверхности в Civil 3D (добавление/удаление линий перегиба, сглаживание) оказались очень удобными для ручной коррекции модели.

Слабые стороны (ограничения):

- отсутствие фотограмметрического ядра. Необходимость предварительной обработки в другом ПО — главный недостаток;
- более бедные инструменты визуализации облака точек по сравнению со специализированными пакетами.
- сложность автоматизации обработки серий снимков.

На основании проведённой работы я пришёл к следующим заключениям:

Civil 3D может быть эффективно использован на завершающих этапах фотограмметрической обработки — для построения, анализа и интеграции поверхностей в проектные решения. Он не заменяет специализированные фотограмметрические пакеты, но отлично дополняет их.

Точность моделей, построенных в Civil 3D, практически не уступает специализированному ПО при использовании одного и того же исходного облака точек. Разница в СКО составила всего 1 см в моём эксперименте.

Главное преимущество — интеграция в единую информационную среду. Модель рельефа, созданная из аэроснимков, сразу становится частью BIM-модели объекта, что исключает ошибки при передаче данных между разными системами.

Проведённое исследование показало, что Autodesk Civil 3D, несмотря на отсутствие встроенных фотограмметрических алгоритмов, представляет собой мощный инструмент для работы с результатами аэрофотосъёмки. Его использование особенно оправдано в учебном процессе, где важно показать студентам полный цикл — от съёмки до проектирования в единой программной среде.

Для инженерной практики комбинированный подход (специализированное ПО + Civil 3D) позволяет создавать не просто точные модели рельефа, а информационно-насыщенные модели территории, готовые к использованию в проектах любой сложности.

УДК 528.5

Эволюция геодезических инструментов: от ватерпаса Древнего Египта до квантовых гравиметров

***Блышко Максим Васильевич**, студент 2 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Будо А.Ю., старший преподаватель
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Геодезия играет важнейшую роль в современных сферах строительства и транспортного проектирования. Точная геодезическая информация необходима для обеспечения правильного расположения объектов, их соответствия проектным требованиям и безопасности эксплуатации инженерных сооружений. От качества геодезических измерений напрямую зависит долговечность зданий, оптимизация транспортных маршрутов и экономическая эффективность проектов.

Современное развитие геодезических методов и приборов значительно повышает точность и скорость выполнения работ. Традиционные ручные и оптические устройства все чаще заменяются цифровыми технологиями, спутниковыми системами и беспилотными платформами, которые обеспечивают получение пространственных данных с высокой детализацией. Эти инструменты расширяют возможности специалистов в проведении топографических съемок, контроле за строительством, а также в анализе и визуализации больших объемов пространственной информации.

Цель этой статьи - проанализировать ключевые этапы развития геодезических инструментов от ватерпаса Древнего Египта до квантовых гравиметров, основанных на атомной интерферометрии. Этот анализ подчеркивает технологический скачок, повысивший точность измерений гравитации и координат на порядки.

Одними из первых геодезических приборов, применявшихся в Древнем Египте были ватерпас и нивелир, обеспечивавшие выравнивание оросительных каналов и оснований пирамид. Ватерпас представлял собой устройство в форме буквы А с отвесом на вершине и меткой на перекладине для фиксации горизонтальной линии, а нивелир использовал уровень жидкости для контроля превышений с точностью до 3–5 мм на базовых расстояниях. Эти инструменты позволили египтянам достигать относительной ошибки линейных измерений

1:3000 и угловых - 2–4 минуты, что обеспечило ориентацию пирамид по странам света с погрешностью до 5,5 минут.

В период Средневековья и Возрождения геодезия эволюционировала от простых механических устройств к инструментам с повышенной точностью, что отразилось в изобретениях Леонардо да Винчи, включая шагомер для подсчета шагов и тележку для механического измерения расстояний по колесу. Эти приборы дополнились мерной цепью (один из первых стандартизированных инструментов для линейных измерений) и диоптрами - линейками с визирными прицелами для угловых измерений, появившимися в Германии и Голландии. Такие инновации позволили проводить полевые работы с точностью до 1:1000, поддерживая строительство фортификаций и каналов.

Современная геодезия достигает новых высот благодаря квантовым гравиметрам, работающим по принципу атомной интерферометрии для измерения гравитационного ускорения. В этих устройствах атомы охлаждают до сверхнизких температур, формируя бозе-эйнштейновский конденсат, а лазерные импульсы разделяют их на параллельные траектории; фазовый сдвиг при воссоединении напрямую отражает локальное гравитационное поле.

УДК 528.098

Искусственный интеллект и машинное обучение в обработке геопространственных данных: революция в геодезии

***Вахнер Илона Васильевна**, магистрант 2 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Рак И.Е., канд. техн. наук, доцент
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Современная геодезия находится на этапе цифровой трансформации, вызванной ростом объемов геопространственных данных. Традиционные методы их обработки становятся трудоемкими и медленными. На этом фоне технологии искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) могут стать решением, позволяющим автоматизировать и оперативно решать новые задачи.

Одним из самых распространенных применении ИИ является распознавание и векторизация объектов. Алгоритмы глубокого обучения, сверточные нейронные сети, научились с высочайшей точностью находить и очерчивать контуры зданий, дорог, деревьев на аэрофотоснимках и данных Лидар. Это ускоряет процесс картографирования и актуализации планов. Также искусственный интеллект автоматически классифицирует территорию городской застройки, лесные массивы, сельскохозяйственные угодья, водные объекты. Это незаменимо для мониторинга изменений в землепользовании и оценки последствий природных катаклизмов.

Интеллектуальный анализ облаков точек Лидар позволяет извлечь из огромных массивов трехмерных данных структурированную информацию. Алгоритмы фильтрации и классификации точек точно определяют и отделяют точки, принадлежащие земле (цифровая модель рельефа), от точек зданий, растительности и инфраструктуры (цифровая модель местности). Вместо простого облака точек ИИ помогает построить семантическую 3D-модель города, где каждый объект не просто геометрическая фигура, а объект с атрибутами.

В прогнозном моделировании и мониторинге деформации модели машинного обучения анализируя длинные временные ряды данных с ГННС-приемников и спутниковой радиолокационной интерферометрии, могут выявлять аномальные смещения и прогнозировать деформации мостов и высотных зданий.

Обучаясь на данных о прошлых оползнях, подтоплениях или карстовых провалах, учитывая геодезические геологические и метеорологические данные ИИ может спрогнозировать эти процессы. Что позволяет строить карты рисков и прогнозировать вероятность возникновения подобных катастроф в будущем.

Повышение точности и эффективности полевых измерений за счет оптимизации сетей. Искусственный интеллект может предложить оптимальную конфигурацию геодезической сети, обеспечивающую максимальную точность при минимальных затратах.

Несмотря на потенциал, внедрение ИИ и МО в геодезию сталкивается с трудностями. Для обучения моделей требуются огромные размеченные наборы данных, например тысячи снимков, где каждый объект обведен вручную. Их создание – дорогой и трудоемкий процесс.

Сложные нейронные сети часто не дают понятного объяснения, почему они приняли то или иное решение. В ответственных областях, например мониторинг АЭС, это может быть критично.

На данный момент искусственный интеллект и машинное обучение не являются чем-то необычным, а становятся стандартными инструментами современного геодезиста. Они кардинально повышают скорость, точность и глубину анализа геопространственной информации, открывая путь к созданию «умных» и динамичных цифровых двойников территорий.

Геодезия, оснащенная искусственным интеллектом, превращается из измерительной науки в прогнозно-аналитическую, играющую ключевую роль в устойчивом развитии и обеспечении безопасности жизнедеятельности.

УДК 528.498

Геодезическое обеспечение как фундаментальная основа функционирования «умных городов»

***Вахнер Илона Васильевна**, магистрант 2 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Рак И.Е., канд. техн. наук, доцент
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Традиционно геодезия обеспечивала городское планирование топографо-геодезическими материалами в виде планов и карт. В эпоху «умных городов» эта роль трансформировалась. На смену статичным двумерным продуктам пришли динамические цифровые модели – виртуальные копии физических объектов или процессов, обновляемых в режиме, близкому к реальному времени.

Формирование цифрового двойника города требует решение ряда геодезических задач:

создание высокоточной пространственной основы. Развитие сетей постоянно действующих базовых станций ГНСС для обеспечения сантиметровой точности позиционирования.

3D-моделирование городской среды. Применение воздушного и мобильного лазерного сканирования и фотограмметрии с БПЛА для получения высокодетализированных моделей.

Непрерывный мониторинг. Использование спутниковой радиолокационной интерферометрии и датчиковой сети для отслеживания деформаций и изменений.

Ключевые компоненты геодезической инфраструктуры «умного города»:

системы высокоточного позиционирования;

технологии дистанционного зондирования и съемки;

геоинформационные системы как платформа для интеграции.

Основой для позиционирования в режиме реального времени являются сети ПДС ГНСС, работающие по технологии RTK. Эти сети предоставляют поправки, позволяющие достигать точности 1-2 см для подвижных и статистических объектов. Это является необходимым условием для работы беспилотного транспорта, роботизированной техники и систем точной навигации служб экстренного реагирования.

Воздушное лазерное сканирование обеспечивает получение высокоточных цифровых моделей рельефа и местности, незаменимых для гидрологического моделирования и планирования застройки.

Мобильное лазерное сканирование позволяет оперативно получать детальные трехмерные модели улиц, фасадов зданий и инженерных коммуникаций.

Беспилотные летательные аппараты обеспечивают мониторинг в режиме реального времени для контроля строительства, состояния объектов и ликвидации ЧС.

ГИС выступает в роли интеграционной платформы, объединяющей геодезические данные с атрибутивной информацией из различных городских департаментов. Семантически насыщенная ГИС позволяет не только визуализировать объекты, но и проводить сложный пространственный анализ, например, моделировать маршруты общественного транспорта.

Геодезическое обеспечение является основой для интеллектуальных транспортных систем:

адаптивного светофорного регулирования, учитывающего реальную загруженность полос;

систем мониторинга общественного транспорта с точным прогнозом времени прибытия;

управления автоматизированными транспортными средствами, требующими точного позиционирования в пределах полосы движения.

Комбинация методов позволяет отслеживать деформации критически важных объектов (мосты, тоннели, высотные здания) с миллиметровой точностью.

Подземные коммуникации, нанесенные на трехмерные модели городов, становятся «видимыми». Это исключает их повреждение при земляных работах и позволяет планировать ремонты с минимальным воздействием на городскую среду.

Геодезическое обеспечение перестало быть вспомогательной службой и превратилось в важный компонент цифровой инфраструктуры современного города. Без высокоточной, актуальной и единообразной геопространственной основы невозможна эффективная интеграция данных и функционирование интеллектуальных систем управления. Инвестиции в развитие геодезической инфраструктуры – стратегическая инвестиция в устойчивое и безопасное развитие «умных городов».

УДК 52-3

Воздействие человека на ландшафты

***Волженков Иван Валерьевич**, студент 1 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Гармаза О. Е. старший преподаватель
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Влияния человечества на ландшафт началось с приходом неолитической революции. Оседлый образ жизни побудил человека изменять ландшафт под свои нужды. Подсечно-огневое земледелие около 2000 лет до н. э. начинает быть заметным экологическим фактором и на территории Беларуси.

Зачастую такое антропогенное влияние несёт в себе разрушительный характер и часто приводят к необратимым непреднамеренным последствиям. Например, вырубка лесов ведёт к эрозии почвы, так как корни деревьев удерживают грунт, к обмелению рек, так как леса удерживают влагу, а так ж к деградации почвы. Образование пустошей из-за излишнего выпаса скота.



Рисунок 1 – Рисовое поле. Таиланд

В 17-18 веке во время уже индустриальной революции, из-за резкого увеличения численности населения, выросли и темпы расширения пахотных территорий, вырубки лесов, осушения болот, рост поселений. Это привело к тому, что сейчас в наиболее густо заселённых территориях почти не осталось естественных видов экосистем. Около 40 зональных типов ландшафта, из 96 выделяемых на равнинах либо исчезли, либо преобразованы человеком коренным образом. Человек преобразовал всего около 60% мира, на суши на 20-30% территории практически полностью изменён ландшафт.

Большому влиянию человека подверглись русла рек. Как уже было сказано вырубка леса и строительство оросительных каналов для пашней ведёт к

обмелению рек. Так же строительство судоходных каналов для перевозки грузов повлияло на ландшафт. Рост территории городов заставил некоторые маленькие реки полностью уйти под землю. В 20 веке существовали проекты по проведению каналов с помощью серии ядерных взрывов.



Рисунок 2 – Антропогенное озеро, образовавшееся от ядерного взрыва, взорванного по проекту «Тайга» в Сибири в 1971 году

Однако человек так же проводит и позитивную деятельность. Проводится лесопосадка и восстанавливаются лесные массивы, создание охраняемых природных зон, заповедников, создание парков.

Влияние человека на ландшафт вне зависимости его положительности или отрицательности является значительным, человек изменил планету под себя и главной задачей является сохранение природного ландшафта и оптимизация антропогенного.

УДК 624.21

Знаменитые люди в области геодезии

***Громова Милена Сергеева**, студент 1 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Рак И.Е., канд. техн. наук, доцент
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

В контексте 105-летия основания Белорусского национального технического университета (БНТУ) мы рассматриваем наследие тех, кто формировал образовательную и научную базу в области геодезии, и демонстрируем, что высокоточное управление территорией – это критически важный инструмент для прогресса и глобальных свершений. Профессора БНТУ, каждый в свою эпоху, заложили основу для признания кафедры геодезии университета как ведущего научно-образовательного центра, что подтверждается их государственным признанием, научными школами и ключевыми публикациями.

Михаил Васильевич Дорошевич (1900–1968) (Рис.1) был ученым-геодезистом и заслуженным деятелем науки и техники БССР.



Рисунок 1 – М. В. Дорошевич

Его карьера неразрывно связана с процессом индустриализации и становления системы высшего образования.

Влияние Дорошевича на развитие геодезии началось с руководства кафедрой геодезии Белорусского политехнического института (БПИ). Впоследствии он занимал ключевые административные посты, в том числе ректора БПИ, а затем и Министра высшего и среднего специального образования БССР. Занятие геодезистом столь высоких государственных постов указывает на

то, что в период послевоенного восстановления и масштабного государственного планирования компетенции в точных пространственных измерениях считались стратегически важными для управления ресурсами. Признанием его значимости стало увековечивание его имени в Минске: улица (Рис.2) около 8 учебного корпуса БНТУ носит имя Дорошевича.

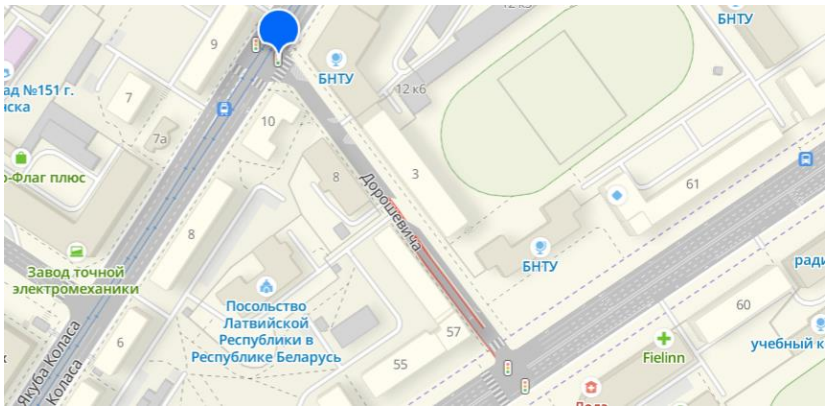


Рисунок 2 – Улица имени М.В. Дорошевича

Профессор Маргарита Сергеевна Нестеренок (1935–2014) (Рис.3) посвятила свою жизнь БНТУ, проработав в нем 55 лет. На протяжении почти четырёх десятилетий она занимала пост заведующей кафедрой «Инженерная геодезия». Ключевой областью ее исследований было развитие теоретических основ вычислительной обработки геодезических измерений, что прямо связано с ее практическими работами по использованию геодезических методов для изучения деформаций инженерных строений. Обеспечивая высокий уровень точности измерений осадки сооружений, ее работа напрямую влияла на безопасность и долговечность крупномасштабного строительства.

Среди ее единоличных работ стоит отметить учебное пособие «Геодезия» и «Геодезическое обеспечение строительно-монтажных работ». Профессор Нестеренок также является соавтором таких фундаментальных изданий, как учебник «Инженерная геодезия» и «Геодезия в лесном хозяйстве» и учебно-методическое пособие «Геодезическое обеспечение строительства».

Доктор технических наук, профессор Владимир Павлович Подшивалов является выдающимся современным деятелем БНТУ и представителем кафедры Геодезии и аэрокосмических геотехнологий. Он является основателем научной школы «Теоретические основы формирования координатной среды для геоинформационных систем и автоматизированных систем проектирования».

К числу его ключевых единоличных работ относится научное издание «Теоретические основы формирования координатной среды для геоинформационных систем» и «Координатная основа геоинформационных систем». Профессор Подшивалов также является соавтором ряда ключевых

учебников для строительной отрасли, в том числе «Инженерная геодезия» и «Геодезическое обеспечение строительства».



Рисунок 3 – М. С. Нестеренок



Рисунок 4 – В. П. Подшивалов

Из четырех президентов, увековеченных на Горе Рашмор, Джордж Вашингтон, Томас Джефферсон и Авраам Линкольн начинали свою карьеру как землемеры. Это позволяет увидеть геодезию как фундамент для карьер трех исторических прообразов, воплощенных в скале, и подтверждает ее роль в формировании государственности.

Английский геодезист Джордж Эверест (1790–1866) с 1823 по 1843 год являлся руководителем Великого тригонометрического исследования Индии. Его крупнейшим достижением стало определение меридиональной дуги Индии. В знак признания его фундаментального вклада в геодезию, высочайшая вершина Гималаев – Джомолунгма – была названа в его честь (Эверест) в 1856 году.

Необычный пример связи геодезии и политики демонстрирует Нельсон Мандела (1918–2013), первый чернокожий президент ЮАР. Во время своего 27-летнего заключения он самостоятельно изучал геодезию, овладел теорией и практикой, а также создал карту острова Роббен, качество которой было проверено и одобрено экспертами. В 1994 году, уже после освобождения и избрания президентом, Мандела был признан Международной федерацией геодезистов «Геодезистом года».

Примеры из истории БНТУ и мировой практики подтверждают непреходящую ценность геодезического образования. Наследие Михаила Васильевича Дорошевича, Маргариты Сергеевны Нестеренок и Владимира Павловича Подшивалова, а также вклад Джорджа Эвереста и Нельсона Манделы, доказывают, что геодезия лежит в основе как национального прогресса, так и глобальных свершений.

УДК 528.48

Современные подходы к геодезическому обеспечению мониторинга лесных массивов

***Давыдов Евгений Андреевич**, студент 2 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Будо А. Ю., старший преподаватель
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Геодезическое обеспечение мониторинга лесных массивов представляет собой комплекс методов и технологий, направленных на точное определение пространственного положения, изменения границ, состояния и динамики лесных экосистем. В условиях роста антропогенного воздействия, изменения климата и необходимости устойчивого лесопользования такие подходы приобретают особую актуальность. Современные методы интегрируют классические геодезические инструменты с передовыми цифровыми технологиями, что позволяет обеспечивать высокоточный, оперативный и комплексный мониторинг лесов.

1. Интеграция спутниковых технологий

Одним из ключевых направлений является использование глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), включая российскую ГЛОНАСС, американскую GPS, европейскую Galileo и китайскую BeiDou.

Высокоточное позиционирование (с использованием RTK и PPK) позволяет определять координаты с точностью до сантиметров, что критически важно при закреплении границ лесных участков, таксации и фиксации изменений после рубок или пожаров.

ГНСС-трекинг применяется при наземных обследованиях: специалисты снабжаются портативными приемниками, что позволяет фиксировать геопривязку каждого замера (например, положение повреждённого дерева или следа вырубки).

Современные ГНСС-приёмники, часто интегрированные в мобильные устройства, обеспечивают работу даже под пологом густого леса, благодаря многоканальным антеннам и поддержке сигналов L1/L2/L5.

2. Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ)

Данные оптических, радарных и лидарных спутниковых систем играют центральную роль в мониторинге лесных массивов:

Оптические снимки высокого и сверхвысокого разрешения (WorldView, Sentinel-2, PlanetScope) позволяют визуализировать структуру леса, выявлять вырубки, пожары, болезни и нарушения лесопользования.

Радиолокационные (SAR) данные (например, от спутников Sentinel-1) обеспечивают наблюдение в любое время суток и при любой облачности, что особенно важно в регионах с частой облачностью (Сибирь, Дальний Восток).

Лидарное зондирование (LiDAR) — как наземное (TLS), так и воздушное (ALS) и спутниковое — позволяет строить трёхмерные модели рельефа и древостоев, оценивать высоту деревьев, запас древесины, биомассу и структуру полога.

Интеграция ДЗЗ с геодезическими данными обеспечивает картографическую основу для лесоустроительных планов, кадастрового учёта и экологического мониторинга.

3. Геоинформационные системы (ГИС) и цифровые платформы

Современный мониторинг невозможен без ГИС-технологий:

Все геодезические и дистанционные данные интегрируются в единые цифровые платформы (ArcGIS, QGIS, специализированные лесные ГИС, такие как ForestGIS или Лесной ГИС-Мониторинг в России).

ГИС позволяют анализировать изменения во времени, моделировать последствия рубок, пожаров или вредителей, а также осуществлять пространственное планирование лесовосстановления.

В России активно развивается Единая государственная автоматизированная информационная система (ЕГАИС Лес), в которой геодезические координаты участков, маршрутов транспортировки и точек рубок обязательны для отчётности.

4. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА)

Использование дронов стало стандартом при локальном мониторинге лесных территорий:

Оснащённые RGB-, мультиспектральными и тепловизионными камерами, БПЛА позволяют получать ортофотопланы и цифровые модели местности (ЦММ) с разрешением до 1–2 см/пиксель.

Данные с дронов используются для инвентаризации труднодоступных участков, оценки последствий лесных пожаров, мониторинга лесовосстановления и выявления незаконных рубок.

Геодезическая привязка снимков обеспечивается либо встроенной ГНСС, либо наземными опорными точками (GCP — Ground Control Points), измеренными тахеодолитами или GNSS-приёмниками.

5. Наземные геодезические измерения

Несмотря на развитие дистанционных методов, наземная геодезия остаётся важной для калибровки и контроля:

Электронные тахеодолиты и геодезические станции применяются при уточнении границ лесничеств, обмере пробных площадей, закреплении межевых знаков.

Лазерные дальномеры и лесные таксиметры позволяют точно измерять высоту и диаметр деревьев в полевых условиях.

Все наземные данные передаются в цифровые лесоустроительные базы и используются для повышения точности автоматизированных методов.

6.Цифровизация и нормативно-правовая база

В россии и других странах активно внедряются нормативы,требующие геопривязки всех лесохозяйственных операций. Например:

Согласно Лесному кодексу РФ, все лесные декларации, планы рубок и отчёты должны содержать точные координаты границ в системе координат WGS-84 или СК-42/СК-95.

Внедрение цифровых паспортов лесных участков предполагает интеграцию геодезических, таксационных и экологических данных в единую информационную модель.

Заключение

Современные подходы к геодезическому обеспечению мониторинга лесных массивов основаны на синтезе спутниковых, воздушных, наземных и цифровых технологий. ГНСС, ДЗЗ, БПЛА, ГИС и наземные измерения формируют многоуровневую систему, обеспечивающую:

высокую точность пространственной привязки, оперативность обновления данных, комплексную оценку состояния лесов, предотвращение незаконных рубок и поддержку устойчивого лесопользования.

УДК 528.722

История развития универсальных стереофотограмметрических приборов в XX веке

***Дмитриев Матвей Александрович**, студент 3 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Вахнер И.В., ассистент
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Фотограмметрия как наука появилась в тот момент, когда геодезисты получили возможность использовать летательные аппараты и осуществлять съемку местности с воздуха. Причиной этому послужило то, что недостаточно лишь получить снимки для картографирования местности. Их также необходимо обработать и связать друг с другом, перед тем как они станут основой для карты или плана. Именно в этом и состоит задача фотограмметрии как отдельной дисциплины.

В основе фотограмметрии лежат фотоснимки, полученные методом аэросъемки. Данная технология стала возможной в XIX веке с появлением пилотируемых летательных аппаратов, однако наибольшее распространение получила с развитием авиации. Главным толчком к ее появлению стала Первая мировая война 1914-1918 гг. и необходимость проведения разведки с воздуха. В те годы впервые были выработаны методики и способы обработки фотоматериалов.

Получение аналоговых снимков с самолета было непростой задачей и требовало уникального в своем роде оборудования для выполнения работ. Таким особым устройством стал аэрофотоаппарат – камера, предназначенная для ведения аэрофотосъемки. Аэрофотоаппараты жестко крепились на корпус самолета, а управление ими производил пилот прямо из кабины и рабочие перед вылетом самолета на участок.

Аэрофотоснимок представляет собой отдельный кадр, чаще всего квадратной формы, с координатными метками по углам. Снимки редко использовались поодиночке, чаще объединялись в стереопары и триплеты. Понятие стереопары является базовым в фотограмметрии, на нем основывается большая часть методов фотограмметрической обработки. Это два соседних снимка, имеющих зону перекрытия между собой, то есть часть изображения первого снимка совпадает с соответствующей частью второго.

Суть фотограмметрической обработки фотоснимков заключается в их объединении в единый ортофотоплан. Это достигается посредством взаимного ориентирования снимков по угловым координатным меткам и выполнения накидного монтажа. Затем в зонах перекрытия каждой стереопары выбираются несколько связующих точек и по взаимному положению соединяются между собой. Последним шагом процесса обработки является соотнесение опорных точек, выделенных реальными опознавательными знаками на местности.

Все эти процессы можно выполнять вручную, но это крайне неэффективно с каким-либо большим числом снимков. Еще на заре развития фотограмметрии уже возник вопрос оптимизации обработки аэрофотоснимков. Появились различные приборы для выполнения каждой из описанных выше операций за счет механического оборудования. Дальнейшее стремление к упрощению работы привело к появлению такого чуда техники, как универсальные стереофотограмметрические приборы.

Первым в истории универсальным стереофотограмметрическим прибором стал изобретенный профессором Удо Аллегом в 1901 году Stereoautograph, который был запущен в производство австрийской компанией Карл Цейсс в 1903 году. В основе принципа действия этого прибора лежала теорема Поморцова-Аллега, согласно которой пространственную модель местности можно восстановить, если восстановить положение центров проекции двух снимков. Сама конструкция прибора состояла из двух фотокареток для исходных снимков и пространственного рычажного механизма в виде металлических стержней, соединявших центр проекции и одинаковую точку на каждом из снимков. Задача оператора состояла в совмещении измерительной марки с конкретной точкой снимка. Пространственные рычаги при этом занимали положение проектирующих лучей камеры, а конец измерительной марки касался бумаги на столике. Ведением марки по рельефу, оператор чертил горизонтали на бумаге.

Альтернативой Stereoautograph стал швейцарский прибор Wild A5, разработанный Генрихом Вильдом в компании Wild Heerburg AG в 1937 году. Принцип работы этого прибора совпадал с таковым у описанного выше. Он работал на основе воссоздания условий съемки стереопары за счет механической проекции пространственных лучей. Однако этот стереограф был более эргономичным, занимал меньше места и был более удобным в применении. Работая за ним, оператор видел единую стереомодель местности, на которой имелась плавающая отметка координатографа, совмещаемая с рельефом.

В 1938 году итальянским профессором Амилькаре Сантони был создал прибор Santoni Stereosimplex. Он был значительно компактнее двух предыдущих и использовал другой механический принцип в основе своей работы. Его ключевой особенностью была упрощенная механическая проекция, также

известная как принцип развернутой модели. В этом приборе пространственная стереомодель разворачивалась на плоскость, а снимки стереопары устанавливались не в отдельных проекторах, а в одном, причем каретка с ними могла наклоняться.

Также стоит упомянуть развитие универсальных стереофотограмметрических приборов в СССР. Первым из них стал СТД (Стереофотограмметрический Топографический Двойной). Как и другие советские геодезические приборы, был разработан в МИИГАИК в 1948 году под руководством профессора Дробышева. Он был первым в мире прибором такого типа, заменившим сложную систему рычагов на электрическую аналогию, преобразовывающую координаты точки в электрические импульсы. Они поступали на электронные лампы, а сервоприводная система помогала вычерчивать план на координатографе.

В советской Чехословакии был создан прибор УСП, аналогичный в своем принципе работы итальянскому прибору Stereosimplex. Он также использовал в своей основе описанные выше принцип развернутой модели, а также наклонную каретку. За счет своей компактности он распространился гораздо шире СТД, что позволило создать среднемасштабную картографическую основу СССР.

Еще одним уникальным советский прибором стал СД (Стереодериватограф). Он был основал на уникальном принципе, не реализованном в прочих приборах. Вместо совмещения меток на стереомодели, их требовалось наоборот развести в стороны на параллельные оси, как при взгляде вдаль. Это позволяло оператору увидеть стереомодель местности, но без привычной плавающей отметки. Параметры рельефа определялись не напрямую, а через производные, что и дало прибору такое название.

Важной вехой в советском геодезическом приборостроении стал СТЭ-1 (Стереофотограмметрический и электронный). Разработанный в конце 1960-х годов, он использовал электронную основу и механизмы вычислительной логики. В отличие от предшественников, он уже не имел механической проекции, а использовал электронный блок для вычисления и преобразования координат. Сервомеханизмы, чертившие рельеф, также впервые были автоматизированы.

Вершиной развития универсальных стереофотограмметрических приборов СССР стал Топокарт. Этот уникальный образец был создан в начале 1980-х годов и стал аналитическим стереоплоттером в советской геодезии. Это было его принципиальное отличие от всех описанных ранее приборов. Ядром Топокарта была транзисторная ЭВМ, вычислявшая координаты и даже напрямую считывавшая их с меток стереопары. Он мгновенно производил

расчеты, а вычерчивание плана было целиком автоматизировано. Единственной задачей оператора было совмещение меток на стереомодели.

Универсальные стереофотограмметрические приборы развивались одновременно с развитием аэрофотосъемки и методами математической обработки измерений. Они прошли путь от механических аппаратов, помогавших в вычерчивании планов и карт, до автономных обрабатывающих машин, способных практически без помощи оператора обрабатывать сложные фотосхемы и повышавших производительность труда фотограмметристов в сотни раз по сравнению с ручным черчением. На пике своего развития стереографы достигли невероятного уровня и лишь в 90-е годы XX века они навсегда потеряли актуальность и окончательно уступили на производстве место цифровым средствам обработки аэрофотоснимков.

УДК 528.722

История развития отсчетных устройств оптико-механических и оптико-электронных геодезических приборов

***Дмитриев Матвей Александрович**, студент 3 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кабацкий А.В., ассистент
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Геодезию как науку о форме и размерах Земли невозможно представить без непосредственного измерения параметров земной поверхности. Для этой цели геодезисты со всего мира применяют разные по конструкции, но схожие по принципу действия приборы. Именно при помощи них каждый геодезист способен получить измерения для дальнейшей обработки и отражения в виде картографических материалов.

В течение долгого времени единственным доступным геодезистам видом приборов были оптико-механические. Их работа основана на выполнении измерений за счет реализации законов оптики и механики в конструкции прибора. Механические части обеспечивают вращение устройств прибора, а оптическая система линз пропускает свет и преобразует изображение. Однако с конца XX века в арсенал геодезиста поступил новый тип приборов – оптико-электронные. Их работа основана на все той же оптической системе, однако вместо глаза наблюдателя, снятие отсчетов производит электронное вычислительное устройство.

Оптико-механические теодолиты были укомплектованы отсчетными устройствами, рассчитанными на считывание глазом наблюдателя. Простейшим из них является шкаловый микроскоп в виде линейки, имеющей подписи и центральный штрих (Рис. 1). По совмещению вертикального штриха с делениями шкалы геодезист берет отсчет.

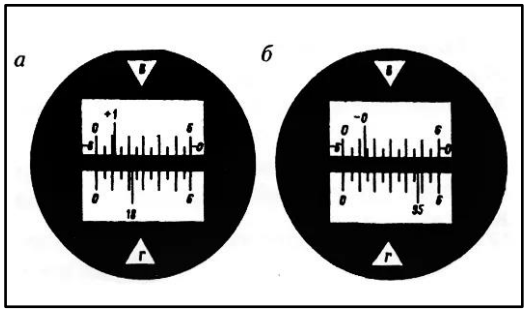


Рисунок 1 – Шкаловый микроскоп

Улучшенной версией простейшего отсчетного устройства является микроскоп-микрометр (Рис. 2). Его принцип действия основан на совмещении измерительного штриха со делениями лимба с помощью микрометренного винта. Он эффективно работает за счет способности человеческого глаза точно определять степень совмещения штрихов.

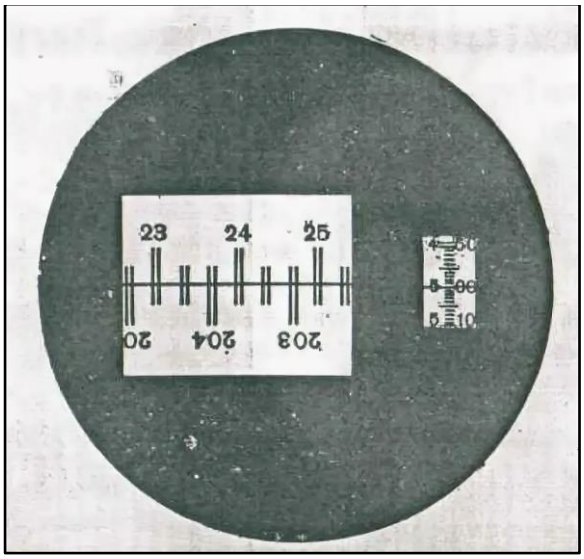


Рисунок 2 – Микроскоп-микрометр

Эти два отсчетных устройства работают за счет соотнесения измерительного штриха с делениями лимба. Лимб представляет собой прозрачный круг с делениями на нем, используемый при взятии отсчета. Он является эталоном при измерении угла, основной шкалой для считывания информации. Как правило, лимб изготавливается из оптического стекла и располагается в приборе либо горизонтально, (горизонтальный круг) либо вертикально (вертикальный круг).

Появление оптико-электронных угломерных приборов привело к внедрению совершенно нового типа отсчетных устройств, не подразумевающих использование глаза наблюдателя. В них реализован принцип машинного считывания отсчета, а геодезист лишь видит уже готовое измерение на дисплее прибора. Сейчас такие отсчетные устройства используются как в электронных теодолитах, так и в тахеометрах.

Каким же образом возможно взятие отсчета без участия наблюдателя? В основе него лежит так называемый инкрементальный метод измерения угла. Он основан не на непосредственном получении значения угла, а на оценке количества инкрементов – приращений относительно определенной начальной точки. Угол на этом отсчетном устройстве отображается дискретно разбитым на секторы, и программа прибора подсчитывает количество частей угла, отсчитанных лимбом при повороте.

Для реализации этого метода в приборах вместо обычного лимба используется особый, растровый лимб (Рис. 3). Он представляет собой стеклянный диск, на который вместо обычной шкалы нанесена растровая дорожка. Она состоит из непрозрачных штрихов поверх стеклянного круга. Эти штрихи микроскопически малы и всегда располагаются через равные промежутки под одним и тем же углом. Такая система является измерительной линейкой программы.

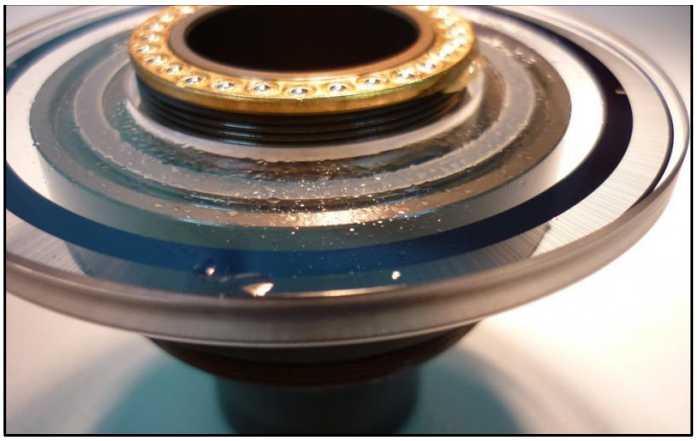


Рисунок 3 – Растровый лимб тахеометра

Считывание прибором значений с растрового лимба производится за счет светодиодной и фотоэлементной системы считывания. Она работает посредством преобразования светового сигнала в электрический. В ее основе лежит светодиод, излучающий равномерный свет. Он проходит индексную пластину и попадает на растровый лимб. Свет проникает сквозь растровый лимб на его прозрачных участках и не проходит на прочих.

Далее уже модулированные световые импульсы попадают на специальное фотоприемное устройство, которое фиксирует их. Взамен каждого пучка света, оно выпускает в систему прибора электрический ток. Закон, по которому изменяется ток, получается подобен синусоиде.

Так как основных фотоприемных сегментов в устройстве два, то сигнал со второго получается сдвинут относительно сигнала первого ровно на 90 градусов. Имеется еще третий фотоприемный канал, который напрямую не участвует в измерении, а используется в качестве определителя положения лимба. Он служит для исправления ошибок в отсчете полных оборотов лимба.

Далее свою задачу выполняет ядро отсчетной системы каждого электронного прибора – интерполятор. Это устройство преобразует аналоговые электрические импульсы в цифровое значение для получения итогового результата. Однако оно также обеспечивает высокую точность электронного прибора за счет определения фазы сигнала в пределах одного периода.

Таким образом, получается готовый отсчет, хранящийся в цифровом виде в памяти прибора. Эта особенность позволяет интегрировать его с данными GPS-систем. Полученные со спутников координаты можно сразу загружать в память и обрабатывать вместе с цифровыми результатами измерений без необходимости их дополнительного ввода самим геодезистом.

В последние годы также наблюдается тенденция использования похожих отсчетных устройств в различных геодезических сканерах. В конструкции сканера центральное место занимает приемник излучения, представляющего собой импульсы той или иной длины волны. Даже если сканер не работает в диапазоне видимого света, принцип конвертации световых сигналов в электрические часто оказывается схожим.

Распространение электронных приборов положило конец использованию механических приборов на реальном производстве. На смену им пришли тахеометры и ГНСС-приемники, позволяющие выполнять работу быстрее и качественнее, чем когда-либо до этого. Однако ничего из этого не стало бы возможным без изобретения нового типа отсчетных устройств.

Инновации повлияли не только на характер выполняемых работ, но и на квалификацию специалиста. Геодезист, работающий в поле, из измерителя превратился в оператора, задачей которого является поддержание работы оборудования. Взятие отсчетов, их запись и даже обработка теперь ведется не человеком, а самим прибором или специализированным ПО.

За время прошедшее с изобретения первого в мире теодолита и до наших дней, отсчетные устройства претерпели множество изменений. Пройдя путь от шкаловых микроскопов и микроскопов микрометров, они пришли к современным электронным устройствам, работающим за счет инкрементального измерения угла. Вместе с ними изменилась и профессия геодезиста, разделившись на десяток специализированных задач, одной из который стало оперирование электронным прибором. Дальнейшее изменение требований к специалистом также во многом будет зависить именно от развития геодезического оборудования.

УДК 528.06

Объемы для площадок разных конфигураций в ПО Civil 3D

***Зановская Дарья Сергеевна**, студент 4 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кабацкий А.В., старший преподаватель
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Autodesk Civil 3D является программным обеспечением BIM-платформы, которое было создано для многих инженерных задач: формирование генплана, проектирование дорог, инженерных сетей, трубопроводов, создание поверхностей, площадок и так далее. Как и другие ПО, поддерживающие технологию BIM, Цивил 3D предназначен для работы с объектом на всех стадиях его «жизненного» цикла. Данное программное обеспечение дает возможность проектировать геодезическое производство и одна из таких возможностей будет рассмотрена в этой статье. [1]

Civil 3D – это наиболее подходящее подспорье для создания поверхности, а в последствии – подсчета объемов земляных масс, представляющих собой насыпь и выемку, независимо от конфигурации. В Civil 3D реализована возможность наглядного представления об объемах, расстояниях и направлении перемещения грунта на диаграмме перемещения земляных масс.

Определение объемов земляных работ содержит следующие этапы: импорт результатов тахеометрической съемки в проект с настройкой алгоритма импортирования, создание/редактирование стилей в проекте, создание характерных линий, создание ЦММ, внедрение данных топографической съемки в ЦММ, создание поверхности объемов, определение объемов земляных работ

Особого внимания требует этап создания ЦММ.

Существуют различные методы создания поверхностей (*Surface DEM, Surface from TIN, Surface from GIS Data* и другие).

На данный момент будет использоваться инструмент *Create Surface (Создать поверхность)* - стандартный метод создания поверхностей. После инициализации этой опции появится окно создания поверхностей, в котором нужно указать все необходимые настройки. В данном окне можно задать имя поверхности, слой, на котором будет создана поверхность и тип поверхности. В этом же окне можно кратко описать поверхность (для чего она создана) и выбрать стиль изображения поверхности. После чего вновь созданная поверхность появится в списке *Surfaces (Поверхность), Проспектора*

(Prospector). Также при желании можно создать собственный стиль поверхности ЦММ на базе уже существующего.

Для того, чтоб передать поверхность в другой проект вместо создания поверхности заново, в системе предусмотрена возможность создать *LandXML* файл поверхности, который может быть использован в другом проекте. Для создания такого файла можно воспользоваться командой *Проспектор (Prospector)* и в падающем меню выбрать опцию *Export LandXML*.

При создании поверхности может возникнуть проблема из-за того, что характерная линия не имеет своей поверхности. Для того, чтоб это не происходило существует другой вид поверхностей – *Create Infiltration*. После активации этой функции появится запрос показать плоскость, которую нужно заполнить. В свойствах этой поверхности можно указать подходящий стиль. Пример построенной поверхности (Рис. 1).

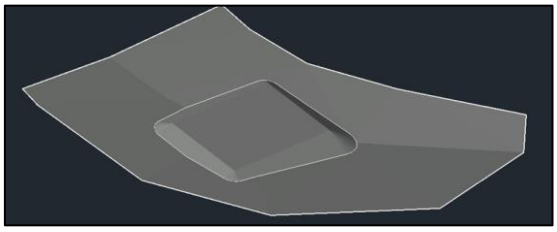


Рисунок 1 – Пример поверхности

Чтоб создать ЦММ объемов необходимо во время создания поверхности в окне *Create Surface* выбрать тип поверхности. В окне необходимо будет выбрать имя основной поверхности и поверхность сравнения. В результате получится ещё одна поверхность, у которой можно выключить видимость горизонталей. В ПО объемы рассчитываются при помощи инструмента *Volumes Dashboard (Пульт управления объемами)*. В результате появится *Доска объёмов*. Чтоб эта доска показала объёмы земляных работ надо добавить в неё только что созданную ЦММ объемов. В этой доске объёмов показан тип поверхности, стиль поверхности, а также *Cut (выемка*) и *Fill (насыпь)*. Если насыпь значительно превышает выемку и наоборот необходимо опустить площадку. Для корректировки высоты характерной линии надо использовать *Elevation Editor*. В результате нескольких попыток поднимания или опускания площадки *Доска Объемов* показала приблизительный баланс земляных работ и картограмму работ (Рис. 2).

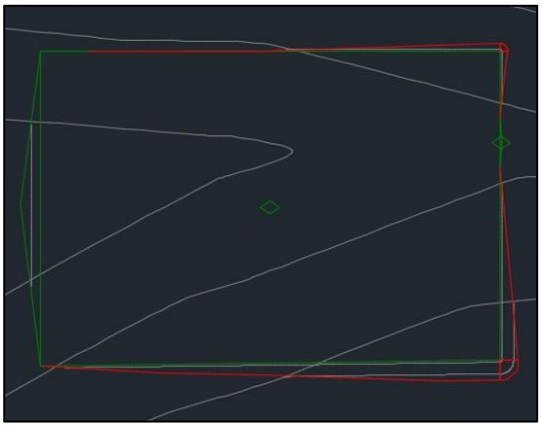


Рисунок 2 – Картограмма объемов

Как видно из (Рис. 2) выемки показаны красным цветом, а насыпи зеленом цветом. Полученные объемы можно использовать в дальнейших этапах работ.

На данный момент лидер программных продуктов в категории BIM-технологий, который позволяет предоставить наглядный материал для следующих работ, выполнить детальное проектирование и сформировать документацию – Autodesk Civil 3D. ПО предназначено для геодезистов, проектировщиков и строителей, при этом она может работать как всем привычный AutoCad. Неоспоримое преимущество Civil – это возможность «бесшовного» обмена моделями с любым ПО компании Autodesk [1].

Литература:

1. Инфраструктурные BIM-проекты [Электронный ресурс]. – URL: https://infrabim.csd.ru/articles/proektirovanie-genplana-v-civil-3d/ (Дата обращения: 27.11.2025).

УДК 528.5:624

Исследование проблем точности и надежности геодезической съемки в условиях густой растительности

***Зановская Дарья Сергеевна**, студент 4 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кашура В.Н., старший преподаватель
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Геодезическая съемка является начальным и одним из важнейших этапов при проектировании и строительстве, а также это часть инженерных изысканий, которая позволяет получить необходимую информацию о земельном участке. При сьемки земельных участков с густой растительностью возникают сложности как в организации съемочных работ, так и получении актуальных данных о рельефе. Развитие новых технологий и методов получения геодезической информации дало возможность решать эти вопросы.

В настоящее время виды геодезических съемок можно классифицировать по способу проведения:

тахеометрическая/теодолитная – съемка выполняется при помощи теодолита или тахеометра, возможность одновременно получать информацию и горизонтальных и вертикальных координатах точек на местности (универсальный метод съемки);

лазерное сканирование – технология получения цифровой трехмерной модели любого объекта в реальном масштабе;

аэрофотосъемка – процесс получения изображений местности с высоты путем использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА);

спутниковая съемка (ГНСС-съемка) – получение данных путем использования спутниковых данных и ГНСС-приемников;

комбинированная – сочетание разных методов съемки.

Согласно требованиям СН 1.02.01-2019 пункта 5.7.1.14 средние погрешности съемки рельефа относительно ближайших точек съемочной геодезической сети не должны превышать от принятой высоты сечения рельефа: 1/4 – при углах наклона до 2° включительно; 1/3 – при углах наклона свыше 2° до 6° – для планов в масштабах 1:5000 и 1:2000 и до 10°– для планов в масштабах 1:1000-1:200.

В районах с углами наклона рельефа св. 6° для планов масштабов 1:5000 и 1:2000 и св. 10° – для планов масштабов 1:1000-1:200 число горизонталей должно

соответствовать разности высот, определенных на перегибах скатов, а средние погрешности высот, определенных на характерных точках рельефа, не должны превышать 1/3 принятой высоты сечения рельефа. На залесенных участках местности указанные допуски увеличиваются в 1,5 раза. [1]

Исходя из требуемой точности выявлены следующие особенности геодезической съемки существующими методами в условиях густой растительности (Табл. 1).

Таблица 1 – Особенности съемок разными методами

Вид съемки	Особенности съемки
Тахеометрическая	Могут возникнуть трудности из-за того, что деревья создают преграду между прибором и отражателем и вследствие этого необходимо уменьшать расстояние между станциями, следовательно, увеличивается время съемки Точность высокая
Лазерное сканирование	Ограниченная дальность, соответственно затрачивается много времени на съемку Высокая стоимость оборудования Высокое детализирование местности Точность высокая
Аэрофотосъемка	Сильная зависимость от погодных условий Растительный покров может мешать отображению рельефа (однако у новейшего оборудования есть возможность исключения растительного покрова из съемки) Точность высокая при использовании актуального оборудования
ГНСС съемка (спутниковые измерения)	Высокая стоимость Могут возникнуть трудности при съемке, так как растительность создает помехи для сигнала Ограниченная видимость Точность высокая как плановая, так и высотная при условии, что сигнал приемника не будет нарушен

Комбинированный метод геодезической съемки, который содержит в себе элементы других методов и соответственно нивелирует недостатки совмещаемых технологий. Так как в каждом вышеперечисленном методе есть недостатки съемки в условиях густой растительности, самым оптимальным методом является именно комбинированный. Например, сочетание аэрофотосъемки или спутниковых измерений (для создания планово-высотного обоснования) и тахеометрической съемки (для детальной съемки на участках, где не получилось произвести съемку другими методами). Таким методом съемки можно добиться требуемой точности в соответствии с ТНПА.

УДК 528.5:624

Применение геодезических методов для контроля устройства земляного основания при строительстве автомобильной дороги

***Ковалёв Дмитрий Юрьевич**, студент 4 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кашура В.Н., старший преподаватель
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Аннотация: В рамках любых направлений дорожного строительства обеспечение долговечности и несущей способности автомобильных дорог является основной инженерно-экономической задачей. Качество и срок службы дорожного покрытия фундаментально напрямую зависят от точности устройства его земляного основания. Любые отклонения геометрических параметров (отметок, уклонов, профиля) или неоднородность уплотнения грунта на данной стадии в долгосрочной перспективе приводят к деформациям и преждевременному разрушению дорожной одежды. В докладе обосновывается тезис о важности роли геодезического контроля для качества дорожного строительства. Рассматривается использование современных геодезических методов, включая спутниковые технологии (ГНСС RTK), воздушное лазерное сканирование с применением БПЛА, высокоточное нивелирование и автоматизированные системы управления машинами, на различных этапах работ — от разбивки до приёмочного контроля. Анализируется их практическое применение на объектах национальной значимости, демонстрирующее повышение точности, более эффективное использование ресурсов и снижение рисков. Определяются перспективные направления развития, связанные с интеграцией геоданных в BIM-технологии, адаптацией нормативной базы и подготовкой профильных кадров.

Ключевые слова: геодезический контроль, земляное основание, дорожное строительство, ГНСС (GPS/ГЛОНАСС), лазерное сканирование, исполнительная документация.

Современный геодезический инструментарий.

Контроль земляного основания реализуется комплексом методов, адекватных задачам каждого технологического этапа.

На этапе подготовительных работ и разбивки ключевую роль играют спутниковые определения (ГНСС), обеспечивающие создание планово-

высотной основы, и тахеометрическая съемка для детального выноса проектных осей и границ.

Производственный этап (планировка, уплотнение) характеризуется применением технологий, интегрированных в строительные процессы. Использование ГНСС-оборудования в режиме реального времени на землеройной технике позволяет оперативно контролировать положение рабочих органов. Прогрессивным направлением является внедрение систем автоматического управления машинами, где геодезические данные непосредственно управляют гидравликой автогрейдера или катка.

Для приёмочного контроля применяются методы, гарантирующие высокую детальность и объективность. Высокоточное нивелирование предоставляет абсолютные отметки по заданной сетке. Наземное и воздушное лазерное сканирование (БПЛА) формирует детальную цифровую модель поверхности, чьё сравнение с проектом выявляет отклонения в объёмах и геометрии, не фиксируемые выборочными измерениями.

Внедрение указанных методов на объектах, демонстрирует конкретные результаты. Спутниковые технологии и автоматизация устраняют необходимость в частой установке физических разбивочных знаков, что сокращает сроки производства работ в условиях интенсивного движения техники. Данные лазерного сканирования обеспечивают увеличение точности подсчёта объёмов земляных масс, предотвращая перерасход материалов. Применение высокоточных методов при реконструкции, например, для оценки геометрии существующего покрытия перед укладкой нового слоя, позволяет принимать более рациональные проектные решения. Систематический геодезический контроль также способствует повышению управляемости строительством, что является фактором, препятствующим образованию долгостроя.

Заключение и направления развития

Современные геодезические методы образуют основу для обеспечения точности и контроля устройства земляного основания. Их применение на всех стадиях работ является необходимым условием для создания долговечных дорожных конструкций.

Среди перспективных направлений развития можно выделить:

Интеграцию геодезических данных в системы информационного моделирования (BIM) для управления объектом протяжении всего цикла.

Развитие нормативно-технической базы, регламентирующей применение методов лазерного сканирования и ГНСС для исполнительной документации.

Адаптацию образовательных программ для подготовки квалифицированных специалистов в области современных геодезических технологий и их применения в дорожной отрасли.

Таким образом, совершенствование геодезического сопровождения представляет собой фундаментальный компонент в решении задачи создания качественной и надёжной дорожной сети.

Литература:

1. СН 3.03.04-2019. Автомобильные дороги – – Введ. 2019.12.26. – Мн. : РУП «СТРОЙТЕХНОРМ», 2020.
2. Подшивалов, В.П., Инженерная геодезия / В.П. Подшивалов, М.С. Нестеренок [изд. 2-е, Мн.: Вышэйшая школа, 2014 – 463с.

УДК 624.21

Влияние крупных городов на природную среду (на примере Беларуси)

***Костючков Иван Александрович**, студент 1 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Гармаза О.Е., старший преподаватель кафедры
«Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Крупные города являются центрами экономической и социальной жизни, но одновременно выступают и как мощнейшие источники антропогенного воздействия на окружающую среду. Урбанизированные территории, где в Беларуси проживает более 72% населения, концентрируют промышленность, транспорт и потребление ресурсов, что приводит к глубокой трансформации природных систем. Экологическая ситуация в стране, при относительно стабильном общем фоне, характеризуется рядом острых проблем, наиболее выраженных именно в городских агломерациях. Данный реферат рассматривает ключевые направления воздействия крупных городов на природные компоненты (атмосферу, гидросферу, почвы) и анализирует комплекс мер, направленных на смягчение этого воздействия и обеспечение устойчивого развития в условиях Беларуси.

Загрязнение атмосферного воздуха - один из наиболее значимых видов воздействия. Основными источниками являются автотранспорт, энергетика (ТЭЦ) и промышленные предприятия. В выбросах содержатся такие опасные вещества, как диоксид азота (NO_2), оксид углерода (CO), диоксид серы (SO_2), формальдегид и взвешенные частицы (пыль, PM10, PM2.5).
По данным мониторинга Белгидромета, состояние воздуха в большинстве промышленных центров Беларуси оценивается как «очень хорошее», «хорошее» или «умеренное». Однако проблемными остаются содержание твердых частиц (Гомель, Брест, Жлобин), диоксида азота (Могилев, Жлобин) и формальдегида (Пинск, Бобруйск, Гродно, Брест).

Пространственная картина загрязнения неравномерна: наиболее высокие уровни техногенного воздействия отмечаются в Минском, Гомельском, Витебском и других районах с крупными промышленными центрами. Помимо прямого вреда для экосистем (кислотные дожди, повреждение растительности), загрязнение воздуха является серьезной угрозой здоровью горожан, повышая риски респираторных, сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний.

Крупные города выступают как масштабные потребители воды и источники загрязнения гидросферы. Основная нагрузка связана со сбросом недостаточно очищенных сточных вод коммунального и промышленного происхождения. Хотя за период 2000–2022 гг. объем сброса сточных вод в поверхностные водные объекты в Беларуси несколько снизился, проблема их качества остается актуальной.

Положительной тенденцией является снижение удельного водопотребления на коммунальные нужды — с 214 л/сут на человека в 2000 году до 137-154 л/сут в последнее десятилетие. Это свидетельствует о повышении эффективности водопользования, но не снимает вопросов о необходимости модернизации очистных сооружений и предотвращении попадания в водотоки загрязняющих веществ с городских территорий.

Накопление отходов производства и потребления — одна из острых урбоэкологических проблем. Динамика образования отходов в Беларуси неоднородна: если выбросы в атмосферу снижаются, то объем образования производственных отходов за период 2000–2021 гг. увеличился в 2,6 раза. Значительную часть составляют отходы горнодобывающей промышленности (например, галитовые отходы и глинисто-солевые шламы калийного производства), которые накапливаются в солеотвалах. Позитивным фактором является рост использования (утилизации) отходов производства — с 15% в 2000 году до 46,6% в 2022 году.

Озеленение признано ключевым направлением экологизации городской среды в Беларуси и закреплено в республиканских нормативах. Согласно техническим нормативам, уровень озелененности городов должен быть не менее 40% от застроенной площади, а в жилых районах — не ниже 25%. Нормы обеспеченности ландшафтно-рекреационными территориями (парки, скверы) варьируются от 8 до 21 м² на человека в зависимости от численности населения города.

Зеленые насаждения выполняют множество функций: санитарно-гигиеническую (очистка воздуха, шумопоглощение), рекреационную и средостабилизирующую (защита почв, регулирование микроклимата). В рамках Года благоустройства и программ устойчивого развития в стране реализуются масштабные проекты по высадке деревьев и созданию новых рекреационных зон.

В Беларуси действует развитая Национальная система мониторинга окружающей среды (НСМОС). Мониторинг атмосферного воздуха осуществляется сетью из 67 стационарных пунктов в 19 промышленных городах, включая автоматические станции, передающие данные в реальном времени. Это позволяет оперативно оценивать качество воздуха по индексу ИКАВ и

принимать управленческие решения. Регулярная публикация данных (например, о городах с самым чистым воздухом) повышает информированность общества и органов власти.

Снижение нагрузки требует скоординированных действий во многих секторах:

энергетика и промышленность: внедрение чистых технологий, повышение энергоэффективности, развитие возобновляемой энергетики;

транспорт: приоритет развитию общественного электротранспорта, вело- и пешеходной инфраструктуры, переход на более экологичные виды топлива;

градостроительное планирование: компактная застройка, недопущение сокращения зеленых зон, создание санитарно-защитных зон;

сохранение природного каркаса: важную роль играет система особо охраняемых природных территорий (ООПТ), которые в Беларуси занимают 9.1% площади и служат эталонами естественных экосистем и резервуарами биоразнообразия.

Крупные города Беларуси оказывают многоплановое и значительное воздействие на природную среду, проявляющееся в загрязнении атмосферного воздуха, водных объектов и накоплении отходов. Однако в стране сформирован системный подход к решению этих проблем. Он базируется на развитой нормативно-правовой базе, функционировании эффективной системы экологического мониторинга, реализации масштабных программ по озеленению и благоустройству, а также на интеграции экологических принципов в градостроительную, транспортную и промышленную политику. Дальнейшее движение по пути «зеленых городов», внедрение наилучших доступных технологий и повышение экологической культуры населения являются залогом достижения баланса между урбанизацией и сохранением благоприятной окружающей среды для нынешних и будущих поколений.

УДК 551.462

Морская геоморфология

***Маркевич Максим Вадимович**, студент 1 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Гармаза О.Е., старший преподаватель кафедры
«Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Береговая зона представляет собой комплексную систему, определяемую как прибрежная полоса моря, состоящая из трех основных элементов: берег, подводный склон и пляж. Берег - это полоса суши, которая несет на себе явные морские формы рельефа (например, террасы, валы). Его морфология формируется под прямым влиянием волн, ветра и приливов. Склон - это часть подводной зоны, простирающаяся от уреза воды до некоторой глубины, где волновое воздействие прекращается или становится минимальным. Он обладает особым, часто изменчивым, рельефом (банки, борозды).

Пляж - ключевое аккумулятивное образование, состоящее из рыхлых наносов (песок, галька, ил), расположенное в верхней части береговой зоны, где происходит непосредственный заплеск волн.

Граница между сушей и морем определяется как береговая линия, которая представляет собой среднемноголетний уровень воды, служащий важным картографическим и геодезическим ориентиром. Взаимодействие этих элементов определяет общую структуру системы. Прибрежье часто используется как синоним взморья - части акватории в пределах береговой зоны, где происходят основные волновые и прибойные процессы. Надводная часть, прилегающая к берегу и также несущая следы морского воздействия, называется побережьем.

Динамика береговой зоны - это совокупность физических процессов (волновых, ветровых, гидродинамических), локализованных в данной области. Эти процессы приводят к постоянному перемещению материала и изменению рельефа.

Движущие силы делятся на: активные факторы - обладают достаточной кинетической энергией для инициирования и поддержания перестройки берега (например, штормовые волны, сильные течения), пассивные факторы - не обладают достаточной энергией для самостоятельного изменения берега, но влияют на интенсивность активных процессов, например: тип донного грунта, наличие растительности, геологическое строение берега. Главным активным

фактором, безусловно, является волнение - распространение волн по поверхности моря, создающее мощное волновое поле, или энергетическое поле волнения в береговой зоне.

Динамика берега сводится к двум противоположным процессам - разрушению суши и накоплению материала.

Абразия – это процесс разрушения коренного берега механическим воздействием волн и переносимых ими наносов. В результате абразии формируются характерные формы рельефа. Клиф - обрывистый береговой уступ, формирующийся в результате подмыва основания волнами.Бенч - горизонтальная или слабонаклонная подводная полоса (платформа) перед клифом, сложенная коренными породами, очищенными от рыхлых наносов абразионными процессами. Также существует термин бенч-терраса для обозначения подобных горизонтальных площадок.

Медленное перемещение наносов под действием силы тяжести и волнового воздействия по склону называется крип.

Аккумуляция - это процесс накопления рыхлого материала (наносов) в местах снижения энергии потока. Эти процессы напрямую связаны с балансом наносов - соотношением прихода и расхода материала в конкретном секторе береговой зоны. Положительный баланс приводит к росту аккумулятивных форм.

Ключевые аккумулятивные формы включают:береговой вал - аккумулятивная форма в виде вытянутого возвышения вдоль верхней кромки пляжа, часто формирующаяся во время штормов , коса - вытянутая намывная форма, вдающаяся в акваторию моря, часто в устье реки , трелка - острая оконечность косы , пересыпь - песчаная перемычка, которая полностью или частично отделяет от моря водоем, образуя лагуну (отчлененный от моря водоем), береговой бар - подводное или надводное поперечное намывное образование (гряда). Пляжевый материал определяет состав этих отложений и их устойчивость к размыву.

Динамика береговой зоны управляется сложной системой гидродинамических процессов. Главным механизмом переноса энергии и материала является волновое поле.

Волнение - это колебательное движение водной массы, вызванное в основном ветром. Когда волны достигают мелководья, они трансформируются, их высота увеличивается, а длина уменьшается. В конечном итоге волна обрушивается в волноприбойной зоне. В этой зоне происходит интенсивное движение воды. Прибойный поток характеризуется возвратно-поступательным движением воды: накат волны на пляж и откат воды (тягун) обратно в море. Верхняя граница этого потока на пляже называется линией заплеска.

В пределах береговой зоны возникают прибрежные течения, которые играют ключевую роль в транспорте наносов вдоль берега.

Береговая система стремится к состоянию равновесия. Профиль равновесия - это оптимальная, устойчивая форма подводного склона и пляжа, которая устанавливается при данных условиях волнения и заданном объеме наносов. Ключевым понятием здесь является баланс наносов - соотношение между объемом материала, поступающего в систему (приход), и объемом материала, покидающего ее (расход).

Если приход превышает расход, происходит аккумуляция (пляж растет).Если расход превышает приход, происходит абразия (пляж размывается, берег отступает).

Транспорт материала может происходить как вдоль берега (лонгитудинальный транспорт), так и поперек (трансверсальный транспорт). Мутьевые потоки (потоки с высокой концентрацией взвешенных частиц) могут перемещать значительные объемы мелкого материала в более глубокие части акватории.

Кратковременные и долговременные изменения уровня моря оказывают значительное влияние на динамику берегов.

Изменения уровня воды, не связанные с приливами или волнением, называются нагонами. Волновой нагон – это повышение уровня воды, вызванное непосредственным давлением и накатом штормовых волн на берег. Ветровой нагон – это подъем уровня воды у побережья за счет сгона поверхностного слоя воды сильным ветром в сторону берега. Эти явления критически усиливают абразию и могут приводить к наводнениям в прибрежных низменностях.

УДК 624.21

Нейросетевой подход к решению задачи идентификации номенклатуры по геодезическим координатам

Мартинкевич Глеб Юрьевич*, *Поченчук Кирилл Андреевич, *студенты 3 курса кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»*
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Будо А.Ю., старший преподаватель кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Современный этап развития геодезии и картографии неразрывно связан с внедрением информационных технологий и автоматизацией процессов обработки пространственных данных. Одной из базовых задач при работе с крупномасштабными картами и планами является определение номенклатуры листа по известным геодезическим координатам. Эта процедура необходима для структурирования информации в геоинформационных системах (ГИС), ведения кадастровых реестров и организации картографических архивов.

Традиционный подход к определению номенклатуры базируется на иерархическом принципе разграфки международной карты. Процесс представляет собой последовательное деление листа карты, содержащего искомый объект, на более мелкие квадраты в соответствии с принятым масштабным рядом. С каждым шагом итерации происходит увеличение точности локализации объекта и уменьшение масштаба, что позволяет постепенно формировать буквенно-цифровой индекс — итоговое значение номенклатуры карты.

Целью данной работы является исследование возможности применения нейросетевого подхода для решения задачи идентификации номенклатуры, а также сравнительный анализ результатов, полученных при использовании популярных онлайн-нейронных моделей, способных распознавать структурированные данные, обрабатывать текстовые файлы и производить анализ таблиц, с значениями, полученными в ходе ручной обработки карты. В статье отдельное внимание уделяется вопросу автоматизации: рассматриваются преимущества программной обработки по сравнению с ручными методами и оцениваются текущие возможности нейросетей в геодезии.

Для проведения работ в качестве изучаемого объекта была выбрана центральная площадь г.Малорита, Брестской области, Республики Беларусь, имеющая координаты 51°47'30.2"N 24°05'01.5"E в системе WGS-84.

Для получения значений номенклатуры карты ручным способом была проведена разграфка географических координат многолистной обзорной топографической карты масштаба 1:1000000 (одна миллионная) на всю поверхность земного эллипсоида. Затем, для получения положения листов топографической карты масштаба 1:100000 (одна стотысячная) стороны трапеции масштаба 1:1000000 были поделены на 12 равных частей и, проведя соответствующие меридианы и параллели, получено 144 трапеции (рамки) карт масштаба 1:100000, которые были пронумерованы по порядку. Номенклатура листов данного масштаба имеет вид N-35-1, N-35-2 и т. д. В градусной мере каждая трапеция равна 20' по широте и 30' по долготе. Рамки карт масштаба 1:50000 (одна пятидесятитысячная) получили разграфкой листов карт масштаба 1:100000 на 4 части, которые обозначили заглавными буквами русского алфавита А, Б, В, Г. Рамки карт масштаба 1:25000 (одна двадцати пятитысячная) получили разграфкой листов карты масштаба 1:50000 на 4 части, которые обозначили строчными буквами русского алфавита а, б, в, г. Рамки карт масштаба 1 : 10000 (одна десятитысячная)были образованы разграфкой листов карт масштаба 1:25 000 на 4 части, которые обозначили арабскими цифрами от 1 до 4 [1, с.11].

Так же возможно получение номенклатуры карты меньшего масштаба путем перехода от трапециевидной разграфки (к которой относятся масштабы от 1:1000000 до 1:10000) к квадратной разграфкой (масштабы 1:5000 и 1:2000).

Рамки топографических карт (планов) масштаба 1:5000 (одна пятитысячная) образованы разграфкой листов карт масштаба 1:100000 на (16×16) = 256 частей, каждый план масштаба 1:5000 обозначен порядковым номером, заключенным в скобки. Рамки планов масштаба 1:2000 получены разграфкой листа плана масштаба 1:5000 на 9 частей, обозначаемых строчными русскими буквами, а, б, …, з, и, например, N-35-16 (241-е) [1, с.14].

После проведения ручной разграфки карты и получения истинных значений номенклатуры, на выбранном объекте была выполнена проверка пригодности использования искусственного интеллекта для получения обработанных значений в автоматическом режиме. В качестве онлайн-нейронных моделей, способных распознавать структурированные данные, обрабатывать текстовые файлы и производить анализ таблиц со значениями, полученными в ходе ручной обработки карты, были выбраны следующие платформы: Chat GPT, Gemini, Copilot by Microsoft, DeepSeek и Julius Ai.

Для обеспечения чистоты эксперимента и сравнимости полученных результатов, обработка данных всеми испытуемыми платформами осуществлялась на основе единого, стандартизированного входного запроса (Рис. 1).

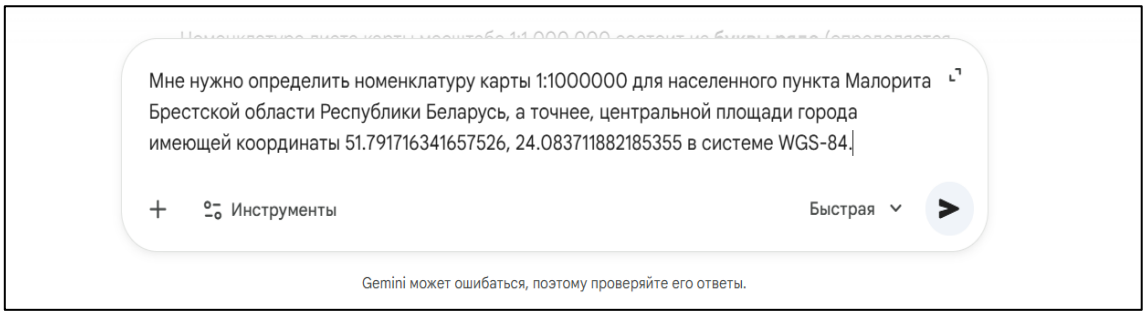


Рисунок 1 – Запрос (промпт) использовавшийся для нейросетей

Сделав ряд запросов нейросетям и собрав всю статистику ответов, были получены данные (Табл. 1).

Таблица 1 – Результаты запросов нейросетей

Масштабы	Название нейросети	Результат
1	2	3
1:1000000	Chat gpt	М-35
1:100000	Chat gpt	М-35-1
1:50000	Chat gpt	М-35-1-В
1:25000	Chat gpt	М-35-1-В-а
1:10000	Chat gpt	М-35-1-В-а-2
1:5000	Chat gpt	М-35-1-147
1:2000	Chat gpt	М-35-1-147-и
1:1000000	Gemini	М-35
1:100000	Gemini	М-35-Б
1:50000	Gemini	М-35-Б-I
1:25000	Gemini	М-35-Б-I-а
1:10000	Gemini	М-35-Б-I-а-8
1:5000	Gemini	М-35-Б-I-а-8-в
1:2000	Gemini	М-35-Б-I-а-8-в-1
1:1000000	Copilot by microsoft	М-35
1:100000	Copilot by microsoft	М-35-31
1:50000	Copilot by microsoft	М-35-31-С
1:25000	Copilot by microsoft	М-35-31-С-3
1:10000	Copilot by microsoft	М-35-31-С-3-С
1:5000	Copilot by microsoft	М-35-31-С-3-С-К
1:2000	Copilot by microsoft	М-35-31-С-3-С-К-3
1:1000000	DeepSeek	N-35
1:100000	DeepSeek	N-35-1
1:50000	DeepSeek	N-35-1-B
1:25000	DeepSeek	N-35-1-B-a
1:10000	DeepSeek	N-35-1-B-a-2
1:5000	DeepSeek	N-35-1-Г-6-3-А

Окончание таблицы 1

1	2	3
1:2000	DeepSeek	N-35-1-Г-6-3-А-3
1:1000000	Julius Ai	М-35
1:100000	Julius Ai	М-35-Б
1:50000	Julius Ai	М-35-Б-I
1:25000	Julius Ai	М-35-Б-I-а
1:10000	Julius Ai	М-35-Б-I-а-8
1:5000	Julius Ai	М-35-Б-I-а-8-2
1:2000	Julius Ai	М-35-Б-I-а-8-2-2

Эмпирический анализ, проведенный на выборке из пяти современных нейросетевых моделей, выявил низкий коэффициент успешности в задаче многоступенчатого определения номенклатуры топографических карт, привязанной к точным географическим координатам. Достижение полной точности до масштаба 1:2000 было зафиксировано лишь в 20% случаев (одна модель), в то время как остальные образцы продемонстрировали частичное понимание алгоритма, ограничиваясь корректной обработкой до масштабов 1:10000 (3 модели) и 1:25000 (1 модель). Данный статистический результат указывает на ограниченную способность большинства неспециализированных универсальных моделей к последовательной экстраполяции сложных, многошаговых логических операций, основанных на строгих картографических правилах разграфки и номенклатуры. Нейросеть, продемонстрировавшая успешное выполнение задачи, фактически устанавливает концептуальный прецедент, подтверждая принципиальную решаемость задачи для ИИ.

Хотя нейросети демонстрируют значительный прогресс и уже успешно используются для улучшения результатов и облегчения жизни в других областях геодезии (например, в классификации данных LiDAR, автоматическом распознавании объектов на снимках и коррекции атмосферных ошибок GNSS-измерений), их возможности в области получения номенклатуры карт по-прежнему остаются на слишком низком уровне для успешного и надежного использования на постоянной основе.

Следовательно, на данный момент в геодезическом производстве вместо нейросетей для получения номенклатуры карт мы продолжаем пользоваться специализированным геодезическим программным обеспечением. Это ПО, такое как программы для ГИС (ArcGIS, QGIS), системы автоматизированного проектирования (AutoCAD Civil 3D) или узкоспециализированные картографические и геодезические модули (например, для разграфки), разработано с жестко прописанными алгоритмами и математическими правилами, которые гарантируют 100% точность соблюдения государственных

стандартов разграфки и номенклатуры, исключая любые вероятностные или логические ошибки, свойственные текущим нейросетевым моделям.

Вывод: в ходе данной работы для определения номенклатуры карт масштабов от 1:1000000 до 1:2000 был успешно применен ручной, последовательный метод, основанный на строгих картографических правилах разграфки. Параллельно была предпринята попытка автоматизированного получения номенклатуры с использованием современных нейросетевых моделей. Результаты эмпирического тестирования показали достаточно низкий уровень надежности нейронных моделей в этой узкоспециализированной задаче: лишь 20% протестированных образцов смогли выполнить многоступенчатый логический расчет с полной точностью, необходимой для мелких масштабов. Это свидетельствует о том, что, несмотря на значительный потенциал нейросетей в других областях геодезии (таких как классификация данных и анализ изображений), их текущие возможности в области вычислительной и строго логической последовательности, требуемой для получения номенклатуры, недостаточны для использования на постоянной основе в производственных целях. Следовательно, на данный момент геодезическая практика продолжает полагаться на специализированное программное обеспечение, гарантирующее максимальную точность соблюдения стандартов разграфки.

Литература:

1. Нестерёнок М.С. Изучение топографических карт. Методические указания и задания к расчетно-графической работе / М.С. Нестерёнок, А.Ю. Будо, Н.О. Куприенко – Минск: БНТУ, 2011. – 58 с.
2. ChatGPT [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа:https://chatgpt.com/ (дата обращения: 22.11.2025).
3. Gemini [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://gemini.google.com/ (дата обращения: 22.11.2025).
4. Copilot [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://copilot.microsoft.com/ (дата обращения: 23.11.2025).
5. DeepSeek [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://www.deepseek.com/ (дата обращения: 23.11.2025).
6. Julius AI [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://julius.ai/ (дата обращения: 23.11.2025).

УДК 528.5:624

Анализ возможностей применения технологии интернета вещей в геодезии

***Момотюк Даниил Леонидович**, студент 4 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кашура В.Н., старший преподаватель
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Технология «Интернета вещей» (далее IoT) быстро завоёвывает различные отрасли промышленности и управления, предлагая новые возможности для сбора и анализа данных в режиме реального времени. Под IoT обычно понимают сеть взаимосвязанных интеллектуальных устройств (сенсоров, приборов и пр.), способных самостоятельно обмениваться данными без постоянного участия человека.

В ближайшее время развитие IoT эксперты считают одним из ключевых технологических трендов, влияющих на инфраструктуру «умных» городов, мониторинг окружающей среды и автоматизацию производственных процессов.

Геодезическая отрасль, связанная с измерением и мониторингом пространственных данных, естественно привлекает это внимание. В Республике Беларусь актуализация вопроса особенно подкреплена внедрением национального стандарта СТБ 2623-2023 «Интернет вещей. Термины и определения». В данном реферате рассмотрены основы IoT, возможные области применения в геодезии, примеры практической реализации, а также преимущества и задачи внедрения этой технологии, с учётом национальных и международных норм.

IoT представляет собой систему, объединяющую устройства в единую компьютерную сеть и позволяющую им собирать, анализировать, обрабатывать и передавать данные друг другу. Важнейшей особенностью является автономность устройств: они оснащаются уникальными идентификаторами и способны взаимодействовать друг с другом через интернет без участия человека.

Технически система IoT включает в себя три базовых уровня: датчики и «вещи» (физические объекты), каналы связи (Wi-Fi, BLE, LoRaWAN, 3G/4G и др.), а также облачные или локальные платформы для хранения и обработки данных. Собранная информация зачастую представляет собой «большие данные», которые анализируются инструментами Big Data и ИИ. Ключевой задачей IoT-систем является получение непрерывной телеметрии от множества устройств и оперативное принятие решений на её основе [1].

Интернет вещей расширяет традиционные геодезические функции за счёт интеграции с автоматизированными сетями сенсоров. В первую очередь это касается мониторинга инфраструктуры и природной среды. Так, на объектах строительства, инженерных сооружений, карьерах и линиях связи можно устанавливать беспроводные датчики (датчики деформаций, наклона, вибрации и пр.) для круглосуточного наблюдения без участия оператора. Например, в Новосибирске разработан проект MonCenter для спутникового геодезического мониторинга инженерных конструкций с помощью автономных ГНСС-датчиков

В городах IoT-сети сенсоров позволяют вести наблюдение за уровнем загрязнения воздуха, шумовым фоном, транспортом и прочими параметрами в реальном времени. В частности, учёные МИИГАиК предложили систему детального воссоздания «геополя» крупных территорий на базе сети подвижных и стационарных геосенсоров для комплексного мониторинга городской среды. Кроме того, геопорталы на основе LoRaWAN позволяют бесплатно пересылать телеметрию с удалённых устройств и управлять ими. Недавняя разработка предлагает архитектуру, где IoT-устройства объединены вокруг шлюзов, а обмен данными идёт внутри собственной LoRaWAN-сети без привлечения внешних операторов, что многократно снижает стоимость эксплуатации систем мониторинга.

IoT также активно проникает в землеустроительные, кадастровые и картографические работы: умные тахеометры и нивелиры могут передавать данные в облако, а беспроводные GNSS-станции создают гибкие сети высокоточной привязки. В сельском хозяйстве используемые в геодезии датчики почвенной влажности и дроны могут быть частью общей IoT-инфраструктуры точного земледелия (оптимизация посевов, орошения, учёт рельефа).

В мировой практике уже имеются проекты, демонстрирующие IoT в геодезии. Так, комплекс MonCenter (СГУГиТ) – это софт и железо для непрерывного мониторинга сооружений. В его основе лежат недорогие автономные ГНСС-приёмники и открытое ПО RTKLIB; система обеспечивает точность контроля высотных перемещений на уровне десяти миллиметров за месяцы работы [2].

В городе Алматы реализованы пилотные IoT-сети для мониторинга мостов и дамб с беспроводными инклинометрами и метеодатчиками. В Европе «умные» геодезические станции подключены через мобильный интернет для дистанционного обновления данных координат. В Республике Беларусь разработки пока на стадии пилотов: некоторые компании рассматривают внедрение телеметрических датчиков для контроля состояния сетей инженерных коммуникаций и наблюдения за деформациями грунтовых сооружений. В сельском хозяйстве Белоруссии возможна интеграция GNSS-модулей и датчиков

влажности в IoT-сети фермерских хозяйств. Отмечается, что применение IoT создает качественно новый уровень доступности и скорости геоданных. По данным аналитиков, автоматизация измерений с помощью IoT позволяет: оперативно получать информацию, сокращать трудозатраты и ошибки человека, а также удешевлять процессы за счёт дистанционного управления и самодостаточных датчиков [3].

Внедрение IoT в геодезическую практику даёт ряд серьёзных преимуществ. Прежде всего это прозрачность и непрерывность мониторинга: вместо разовых полевых выездов создаётся сеть постоянных наблюдений. Необходимо эффективное управление огромными потоками данных (Big Data), что предъявляет требования к каналам связи и аналитическим платформам. На данный момент ключевой барьер – отсутствие единых стандартов и стандартных архитектур в IoT, что затрудняет интеграцию разных решений.

Для преодоления этих трудностей требуются координация промышленности и государства, а также обучение специалистов новым цифровым методам.

Использование стандартов важно для обеспечения совместимости датчиков, протоколов и сервисов. Так, прямое обращение к терминам СТБ 2623 позволяет синхронизировать белорусский подход с международными: в стандарте дано определение IoT как «сети сетей уникально идентифицируемых объектов… способных взаимодействовать друг с другом без участия человека». Отсутствие подобных правил ранее усложняло внедрение IoT-решений. В будущем ожидается появление «типовых архитектур» IoT (например, в проекте СТБ для национальных городских систем), что позволит геодезистам выбирать готовые схемы организации сетей сенсоров и связи по установленным правилам [4].

Интеграция технологий Интернет вещей открывает для геодезии новые возможности в сборе и анализе пространственных данных. IoT позволяет перейти от разовых полевых измерений к непрерывным автоматизированным системам мониторинга, повысить оперативность и точность работ, а также создать «умные» геопорталы для управления территорией. Примеры первых IoT-проектов в геодезии (локальные GNSS-сети MonCenter, системы на базе LoRaWAN и др.) демонстрируют потенциал такой интеграции. Вместе с тем для её успешного развития необходимо решать задачи безопасности, стандартизации и подготовки персонала. Национальные стандарты (СТБ 2623-2023 и смежные) служат фундаментом для унификации подходов. Ожидается, что при поддержке государства и научного сообщества технология IoT сможет стать неотъемлемой частью будущей геодезии Республики Беларусь, обеспечивая более эффективное управление пространственными данными и инфраструктурой [5].

Литература:

1. Клейменова Л.И. Что такое интернет вещей и как он устроен [Электронный ресурс]. – URL: https://trends.rbc.ru/trends/industry/5db96f769a7947561444f118 (Дата обращения: 01.12.2025).
2. Карпик А.П., Мареев А.В., Мамаев Д.С. Свободное программное обеспечение для геодезического мониторинга MonCenter // Вестник СГУГиТ. – 2022. – № 5. – С. 43–54.
3. Даченкова Т. В России разработана адаптивная технология мониторинга крупных территорий [Электронный ресурс]. – URL: https://iot.ru/monitoring/v-rossii-razrabotana-adaptivnaya-tekhnologiya-monitoringa-krupnykh-territoriy (Дата обращения: 01.12.2025).
4. Ямашкин С.А., Ямашкин А.А. Управление природно-социально-производственными системами на основе концепции интернета вещей: геопортальный подход // Геодезия и картография. – 2023. – № 9. – С. 34–43.
5. СТБ 2623-2023 Интернет вещей. Термины и определения / Госстандарт РБ. – Минск, 2023. – 17 с.

УДК 528.06

Вычисление объёмов земляных масс различными способами

***Моторная Дарья Александровна**, студент 4 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кабацкий А.В., старший преподаватель
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

В данном исследовании мы рассмотрим вычисление объёмов различными способами и выясним какой из них оказался наиболее точным.

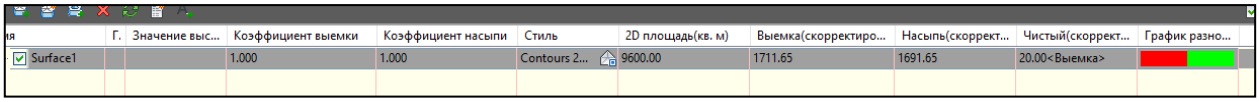
Для проектной отметки была взята отметка центра тяжести черной поверхности.

В данной работе были представлены три метода вычисления объёмов:

1. Civil 3D
2. КРЕДО ТОПОГРАФИЯ
3. Формулы Стрельчевского

Рассмотрим первый способ вычисления объёмов с помощью программного продукта Civil 3D. Для подсчета объёмов нам потребуется создать две поверхности: проектную (красную) и чёрную.

Для начала следует сделать импорт точек в программу. Далее создаем две группы точек с названиями, соответствующими названиям поверхностей, то есть группа точек чёрная и проектная. Далее переходим к созданию поверхностей и добавляем группу точек в одноименные поверхности. После этого можем переходить к подсчётам объёмов, результатом станут объёмы насыпи и выемки, представленные на (Рис. 1).



ия	Г.	Значение выс...	Коэффициент выемки	Коэффициент насыпи	Стиль	2D площадь(кв. м)	Выемка(скорректиро...	Насыпь(скоррект...	Чистый(скоррект...	График разно...
Surface1			1.000	1.000	Contours 2...	9600.00	1711.65	1691.65	20.00<Выемка>	

Рисунок 1 – Результат объёмов в Civil 3D

Рассмотрим второй способ расчетов объёмов с помощью программного продукта КРЕДО Топография. Для начала создаём два слоя с названиями проектные и чёрные. Поочередно на каждый слой импортируем точки из блокнота (проектные точки на проектный слой). Далее создаём две поверхности: черная и проектная. В заключении переходим к подсчёту выемки и насыпи, результат расчётов объёмов в программном продукте кредо топография можно увидеть на рисунке 2.

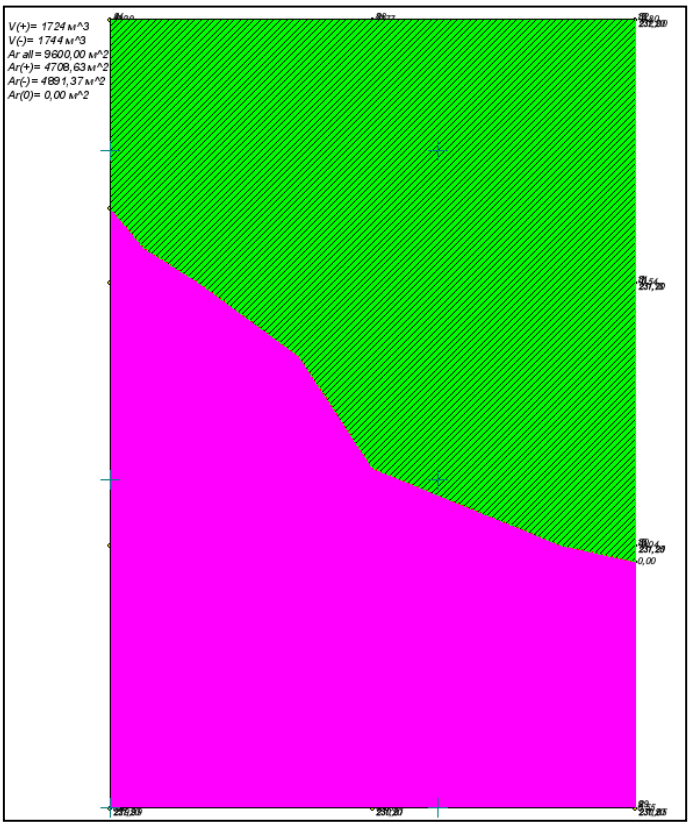


Рисунок 2 – Результат объёмов в КРЕДО Топография

Последний метод, который выполнялся с помощью формул Стрельчевского стоит начать с вычисления разности проектной отметки и фактической. Полученные превышения представлены на (Рис. 3).

	проектная	черная	превышения
1	231,196	229,992	1,204
2	231,196	230,621	0,575
3	231,196	231,082	0,114
4	231,196	231,483	-0,287
5	231,196	230,611	0,585
6	231,196	231,103	0,093
7	231,196	231,421	-0,225
8	231,196	231,963	-0,767
9	231,196	230,65	0,546
10	231,196	231,233	-0,037
11	231,196	231,733	-0,537
12	231,196	232	-0,804

Рисунок 3 – Разность отметок

По рисунку мы можем видеть, что точки 1, 2, 3, 5, 6, 9 – насыпь, а 4, 7, 8, 10, 11, 12 – выемка. Далее в каждом квадрате считаем суммы отметок со знаком «+» и «-». Суммы отметок в каждом квадрате считаются без учёта знака, по модулю. Объём насыпи или выемки в каждом квадрате считаются по формулам:

$$V_{\text{н}} = \frac{a^2 \sum h^2_{\text{н}}}{4 \sum |h|}$$

$$V_{\text{в}} = \frac{a^2 \sum h^2_{\text{в}}}{4 \sum |h|}$$

Итоговые объёмы выемки и насыпи: 1681,6 м^3 и 1680,4 м^3 соответственно.

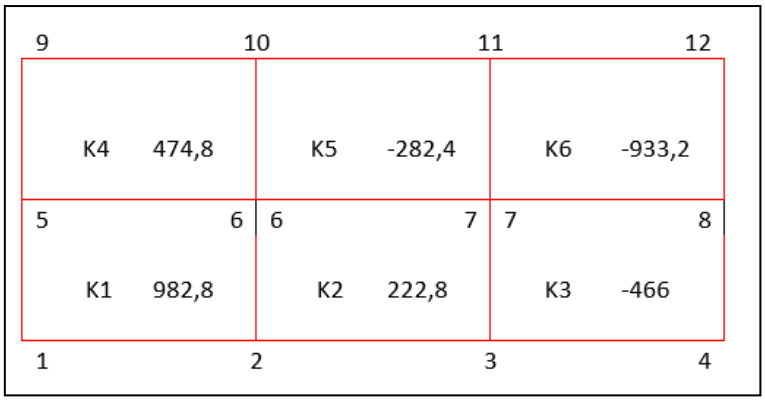


Рисунок 4 – Схема квадратов

Таким образом исследование показало, что данные способы вычисления объёмов достаточно точны, так как расхождение между вычисленными объёмами данными способами составляет менее 3%.

УДК 528.4

Архитектура единой информационной системы кадастрового учета и мониторинга недвижимости на региональном уровне

***Рабецкий Тимофей Анатольевич**, студент 2 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Будо А.Ю., старший преподаватель
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Архитектура единой информационной системы кадастрового учета и мониторинга недвижимости на региональном уровне в Республике Беларусь (Рис. 1) представляет собой комплексный многоуровневый информационно-технический комплекс, направленный на интеграцию данных о земельных и имущественных объектах для мониторинга, учета и принятия управленческих решений. Такая система строится на основе государственных кадастровых данных, современных геоинформационных технологий (ГИС), аэрокосмического зондирования и цифровых моделей объектов недвижимости, что позволяет обеспечить прозрачность, актуальность и доступность информации на региональном уровне.



Рисунок 1 – Пример кадастровой карты Беларуси

В основе системы лежит единый государственный регистр недвижимости (ЕГРН), который аккумулирует сведения о правах, ограничениях и сделках с объектами недвижимости. Информационная система взаимодействует с региональными геодезическими и кадастровыми службами, обеспечивая актуализацию данных в режиме реального времени.

Вклад кафедры Геодезии и Аэрокосмических геотехнологий Белорусского национального технического университета заключается в разработке методов сбора и обработки пространственных данных для формирования цифровых моделей местности и объектов недвижимости. Используются инновационные методы инженерно-геодезического обеспечения, а также программное обеспечение для автоматизированного проектирования, что позволяет создавать надежную основу для интеграции аэрокосмических данных в кадастровые системы. Научные разработки кафедры обеспечивают повышение точности и оперативности кадастрового учета в Республике Беларусь. Современная архитектура единой информационной системы активно интегрирует искусственный интеллект для автоматической оценки рыночной стоимости объектов недвижимости, что основано на анализе реальных сделок и множестве характеристик, включая локацию и состояние жилья. Технологии больших данных и аналитики позволяют прогнозировать рыночные тренды, оптимизировать процессы учета и выявлять аномалии в использовании земельных участков на региональном уровне. BIM-технологии информационного моделирования дополняют систему, обеспечивая трехмерное представление жизненного цикла объектов и прозрачность на всех этапах от строительства до эксплуатации.

В перспективе развитие системы предполагает расширение на коммерческую и загородную недвижимость, интеграцию облачных платформ для совместной работы и повышение точности прогнозов до 95 процентов за счет постоянного обучения моделей ИИ. Вызовы включают необходимость унификации региональных данных, обеспечение кибербезопасности и подготовку кадров для работы с аэрокосмическими геотехнологиями. Реализация этих мер позволит создать полностью цифровое пространство кадастрового учета, соответствующее международным стандартам и поддерживающее устойчивое региональное развитие.

УДК 528.48

Современные методы геодезии и аэрокосмической съемки для учета подземных коммуникаций в Минске

***Саакян Степан Сейранович**, студент 2 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Будо А.Ю., старший преподаватель
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

В Минске функционирует комплексная система оперативно-технического учета подземных инженерных коммуникаций (Табл. 1), включающая тепло-, водоснабжение, канализацию, электро- и газопроводы. От надежности этих сетей зависит комфорт жителей и устойчивость городской среды. Обеспечение точного учета и контроля этих сетей – приоритетная задача городской администрации.

Таблица 1 – Основные инженерные сети Минска и ревизия в системе оперативного учета

Виды сетей	Количество объектов	Частота обновления данных	Ключевые параметры учета
Тепловые сети	5200	Ежеквартально	Маршруты, техсостояние, давление
Водоснабжение	6100	Ежемесячно	Трубопроводы, насосы, гидранты
Канализация	5700	Ежеквартально	Коллекторы, очистные сооружения
Электросети	4600	Ежемесячно	Кабели, подстанции
Газоснабжение	4300	Каждые полгода	Газопроводы, запорная арматура

Основная задача – рассмотреть архитектуру системы, используемые технологии, историю развития, результаты и перспективы развития, опираясь на опыт кафедры Геодезии и аэрокосмических технологий БНТУ, в частности исследования Будо А.Ю., Кашуры В.Н. и их коллег.

Система, внедренная в Минске, объединяет современные геодезические и аэрокосмические технологии, позволяя систематизировать данные, оперативно реагировать на изменения и планировать ремонтные работы с минимальным риском повреждений.

До 2000-х годов информация о подземных сетях в Минске хранилась на бумаге и была разрознена. В 2015-2016 годах была разработана концепция единой системы учета, поддержанная Мингорисполкомом. В 2023 году утвержден приказ Мингорисполкома № 98, регулирующий функции участников системы, сроки обновления данных и ответственность за достоверность информации. Система опирается на СН 4.04.05-2025, технические регламенты РБ и руководящие документы КУП «Техническое управление Мингорисполкома», обеспечивая стандартизацию и межведомственное взаимодействие.

Система построена как многоуровневая платформа с централизованной базой данных (ГПД), пользовательскими интерфейсами, модулями мониторинга, средствами анализа и системой взаимодействия с организациями. Обновление данных происходит планово и внепланово при авариях.

Геодезическое сопровождение включает цифровые тахеометры и лазерное сканирование для детального моделирования. Аэрокосмический мониторинг использует дроны с камерами и LIDAR для создания высокоточных ортофотопланов и 3D-моделей. Данные интегрируются в ГИС и BIM-модели для визуализации, хранения и анализа.

Внедрение системы позволило снизить аварийность и улучшить координацию ремонтных работ. С 2020 по 2025 годы снизилась аварийность тепловых сетей, улучшилась оперативность водоснабжения, сократилось время простоя инфраструктуры.

Перспективы развития связаны с внедрением искусственного интеллекта для выявления критических зон и беспроводного сенсорного учета. Планируется переход к цифровому двойнику подземных систем с использованием BIM и ГИС.

Внедрение современных методов геодезии и аэрокосмической съемки в систему учета подземных коммуникаций Минска стало важным шагом в повышении надежности городской инфраструктуры.

Ключевым элементом системы является централизованная база геопространственных данных (ГПД), которая обеспечивает единое информационное пространство для всех участников процесса. Регламентированное обновление данных, осуществляемое на плановой и внеплановой основе, гарантирует актуальность и достоверность информации, необходимой для оперативного реагирования на аварийные ситуации и проведения ремонтных работ.

Результаты внедрения системы очевидны: снижение аварийности на тепловых сетях, повышение оперативности водоснабжения и сокращение времени простоя инфраструктуры. Эти улучшения напрямую влияют на качество жизни горожан и свидетельствуют об эффективности принятых мер.



Рисунок 1 – Схема структурной организации системы учёта

Дальнейшее развитие системы предполагает внедрение технологий искусственного интеллекта (ИИ) для прогнозирования аварийных ситуаций и беспроводного сенсорного мониторинга состояния сетей. Переход к созданию цифрового двойника подземных коммуникаций с использованием BIM и ГИС позволит значительно повысить эффективность управления и планирования развития городской инфраструктуры.

УДК 528.5:624

Анализ применения GPS-технологий в геодезии

***Супранёнок Дарья Михайловна**, студент 4 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кашура В.Н., старший преподаватель
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Геодезия наших дней трудно представима без технологий GPS и других глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), таких как ГЛОНАСС, Galileo и BeiDou. Эти технологии в корне поменяли возможность определения координат: повысили точность, сократили время полевых работ и расширили возможности. GPS позволяет находить координаты в любой точке Земли, не завися от погоды и захода солнца, что делает его неотъемлемой технологией в землеустройстве, строительстве, картографии и научных исследованиях.

ГНСС работают по одному принципу. Приёмник определяет своё положение, основываясь на сигналы от нескольких спутников (Рис. 1).

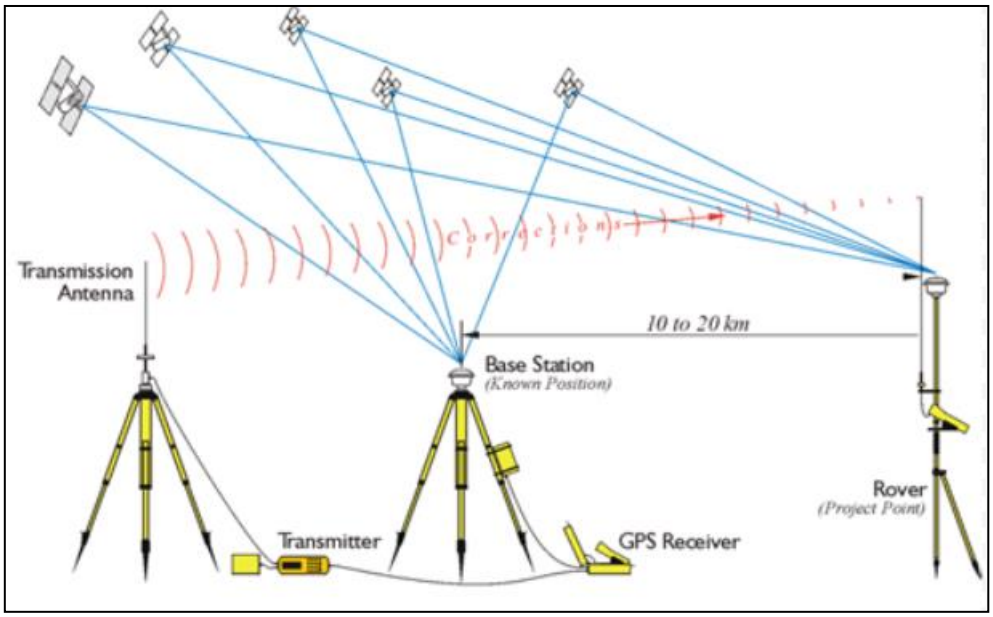


Рисунок 1 – Принцип работы спутникового метода

Для большей точности трёхмерного положения нужно использовать от четырёх спутников. Современные приёмники одновременно используют сигналы от разных ГНСС, таким образом, повышая точность особенно в труднодоступных местах.

В геодезии используются различные методы GPS-измерений. Статический режим обеспечивает миллиметровую точность при создании опорных сетей, кинематический — подходит для топографической съёмки, а RTK режим позволяет получить сантиметровую точность в реальном времени, применяется в строительстве и межевании земель. А также используется PPK – постобрабатываемый кинематический режим, особенно при работе с беспилотными летательными аппаратами.

GPS часто применяется при создании геодезических сетей, топографической съёмке, выносе проектов в натуру, мониторинге деформаций зданий и в земельном кадастре. А также при создании и обновлении карт и планов.

Преимущества GPS в его скорости, точности, простотой в управлении и минимизации ошибок человеческого влияния. Но он имеет и недостатки: невозможность работы в залесенных местах, а также среди высокой застройки.

Будущее GPS в геодезии тесно связано взаимодействием с дронами, ГИС системами и лазерными сканерами. Развитие многочастотных и многосистемных приёмников, а также сетей 5G позволит увеличить точность результатов измерений.

GPS-технологии становятся неотъемлемой частью современной геодезии. Они не просто облегчают работу, а минимизируют риски геодезистов в опасных местах, позволяют добиться большей точности и ускоренных измерений. Несмотря на некоторые недостатки, такие как невозможность работы в залесенных местах, среди высокой застройки и рядом с высокими металлическими конструкциями, их востребованность будет только повышаться, тем самым позволяя геодезии увеличивать свою точность и расширить возможности применения.

УДК 528.063.6

Разработка мобильного приложения для полевого контроля геодезических работ в строительстве с валидацией данных в реальном времени

***Шешук Ольга Александровна**, студент 2 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Будо А.Ю., старший преподаватель
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Современное строительство требует высокой точности при проведении геодезических работ. Традиционные методы сбора и обработки данных сопровождаются задержками, ошибками при передаче информации и отсутствием оперативной валидации результатов, что снижает эффективность контроля и увеличивает риск технологических нарушений.

С развитием мобильных технологий и систем GNSS появилась возможность автоматизации геодезических работ непосредственно в полевых условиях. Целью исследования является разработка мобильного приложения для полевого контроля с функцией валидации данных в реальном времени.

Научная новизна: комплексный подход к автоматизированной валидации геодезических данных, включающий интеграцию GNSS-технологий, дополнительных сенсоров и алгоритмов автоматического обнаружения аномалий. Это позволит повысить эффективность контроля, снизить количество ошибок и ускорить обработку информации.

Полевой контроль геодезических работ — ключевой этап строительства, обеспечивающий точность и соответствие проектным требованиям. Уже существующие приложения (geoGPS, AutoCAD 360, Kadastr.ru) позволяют собирать геодезические данные на месте работ с обработкой и визуализацией результатов. Современные решения фокусируются на встроенной валидации, позволяющей выявлять аномалии и ошибки измерений в режиме реального времени. Однако существующие приложения ограничены либо в функционале, либо в комплексной валидации данных. Это создает потребность в инструментах для полевого контроля с автоматической валидацией.

Разработка нового приложения будет базироваться на принципах Agile с итеративным циклом проектирования, программирования и тестирования.

Технологический стек: React Native и Flutter для кроссплатформенности (iOS/Android); встроенные и внешние GNSS-модули для сбора данных; облачные технологии и БД SQL/NoSQL для синхронизации.

Архитектура такого приложения включает модули:

- Сбора и первичной обработки геодезических данных;
- Валидации с алгоритмами проверки корректности и обнаружения аномалий;
- Визуализации результатов на интерактивной карте;
- Синхронизации данных с сервером;
- Управления проектами и пользователями.

Валидация включает проверку диапазонов измерений, консистентность между точками и выявление выбросов методами машинного обучения. Тестирование такого приложения должно быть проведено в лабораторных условиях и на реальных строительных объектах.

Программа интегрирует GNSS-технологии, алгоритмы автоматической проверки данных и визуализации. При проведении полевых испытаний следует ожидать:

- Сокращение времени контроля на 30-50% против традиционных методов;
- Снижение ошибок измерений более чем на 70%;
- Повышенная точность контролируемых параметров (координаты, высоты, углы);
- Быстрая синхронизация данных между полевыми бригадами и офисом;
- Автоматическое выявление несоответствий в реальном времени.

Собранные данные должны позволять оформить исполнительную документацию согласно ГОСТ и СП, подтверждая готовность приложения к внедрению в строительную практику.

Перспективы развития: интеграция с беспилотными летательными аппаратами, системами геоинформационного моделирования и методами искусственного интеллекта для прогнозирования ошибок.

Таким образом, разработка мобильного приложения представляет перспективное решение, способствующее цифровизации строительной геодезии и повышению стандартов качества в отрасли.

Литература:

1. Аксенова А.А. Выпускная квалификационная работа по теме «Мобильное приложение «Геодезист»» – 2024.
2. Позняк, А. С.; Крупица, С. М. Автоматизация геодезических вычислений на смартфоне / А.С. Позняк, С.М. Крупица – БНТУ, 2019.

УДК 004.896

Интеграция БПЛА с искусственным интеллектом для автоматизированного мониторинга инфраструктуры

***Шишкевич Глеб Анатольевич**, студент 2 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Будо А.Ю., старший преподаватель
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Современная инфраструктура требует постоянного мониторинга для предотвращения критических отказов и аварий. Традиционные методы инспекции — наземные обследования, ручной осмотр, геодезические измерения — остаются ресурсоёмкими, дорогостоящими и опасными для персонала. Согласно современным исследованиям, в развитых странах на диагностику и техническое обслуживание инфраструктуры тратится 3-5% ВВП ежегодно, однако значительная часть этих затрат приходится на ручной труд и неэффективные процессы.

За последнее десятилетие БПЛА стали мощным инструментом для дистанционного зондирования. Вместе с тем появление легковесных процессоров GPU, моделей глубокого обучения и систем краевых вычислений позволило внедрять ИИ непосредственно на борту летательного аппарата. Это качественно изменяет задачу: вместо простого сбора данных БПЛА могут выполнять интеллектуальную диагностику в реальном времени, автономно выявляя дефекты, аномалии и требующие внимания объекты.

Цель настоящей работы — провести анализ интеграции БПЛА с ИИ-технологиями для мониторинга инфраструктуры, выявить ключевые методологии, оценить производительность и определить направления дальнейших исследований.

Состояние проблемы и актуальность, вызовы традиционного мониторинга.

Инфраструктурные объекты (линии электропередач, железные дороги, мосты, трубопроводы, дороги) часто расположены на обширных и географически рассеянных территориях. Традиционный мониторинг требует:

• Физического доступа: высокие риски для персонала, работающего на высоте или в опасных зонах

• Временные затраты: одномоментная инспекция протяженного объекта может занимать недели

• Субъективность: результаты зависят от опыта инспектора, что приводит к пропускам дефектов

• Данные разрозненность: информация накапливается в разных форматах, затрудняя анализ тренда

Потенциал AI-enabled UAV. Интеграция БПЛА с ИИ решает названные проблемы: дроны обеспечивают быстрый сбор высоразрешающих данных, а ИИ-модели выполняют автоматическую классификацию дефектов, выявление аномалий и формирование рекомендаций. Система способна работать в полуавтономном режиме, что снижает зависимость от оператора.

Алгоритмы и методы, компьютерное зрение и глубокое обучение. Основные архитектуры нейросетей, применяемые для анализа аэроснимков:

YOLO (You Only Look Once): одностадийный детектор объектов, позволяющий выявлять дефекты, повреждения, аномалии в едином проходе. Достигает производительности 60-90 кадров в секунду на встроенных GPU, что подходит для реальновременной обработки потока видео.

Mask R-CNN: двухстадийный детектор с выделением масок, используется для точной сегментации повреждённых областей (трещины в бетоне, коррозия металла, механические повреждения).

CNN (Convolutional Neural Networks): базовые свёрточные сети для классификации материалов, определения типа дефекта, анализа теплового состояния объектов.

Оптимизация данных и минимизация задержек. Важный вызов — обработка больших объёмов видео и изображений с ограниченной полосой пропускания канала связи. Современные подходы включают:

• Кодирование H.264/H.265: сжатие видео с приемлемой потерей качества

• Адаптивная передача: система автоматически выбирает, какие кадры и регионы интереса отправлять в облако

• Квантизация моделей: уменьшение размера нейросетей без значительной потери точности (до 8-10 раз меньше памяти)

Исследования показывают, что эффективная система может работать с задержкой в диапазоне 2-5 секунд от момента сбора данных до выдачи предупреждения, чего достаточно для большинства сценариев мониторинга.

Практические применения и результаты, мониторинг линий электропередач. Система анализирует аэроснимки для выявления обрывов, коррозии, загрязнений изоляторов, оценки расстояния до растительности. Точность обнаружения превышает 95%, что позволяет сократить время диагностики с недель до дней. Автономный полёт по заранее спланированному маршруту исключает потребность в постоянном контроле оператора.

Диагностика мостов и дорожной инфраструктуры. БПЛА с тепловизором и RGB-камерой выявляют трещины в асфальте, деформации опор, повреждения покрытия. Система автоматически измеряет площадь поражения, позволяя спланировать ремонт. Сокращение времени инспекции в 10 раз (например, 100 км дороги за 1 день вместо многонедельных обследований).

Промышленные объекты и энергетика. На объектах хранения энергоносителей, в портах, на промышленных площадках БПЛА с ИИ выявляют признаки повреждений резервуаров, коррозии оборудования, проводят анализ безопасности. Предсказательное обслуживание на основе данных ИИ позволяет снизить непредвиденные простои на 40-50%.

Железнодорожная инфраструктура. Отечественные разработки (Skyeer) и международные проекты демонстрируют возможность автоматизированного контроля геометрии пути, состояния рельсов, шпал, балластной призмы с погрешностью 2 см. Операционные расходы снижаются на 85%, а скорость мониторинга возрастает в 10 раз.

Интеграция БПЛА с ИИ кардинально преобразует подход к мониторингу инфраструктуры. Практические результаты — 95%+ точность, 10-кратное ускорение, 85% снижение расходов — демонстрируют зрелость технологии и готовность к масштабному внедрению.

Ключевые факторы успеха: гибридная архитектура облако-край, оптимизация алгоритмов для встроенных платформ, интеграция с системами управления активами и разработка единой нормативно-правовой базы. Дальнейшие исследования должны сосредоточиться на расширении функциональности (LLM, многодроновые сети, цифровые двойники) и решении проблем экстремальных условий работы.

УДК 551.3.053

Применение фотограмметрии для анализа микрорельефа и оценки эрозии почв

***Юхно Никита Владимирович**, студент 2 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Будо А.Ю., старший преподаватель
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Водная и ветровая эрозия почв является одной из ключевых проблем современного землепользования, приводящей к деградации пахотных земель и снижению их биопродуктивных свойств. Основная сложность геодезического мониторинга связана с необходимостью своевременного выявления эрозионных процессов на ранних стадиях, на уровне микрорельефа – борозд и промоин, которые традиционные методы картографирования масштабов 1:10000 и мельче не фиксируют из-за недостаточной пространственной детализации. Поэтому актуален переход к методам оперативного дистанционного зондирования сверхвысокого разрешения, позволяющим получать точные метрические данные с дециметровой точностью.

Существующие методы анализа микрорельефа условно делятся на контактные (нивелирование, тахеометрическая съемка, эрозионные реперы) и дистанционные. Контактные методы трудоемки и имеют низкую дискретность измерений, что ограничивает построение цифровых моделей рельефа (ЦМР) больших площадей. Наземное лазерное сканирование (НЛС) обеспечивает высокую плотность точек, но дорого в эксплуатации и ограничено теневыми зонами. Наиболее перспективным стало применение беспилотных воздушных судов (БВС) с цифровыми камерами и алгоритмами Structure-from-Motion (SfM) с плотным стереосопоставлением, позволяющими создавать объемные модели и ортофотопланы с точностью, сопоставимой с лазерным сканированием, но более экономично и оперативно.

Цель исследования – разработка методики геодезического мониторинга эрозии почв с помощью низковысотной аэрофотосъемки БВС. Для этого обоснованы параметры съемки (высота, перекрытие) для обеспечения необходимого пространственного разрешения (GSD), построены цифровые модели рельефа и ортофотопланы исследуемых участков, оценена точность моделей через сравнение с GNSS RTK контрольными точками. Объемы эрозии

рассчитаны методом дифференциального моделирования и проанализирована динамика микрорельефа.

Фотограмметрия на базе SfM позволяет восстанавливать 3D-структуру поверхности из перекрывающихся снимков без предварительных сведений о положении камеры, что обеспечивает выявление мелких изменений рельефа с разрешением 1-2 см и точностью высот 5-10 мм. Для съемок используются цифровые камеры с высоким разрешением и геодезические приборы для фиксации опорных точек (GCP). Съемка ведется с значительным перекрытием и комбинированными углами обзора (надирные и конвергентные), чтобы минимизировать ошибки из-за теней и обеспечить стабильное качество моделей. Обработка происходит в Agisoft Metashape, CloudCompare и ГИС.

Анализ изменений рельефа выполняется через разностные модели высот, выявляя зоны потерь и накопления грунта с фильтрацией данных по уровню точности для исключения шумов. Это позволяет количественно оценить интенсивность и динамику эрозии, зоны концентрации поверхностного стока и изменения водопроницаемости. Метод характеризуется высокой разрешающей способностью, быстротой получения данных и возможностью масштабирования на большие площади. Однако фотограмметрия чувствительна к условиям освещения, требует качественного перекрытия и может искажаться из-за растительности или влажности.

В сравнении с микронивелированием метод уступает по высотной точности (микронивелирование обеспечивает миллиметровую точность), но превосходит его в скорости и охвате территории. Методы радиоцезий-137 позволяют оценивать эрозию на длительном временном промежутке, чего фотограмметрия без интеграции обеспечить не может

Таким образом, фотограмметрия является перспективным методом для анализа микрорельефа и оценки эрозии почв, позволяющим оперативно получать детальные цифровые модели и количественные показатели эрозионных процессов, что важно для научных исследований и практических мер по сохранению почвенных ресурсов и рациональному землепользованию.

УДК 528.722

Интеграция данных лидарной съемки и фотограмметрии для 3D-моделирования исторических зданий

***Юхно Никита Владимирович**, студент 2 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Будо А.Ю., старший преподаватель
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Трёхмерное моделирование исторических зданий в геодезии и геоинформатике приобретает особую значимость на фоне глобальных угроз культурному наследию от климатических изменений, техногенных факторов и конфликтов. Точные 3D-модели обеспечивают реставраторов данными о геометрии, включая скрытые элементы, для восстановления повреждений и создания HBIM-систем управления проектами. Мониторинг деформаций с помощью лазерного сканирования выявляет ранние дефекты, предотвращая разрушения, в то время как виртуальные туры и образовательные платформы расширяют доступ к памятникам.

Лидарная съёмка (TLS/ALS) даёт облака точек с точностью до миллиметров, плотностью тысяч точек/м² и независимостью от освещения, но без текстур. Фотограмметрия на основе БПЛА и DSLR-камер обеспечивает цветные текстуры и детали орнамента, достигая точности 2–3 см при GCP, хотя страдает от теней и окклюзий. Интеграция методов снижает RMSE до 7.4 см против 11.2 см (лидар) и 14.6 см (фотограмметрия), повышая LOD 3+ для детального документирования.

Цель и задачи исследования: апробировать методику интеграции лидарных и фотограмметрических данных для высокоточных 3D-моделей исторических зданий с оптимизацией ресурсов. Задачи: полевые съёмки Leica BLK360 (дальность 60 м, ±4 мм) и >500 фото с 80% перекрытием; фильтрация/регистрация в CloudCompare; слияние по плоским примитивам; полигональный меш LOD 3 в Agisoft Metashape; текстурирование ортопроекцией; валидация RMSE <2 см и полноты >95%.

Методика сочетает геометрическую точность лидара с текстурами фотограмметрии, идеально для мониторинга и виртуализации. Ограничения: артефакты от растительности/теней, высокие вычисления. Перспективы — ИИ-автоматизация дронов (DJI Zenmuse L1) и обработки для мониторинга флотов объектов.

Разработанная методика подтверждает эффективность интеграции для геодезии наследия, открывая пути HBIM и цифровизации. Рекомендуется стандартизировать GCP-плотность, развивать open-source (Open3D) и ИИ для масштаба. Результаты предлагают унифицированный подход для конференций по геоинформатике.

УДК 528.4

Наноспутниковые системы для оперативного обновления топографических карт в труднодоступных регионах

***Ярохович Лолита Анатольевна**, студент 2 курса*
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Будо А.Ю., старший преподаватель
кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Оперативное обновление топографических карт критически важно для труднодоступных регионов, где ограниченная инфраструктура затрудняет полевые съемки, а быстрые изменения рельефа влияют на безопасность и хозяйственную деятельность.

Наноспутниковые системы революционизируют геодезию и картографию благодаря низкой стоимости, частым обновлениям и покрытию удаленных территорий, недоступных традиционным методам.

Актуальность темы обусловлена растущей потребностью в высокоточном мониторинге сложных ландшафтов, где наноспутники обеспечивают своевременные геоданные для аэрокосмических геотехнологий.

Наноспутники стандарта CubeSat (1U–12U, масса 1–40 кг) состоят из компактной платформы с бортовым компьютером на базе ARM-процессоров, оптических и ИК-датчиков высокого разрешения, солнечных панелей мощностью 20–40 Вт, систем связи в S/X/Ka-диапазонах (скорость до 100 Мбит/с) и микро-двигателей для маневрирования и поддержания низкой околоземной орбиты (400–600 км).

Возможности сбора геопространственных данных включают оптическую съемку с разрешением 0,5–2 м (мультиспектральные камеры 4–8 каналов), синтетическую апертурную радиолокацию (SAR) с точностью 1–5 м в любых погодных условиях и лазерную высотометрию (LiDAR) для создания цифровых моделей рельефа с плотностью точек до 10/м².

Такие характеристики обеспечивают частоту повторных съемок до 1–7 дней, что идеально для оперативного обновления топографических карт в труднодоступных регионах, превосходя традиционные спутники по экономичности и гибкости развертывания группировок из десятков аппаратов.

Современные методы фотограмметрической обработки спутниковых изображений включают автоматизированную фототриангуляцию, блочное уравнивание стереопар и создание ортофотопланов с помощью цифровых систем

типа Socet Set или Delta-12, обеспечивая устранение геометрических искажений и учет рельефа для точных 3D-моделей.

Алгоритмы автоматического распознавания изменений местности используют нейросети (CNN), пороговые индексы (NDVI, MSAVI2) и кластеризацию Ward для выявления динамики объектов, таких как эрозия или застройка, с точностью до 90–95% на мультиспектральных данных Sentinel-2/Landsat.

Интеграция с ГНСС (GLONASS/GPS), LiDAR и ГИС-данными повышает точность карт до 0,5 м за счет метода наименьших квадратов и супервизированного классифицирования, минимизируя ошибки в труднодоступных регионах.

Технические вызовы включают нестабильность диапазонной связи из-за атмосферы, ограниченное энергоснабжение (20–40 Вт) и обработку терабайт данных ежедневно; организационные – координацию группировок и стандартизацию, решаемые ИИ-автоматизацией и резервными каналами

Современные тренды развития наноспутниковых технологий в геодезии включают глубокую интеграцию искусственного интеллекта для автоматизированной обработки данных в реальном времени, установку компактных LiDAR-систем на платформы CubeSat для высокоточного 3D-сканирования рельефа и дальнейшее снижение массы аппаратов до 1–5 кг за счет новых материалов и микроэлектроники. Эти инновации повышают разрешающую способность сенсоров до 0,3 м и частоту обновлений топокарт до ежедневной, что критично для динамичных ландшафтов труднодоступных регионов.

Рекомендуется сосредоточить усилия на повышении энергоэффективности наноспутников через оптимизацию солнечных панелей и режимов ожидания, разработке унифицированных стандартов данных (например, на базе Open Geospatial Consortium) для seamless интеграции с ГИС-системами и усилении международной координации проектов, включая совместные запуски группировок через SpaceX или ESA. Такие меры позволят минимизировать затраты и расширить применение в глобальном масштабе.

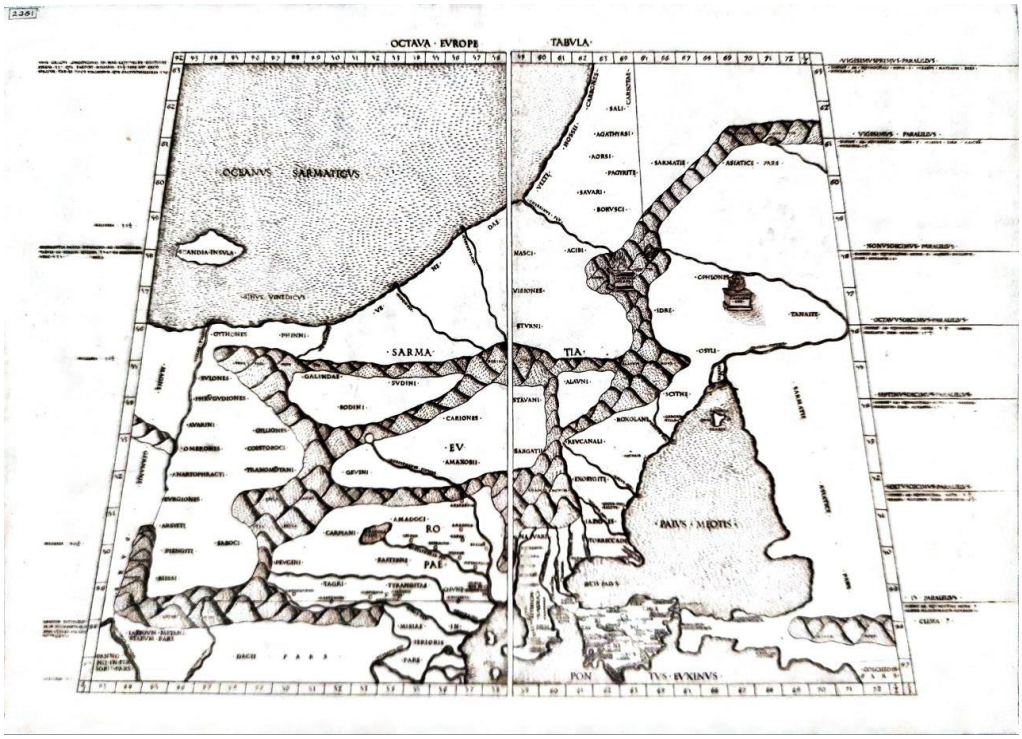
В итоге, наноспутниковые системы революционизируют геодезию в труднодоступных зонах, обеспечивая оперативное, высокоточное картографирование без традиционных ограничений и открывая путь к новым аэрокосмическим геотехнологиям.

УДК 528.9

Картаграфія Вялікага Княства Літоўскага

***Цітавец Глеб Уладзіміравіч**, студэнт 1 курса*
кафедры «Геадэзія і аэракасмічные геатэхналогіі»
Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт, г. Мінск
Навуковы кіраўнік – Рак І.Я., канд. тэхн. навук, дацэнт
кафедры «Геадэзія і аэракасмічные геатэхналогіі»

Вялікае Княства Літоўскае – Усходнееўрапейская дзяржава, існаваўшая з 1253 па 1795 год, (з 1569 года – ў складзе Рэчы Паспалітай, як раўнапраўны член федэрацыі). Упершыню вобраз земляў Літвы і Беларусі можна ўбачыць у тэксце, які суправаджае мапы алексындрайскага географа і астранома II стагоддзя н.э. Клаўдзія Пталамея. Да сенняшняга часу гэтыя мапы дайшлі ў якасці копій XIII стагоддзя і пазнейшых рукапісах.



Малюнак 1 – Рэпрадукцыя карты Рымскагая перыяда, 1478 год

Але, як тут бачна, Беларусь і Літва на гэтай мапе не маюць нічога агульнага з рэальнасцю. Больш дэталева тэрыторыі сучаснай Беларусі і Літвы адлюстраваны на мапах часоў Вялікага Княства Літоўскага. Далей будзе разглядацца Радзівілаўская мапа, упершыню надрукаваная ў 1607 годзе.



Малюнак 2 – Радзівілаўская мапа ВКЛ

Мапа клічацца Радзівілаўскай, бо яна была створана па ініцыятыве магната, мецэната, князя, які паходзіў з самай уплывовай у краіне сям'і, – Мікалая Крыштапа Радзівіла пад мянушкай Сіротка. Сама мапа змяшчае ў сабе апісанне паселішчаў і рэк ВКЛ, згадкі гістарычных падзеяў, асаблівасці мясцовасцяў і звычаі народу. Афіцыйна праца над мапай пачалася ў 1584 годзе, але дакладна невядома ці былі больш раннія спробы збора ведаў. Трэба казаць некалькі слоў і пра градусную сетку мапы, бо яна з'яўляецца незвычайнай для таго часу. Пры канструяванні сеткі мапы нулявы мерыдыян прабягае праз пік Тэйдэ на востраве Тэнерыфе (звычайны для нас нулявы мерыдыян па Грынвічу быў уведзены толькі ў 1884 годзе). Мерыдыяны дэманструюць збліжэнне, тым часам як паралелі ўяўляюць сабой простыя лініі, што ідуць паралельна краю мапы. Такім чынам, тут была выкарыстана трапецападобная праекцыя. Вельмі старана было праведзена графічнае афармленне і аздабленне мапы. На левым ніжнім ражку знаходзіцца легенда, а таксама надпісы, якія інфармуюць пра выканаўцу медзярыта і выдаўца мапы. Ніжэй, уздоўж ніжняга краю мапы, размешчана маштабная шкала, на якой пазначыны тры мілі. У пераліку на метры, калі ўзяць пад увагу параўнанне з даўжыней дугі 1°, вялікая міля складае каля 7370 м, сярэдняя – каля 6336 м, а звычайная – 5560 м. Генрых Мерчынг (польскі гісторык, які жыў у XIX-XX стагоддзі) на падставе даўжыні дугі 1° геаграфічнай шыраты ацаніў маштаб мапы як 1:1 300 000. Але гэта недакладна, сапраўдны маштаб мапы, згодна з вымярэннямі па цэнтры мапы, уздоўж 42-га і 43-га мерыдыянаў, - 1: 1 293 000. Дзеля асаблівага значэння Дняпра, значная частка якога апынулася па-за полем галоўнай мапы, яна была дапоўнена згаданым ужо

пры апісанні ўсяго комплексу выдання планам ніжняга цячэння гэтай ракі ад Чаркасаў да самога вусця. На плане таксама ёсць берагі Дняпроўскага лімана і марское ўзбярэжжа ажно да Ачакава. Варта скарэктаваць ацэнку маштаба мапы, што прыводзілася ў больш ранніх навуковых працах. Паводле Мерчынга, ен складае каля 1:300 000. Між тым, маштаб усей мапы ў гэтым разе складае каля 1:530 000, прычым шырыня ракі паказана з значным павелічэннем. Дзякуючы гэтаму стала магчымым адлюстраваць дняпроўскі водны шлях падрабязна з улікам такіх дэталяў, як астравы, дзяленне ракі на рукавы і пратокі, наяўнасць прытокаў, а таксама раскіданых па берагах Дняпра ўзвышшаў, яроў, лясоў, рэдкіх паселішчаў і руіны легендарных хрысціянскіх і татарскіх умацаванняў.

Супастаўленне зместу Радзівілаўскай мапы і старыэйшых за яе друкаваных мапаў прыводзіць да канчатковой высновы, што пацвярджае самастойнасць распрацоўкі вобраза Вялікага Княства Літоўскага. Такім чынам, у сваей асноўнай частцы Радзівілаўская мапа – цалкам арыгінальны твор. З разнастайнага картаграфічнага матэрыялу пра суседнія краіны тут быў сфармаваны маналітны вобраз, удала звязаны з землямі Вялікага Княства Літоўскага. Асаблівай увагі заслугоўвае вартасць Радзівілаўскай мапы як гістарычнай крыніцы, што можа быць карысна пры даследаванні гісторыі земляў ВКЛ. Зроблены тут невялікі агляд зместу Радзівілаўскай мапы паказвае, што разам з супрацьваджальным тлумачальным тэкстам яна магла выконваць функцыю азнаямлення ўсяго тагачаснага навуковага свету з геаграфіяй, палітычнай сістэмай, этнічнай і канфесійнай сітуацыяй, з элементамі гісторыі ВКЛ. Адзіная добрая мапа ВКЛ у XVI-XVII стагоддзяў была створана дзякуючы аднаму з самых багатых і вядомых магнатаў. У той час у Рэчы Паспалітай не было асяродка, што мог бы фінансаваць працяглыя работы па стварэнню вялікіх мап. Толькі дзякуючы шырокім інтэрэсам і матэрыяльным сродкам князя Сіроткі ў спалучэнні з навыкамі і шматгадовай працай цэлага калектыву мапа была створана. Яна прадэманструвала свету праўдзівы вобраз Вялікага Княства Літоўскага ў яго гістарычных межах. Гэтая мапа на доўгія стагоддзі праславіла імены князя Мікалая Крыштопа Радзівіла і яго калектыву.

Літаратура:

1. Александровіч, С. Картаграфія Вялікага Княства Літоўскага ад XV да сярэдзіны XVIII стагоддзя / Станіслаў Александровіч. – Мінск : Тэхналогія, 2021. – 304 с. : іл.

Секция 4

МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

УДК 666.97.052.3

История создания автобетоносмесителя

***Аврамов Александр Андреевич**, студент 4 курса*
кафедры «Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Чечелев И. Д., ассистент кафедры
«Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса»

В современном мире, бетон – является одним из самых главных компонентов при строительстве. Его экономичность, прочность, а также долговечность делают этот компонент одним из самых незаменимых при строительстве. Из-за задачи по устранению преждевременного схватывания и сегрегации (расслоения) бетона во время транспортирования, привела к созданию такого вида спецтехники в строительстве как: автобетоносмесителя.

На начальной стадии использования бетона, и на протяжении столетий, его приготовление было исключительно ручным способом. Этот метод был крайне трудоемким, медленным и не позволял обеспечить высокую однородность смеси, что напрямую влияло на качество конечного продукта. С появлением первых стационарных механических бетоносмесителей в конце XIX – начале XX века процесс производства бетона значительно ускорился и стал более контролируемым. Однако, несмотря на этот прогресс, проблема эффективной транспортировки готового бетона от места его приготовления до места укладки на удаленной строительной площадке оставалась нерешенной.

Постоянное перемешивание в пути с развитием автомобильной промышленности в начале XX века возникла естественная идея использовать грузовые автомобили для перевозки готового бетона. Эти автобетоносмесители сталкивались с теми же проблемами, что и другие методы транспортировки: отсутствие постоянного перемешивания в пути, что приводило к расслоению бетона, а также сложности с удобной и быстрой разгрузкой. Ключевой момент в истории создания автобетоносмесителей связан с именем Стивена Степаняна. Именно он в 1916 году подал патентную заявку на устройство, которое можно считать непосредственным предшественником современного автобетоносмесителя. Суть его изобретения заключалась в установке на шасси грузовика вращающегося барабана, который бы непрерывно перемешивал бетонную смесь во время ее транспортировки к месту заливки. Этот принцип постоянного медленного вращения предотвращал сегрегацию компонентов и

поддерживал смесь в гомогенном состоянии. В 1920-х годах его патент был приобретен и начал внедряться в промышленность.

Настоящий пик в развитии и распространении автобетоносмесителей пришелся на время после Второй мировой войны. В этот период произошли следующие ключевые усовершенствования:

· Оптимизация конструкции барабана.

· Внедрение гидравлического привода.

· Установка водяных баков.

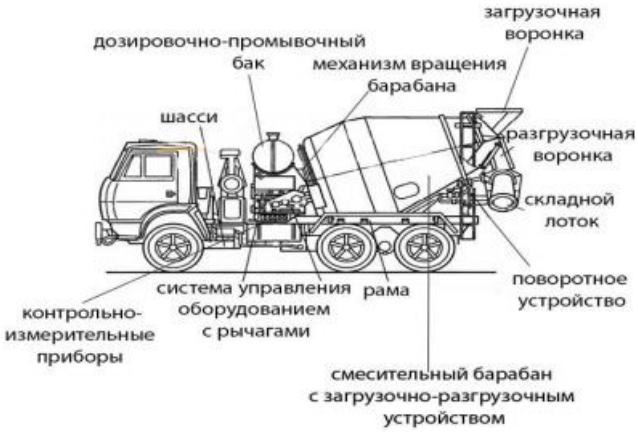


Рисунок 1 – конструктивная схема автобетоносмесителя

Благодаря бурному инновационному развитию в конце XX и начале XXI века. Современные автобетоносмесители оснащаются целым рядом интеллектуальных систем:

· Автоматизация и электроника.

· Системы взвешивания.

· Самозагружающиеся автобетоносмесители.

Автобетоносмеситель, продолжает адаптироваться к новым технологиям и вызовам, а также остается символом инновационного прогресса в стремлении к надежности и технологическому совершенству.

Литература:

1. Глуховский, В. Д. Цементы: Прошлое, настоящее, будущее. – Киев: Будівельник, 1989.
2. Невилль, А. М. Свойства бетона. – Москва: Стройиздат, 1972.
3. Иванов, П. С. Развитие приводов строительных машин: от механики к гидравлике. // Вестник машиностроения. – 2018.
4. Смирнов, А. В. Автоматизация и цифровизация в современной строительной технике. // Журнал "Строительная техника и технологии". – 2021.

УДК 624.21

Инженерная машина разграждения ИМР-2

***Мороз Даниил Алексеевич**, курсант 3 курса*
кафедры «Военно-инженерная подготовка»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Бежик А.А., старший преподаватель кафедры
«Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса»

Инженерные войска начинают свое существование в далеком 1701 году 21 января приказом Петра 1. С тех пор военные инженеры выполняют большой объем работ на поле боя и далеко за его пределами в мирное время. Сегодня хочу рассказать про одну из машин, которая помогает выполнять определенный спектр инженерных задач, а именно исходя из названия в общем понимании разгрождением которое непосредственно включает в себя проделывание колонн и путей для движения и маневра войск, во всем этом инженерным войскам помогает машина разграждения ИМР-2 (Рис. 1).



Рисунок 1 – ИМР-2

Инженерная машина разграждения разработана на базе среднего танка Т-72 в 1980 году, на данный момент состоит на вооружении Вооруженный Сил Республики Беларусь и Российской Федерации. Машина предназначена для разгрождения завалов, создания колонн и путей маневра войск и их содержания, так же для разминирования местности. Огромным плюсом и отличительной чертой от другой техники такого типа с похожими или такими же задачами ИМР-2 отделяет ее способность работы на загрязненных участках местности.

В пример можно поставить аварию на Чернобыльской АЭС, где машина приняла участие в ликвидации последствий с чем успешно справилась пройдя суровое испытание фактически в боевых условиях. Основным отличием ИМР-2

от зарубежных аналогов являются ее тактико-технические характеристики (Табл. 1).

Таблица 1 – Основные характеристики ИМР-2М

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Масса, т	45-46
2	Экипаж, чел	2
3	Максимальная скорость, км/ч	до 50
4	Запас хода, км	500
5	Преодолеваемые препятствия: глубина брода, м	 до 1,4
	высота стенки, м	0,8
	ширина рва, м	2,7
6	Вылет стрелы/грузоподъемность, м/т	8,8/2
7	Производительность: при работе бульдозерным оборудованием, км/ч	 8-12
	в каменных завалах, м/ч	до 400
	в лесных завалах, м/ч	5-12
	в минных полях, км/ч	7-12
	темп прокладки колонных путей, км/ч	5-10
	отрывка траншей глубиной 1,1-1,3 м, км/ч	8-10
	засыпка рвов, траншей, м/ч	230-300
	устройство спусков, куб.м/ч	40-60
	диаметр ствола сваливаемого дерева, см	40

В заключении хотелось бы добавить, что машина изначально показала себя со всех своих лучших сторон из-за места и времени ее создания, она показала все свои возможности на ликвидации последствий Чернобыльской АЭС и по праву считается надежной, ремонтопригодной и многофункциональной машиной способной работать в любых условиях. На время ее создания была оснащена новейшим, надежным оборудованием. На данный момент до сих пор состоит на вооружении в странах СНГ и успешно эксплуатируется как в военных конфликтах, так и в гражданских целях.

Литература:

1. Машины инженерного вооружения. В 3 ч. Ч. 1. Общая характеристика машин инженерного вооружения, средства инженерной разведки, устройства минно-взрывных заграждений и преодоления заграждений : учебное пособие для студентов и курсантов учреждений высшего образования по направлению специальности 1-36 11 01-04 «Подъемно-транспортные, строительные дорожные машины и оборудование (управление подразделениями инженерных войск)» / С. В. Кондратьев [и др.] ; под общ. ред. Ю. Ш. Юнусова. – 2015. – 376 с.

2. Машины инженерного вооружения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.art-talant.org/publikacii/69954-mashiny-inghenernogo-voorugheniya. – Дата доступа: 01.12.2025.

УДК 621.878.25

История развития автогрейдера

***Нежевец Владислав Игоревич**, студент 4 курса*
кафедры «Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Чечелев И. Д., ассистент кафедры
«Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса»

Автогрейдер – самоходная, пневмоколесная, чаще трёхосная машина (Рис. 1) с длинным невысоким отвалом (отношение длины к высоте 5…7), расположенным за передней парой колёс, предназначен для профилирования, срезания склонов, засыпки канав, рыхления материалов, распределения дорожно–строительных материалов, прокладки и очистки водосточных канав и кюветов.

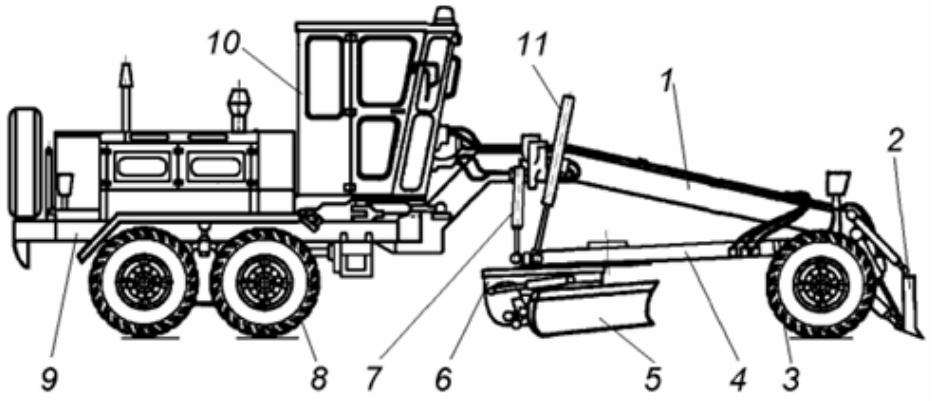


Рисунок 1 – Конструктивная схема автогрейдера
1 – хребтовая балка; 2 – бульдозерный отвал; 3 – управляемые колёса; 4 – тяговая рама; 5 – грейдерный отвал; 6 – поворотный круг; 7 – гидроцилиндр выноса тяговой рамы; 8 – задняя тележка; 9 –подмоторная рама; 10 – кабина; 11 – гидроцилиндры подъема тяговой рамы

История автогрейдеров неразрывно связана с развитием автомобильной промышленности, хотя их предшественник был разработан ещё до появления автомобилей. Первый грейдер появился в Америке и представлял собой телегу с отвалом, прикреплённым к нижней части кареты по центру, и обеспечивался движением, создаваемым силой лошадей. Этот примитивный инструмент использовался для выравнивания поверхностей и подготовки дорог, что было особенно актуально в это время, когда транспортная инфраструктура только начинала развиваться.

В начале 1890-х годов, американский предприниматель, Джозеф Д. Адамс, основал собственную компанию, производившую разнообразную строительную

технику, включая грейдеры. В 1896 году компания выпустила четырёхколёсный конный автогрейдер с отвалом длиной 2,4 м и четырьмя колёсами вместо двух. Эта модель получила название «Road King» (Рис. 2).



Рисунок 2 – «Road King»

Уже к XX веку, начали появляться полноценные тракторы и тягачи, приводимые в движение паровыми двигателями, которые обладали куда лучшей производительности, так как обладали большей мощностью, и которые в сравнении с лошадьми требовали куда меньшего ухода, и как в следствии начали заменять собой лошадей и волов, что как следствие стали успешно интегрировать в грейдерные машины.

С учётом потребностей в более эффективном строительстве и обслуживании дорог, конструкция автогрейдеров со временем совершенствовалась, что и стало главным направлением для развития более современных технологий и машин. Это стало основой для дальнейшего внедрения инноваций в дорожное строительство, что в свою очередь способствовало развитию всей автомобильной отрасли.

С постепенным развитием промышленности и автомобилестроения, начала появляться необходимость создания качественных автомобильных дорог, а значит и машин или приспособлений позволяющих строить эти дороги, затрачивая минимум времени и денег, и таким образом с 1920-х годов автогрейдеры начали активно развиваться благодаря внедрению новых технологий, и первыми компаниями, начавшими массовое производство автогрейдеров с двигателями внутреннего сгорания, стали: Caterpillar, Allis-Chalmers, Russell Grader Manufacturing Company, McCormick Deering, Fordson, Cleveland Tractor Company.

Таким образом к 1970-м годам, автогрейдеры стали куда более похожи на привычные машины, применяемые в земляных работах, так как с этого года машины начали оснащать электронными системами управления и начали внедрятся в конструкцию гидравлические системы, которые также позволяли

значительно улучшить маневренность и производительность машин, и сделало эти машины куда более похожими на те, что можно увидеть сейчас.

Литература:

1. khplant GRADER REBUILD CENTRE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.khplant.co.za/blog/history-motor-graders/ – Дата доступа: 10.10.2025.
2. Шестопалов, К.К. Машины для земляных работ: учеб. пособие / К. К. Шестопалов. – Москва, 2011. – 145 с.

УДК 625.08

История развития гусеничных асфальтоукладчиков

***Шукан Станислав Михайлович**, студент 4 курса*
кафедры «Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Чечелев И. Д., ассистент кафедры
«Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса»

Качество дорожного покрытия, его долговечность и ровность напрямую зависят от техники, используемой на этапе укладки асфальтобетонной смеси. Среди всего парка дорожно-строительных машин именно асфальтоукладчики формируют будущее покрытие. Асфальтоукладчики в целом эволюционировали от простых механических устройств к высокотехнологичным комплексам, и в этом процессе значительную роль сыграли ведущие производители, такие как Caterpillar, Vögele, BOMAG, Dynapac, Blaw-Knox, Roadtec (Astec), LeeBoy, Ammann и Sakai.

Зарождение технологии укладки асфальтобетонного покрытия относится к рубежу XIX–XX веков. Гусеничная платформа, обеспечивающая принципиально иное качество работы, стала внедряться значительно позднее. Barber-Greene стала пионером в производстве асфальтоукладчиков, разработав первые модели с конвейерными системами для подачи материала.

Настоящий прорыв произошел в середине XX века, на фоне бурного роста дорожной инфраструктуры. Этот период ознаменовался ключевыми усовершенствованиями: переход на гидравлическое управление основными функциями, что повысило мощность и плавность работы; внедрение виброплит и трамбующих брусьев для предварительного уплотнения смеси непосредственно в процессе укладки; улучшение систем подачи и распределения асфальтобетонной смеси; использование более износостойких материалов.

В этот период произошли значительные переходы между марками через слияния и поглощения. Например, Barber-Greene в 1986 году была приобретена Astec Industries, а в 1991 году большая часть ее активов перешла к Caterpillar, что усилило позиции Caterpillar Inc. в сегменте асфальтоукладчиков. Аналогично, Blaw-Knox, основанная в 1917 году в США путем слияния Blaw Collapsible Steel Centering Company и Knox Pressed and Welded Steel Company, в 1968 году объединилась с White Consolidated Industries, затем в 1990-х была куплена Ingersoll-Rand, в 2007 году – Volvo Construction Equipment, а в 2020 году ее бизнес по асфальтоукладчикам перешел к Gencor Industries. Dynapac, основанная

в 1934 году в Швеции, в 2007 году была приобретена Atlas Copco, а в 2017 году – FAYAT Group. BOMAG, основанная в 1957 году в Германии, в 2005 году также вошла в FAYAT Group, расширив ассортимент асфальтоукладчиками. Vögele, основанная в 1836 году в Германии, с 1996 года является частью Wirtgen Group (приобретена John Deere в 2017 году). Эти переходы от марок к маркам способствовали объединение технологий, обмену патентами и глобализации производства, повысив надёжность и эффективность современных моделей асфальтоукладчиков.

Современный этап, начавшийся на рубеже XX–XXI веков – это время цифровизации и точного контроля. Применение контактных и ультразвуковых датчиков для контроля ровности, систем автоматического нивелирования и инфракрасных датчиков температуры свело к минимуму влияние человеческого фактора, позволив добиваться высокой точности. Основные производители, такие как Caterpillar и Vögele, внедрили эти технологии в свои модели.

Выбор между гусеничным и колёсным асфальтоукладчиком зачастую зависит от типа работы и важных аспектов. Ниже приведена таблица сравнения преимуществ гусеничных и колесных асфальтоукладчиков на основе ключевых характеристик, приведенных в таблице ниже.

Таблица 1 – Сравнение гусеничных и колёсных асфальтоукладчиков

Параметр	Преимущества гусеничных асфальтоукладчиков	Преимущества колёсных асфальтоукладчиков
Качество укладки	Большая площадь контакта с основанием обеспечивает высокую устойчивость машины и меньший отклик плиты на неровности при их переезде.	Площадь контакта с основанием ниже, реакция плиты более резкая.
Давление на грунт	Низкое удельное давление позволяет работать на слабых, неподготовленных основаниях без риска образования колеи или продавливания.	Высокое давление ограничивает использование на мягких грунтах, но подходит для твёрдых оснований.
Производительность	Производительность достигает 1800 т/ч.	Ограничена в пределах 700 т/ч.
Мобильность	Низкая транспортная скорость, что требует транспортировки на прицепе для перемещений между объектами.	Высокая мобильность – способны быстро своим ходом перемещаться между объектами расположенными недалеко.
Универсальность	Универсальные машины, которые могут использоваться для различных работ.	Оптимальны для объектов с частыми перерывами и перемещениями на небольшие расстояния.

По результатам сравнения мы можем сказать, что гусеничные асфальтоукладчики являются универсальными машинами, которые могут выполнять широкий спектр задач по укладке различных дорожно-строительных материалов.

Литература:

1. Вайсман, Я.А. Строительные машины и оборудование: Учебники для вузов / Я.А. Вайсман, В.Я. Кривцов. – М.: Издательство АСВ, 2018. – 632 с.
2. Добровский, Н.Г. Строительные машины и основы автоматизации: Учебники для вузов / Н.Г. Добровский, Г.Г. Зворыгин. – М.: Высшая школа, 2010. – 575 с.
3. Шестоперов, К.В. Машины для строительства дорожных одежд: теория, конструкция, расчет / К.В. Шестоперов. – М.: Машиностроение, 2007. – 456 с.
4. ГОСТ Р 51248-99 (ЕН 500-1-95) “Машины и оборудование для строительства и содержания дорог. Безопасность. Часть 1. Общие требования”. – М.: Стандартинформ, 2000. – 45 с.

Секция 5

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

УДК 624.21

Ряды Фурье: применение в быту и различных областях науки и техники

Авдей Владислав Валерьевич, Пронин Артем Александрович,
студенты 2 курса кафедры «Математические методы в строительстве»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ковалёнок Н.В., старший преподаватель
кафедры «Математические методы в строительстве»

Ряд Фурье — это представление периодической функции в виде бесконечной суммы синусов и косинусов.

Ряды Фурье можно использовать для анализа звуковых сигналов, в обработке изображений для фильтрации и сжатия изображений, в медицинских технологиях, таких как МРТ, в бытовой электротехнике, такой как радиоприёмники и телевизоры. В данной работе рассмотрим пример обработки изображения.

Начнем по порядку. Хочу рассказать про JPEG. Вкратце, это такой формат графики для хранения фотографий и изображений с большим количеством цветов. В общем, вы делаете 2D-преобразование (в данном случае дискретное косинусное, но принцип тот же, что и у преобразования Фурье) и обнуляем высокочастотные элементы. И вдруг, мы только что уменьшили объем данных, необходимых для хранения изображения. Если нужно сжать еще больше, то понизим порог частот, которые мы обнуляем.

В JPEG изображение разбиваем на блоки (чаще всего 8*8 пикселей). К каждому блоку мы должны применить дискретное косинусное преобразование для преобразования пространственных данных в частоты. Затем происходит квантование, где коэффициенты с низкими частотами, несущие большую часть визуальной информации, сохраняются, а высокочастотные коэффициенты, менее важные для человеческого глаза, отбрасываются или обнуляются, что и приводит к сжатию данных.

Графически наш порядок представляет собой аппроксимацию.

Рассмотрим пример изображения 600/600 пикселей.

Результат:

n=L/2=300 n=L/4=150 n=L/8=75.5



Рисунок 1 – Аппроксимация изображения по строкам

Разность с оригиналом (те же данные)



Рисунок 2 – Аппроксимация по строкам

Обратите внимание, что исходное изображение демонстрирует резкие переходы от черного к белому. При использовании косинусной аппроксимации возникает периодический «шум» вблизи этих переходов, который постепенно затихает по мере удаления от линии контраста. Поскольку линия контраста на изображении напоминает разрыв функции яркости пикселей, это явление иллюстрирует эффект Гиббса.

Эффект Гиббса становится менне выраженным, так как увеличивается порядок аппроксимации, но он по-прежнему заметен.

Теперь рассмотрим аппроксимацию по блокам. Вот как раз она и является одним из способов борьбы с эффектом Гиббса.

Аппроксимация монохромного изображения по блокам (l=8 пикселей).

n=L/2=4 n=L/4=2 n=L/8 =1



Рисунок 3 – Аппроксимация изображения по строкам

Разность с оригиналом (те же данные)



Рисунок 4 – Аппроксимация изображения по блокам

Мы должны разбить на отдельные блоки и каждый из них аппроксимитрировать. Важно выбрать такой размера блока, чтобы в перелых пикселей яркость менялась незначительно. Суть всего этого : зажать контрастные фрагменты изображения в блоках и предотвратить распространение эффекта Гиббса из одних блоков в другие. Если внутри блока яркость постоянная, то для аппроксимации этого блока используем меньший порядок n.

По результатам нашего примера видим, что распространение эффекта Гиббса сократилось до размеров блоков.

Аппроксимация изображения дискретного разложения по косинусам является только первым этапом его сжатия. Сжатие происходит из-за того, что исходные значения сеточной функции заменяются на значения коэффициентов Фурье (при аппроксимации по строкам). И при этом происходит потеря качества.

Уже дальше идет этап квантования, затем группировка и так далее… Вот так устроена технология JPEG.

УДК 624.21

Роль аналитической математики в строительстве

***Асмакович Вероника Александровна**, студент 2-го курса*
кафедры «Промышленное строительство зданий и сооружений»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ковалёнок Н.В., старший преподаватель
кафедры «Математические методы в строительстве»

На протяжении тысячелетий архитектура отражала не только функциональные потребности, но также эстетические идеалы и технологические возможности. Однако с наступлением XX века мир архитектуры пережил настоящую революцию. Появились здания, вдохновленные природой – текучие, органические, динамичные, с парящими сводами, изгибающимися фасадами и сложными, порой несимметричными, оболочками. Воплощение этих, казалось бы, бесформенных и произвольных изгибов требует исключительной точности и глубокого понимания геометрии. Именно здесь большую роль играет аналитическая геометрия – мощный математический аппарат, который стал фундаментом для революции в архитектурном проектировании. Вместо того чтобы рассчитывать на рисунки и физические макеты, аналитическая геометрия позволила перевести точки, линии, кривые и поверхности в универсальный язык алгебраических уравнений и координатных систем.

Аналитическая геометрия – это раздел математики, изучающий геометрические объекты при помощи алгебраических методов. Ее суть заключается в привязке точек, линий и поверхностей к координатным системам (двумерным или трехмерным) и описании их с помощью уравнений. Например, прямая линия в декартовой системе координат может быть задана уравнением y = kx + b, а окружность – (x-a)^2 + (y-b)^2 = R^2.

В архитектуре очень часто находят свое применение различные кривые и поверхности, описываемые аналитическими уравнениями: конические сечения (окружность, эллипс, парабола, гипербола) играют ключевую роль в проектировании арок, куполов, сводов и параболических оболочек; окружность и эллипс часто используются для купольных; парабола – идеальная форма для арок и мостов, поскольку она эффективно распределяет нагрузки; гипербола и гиперболический параболоид– сложные, но очень эффектные и прочные поверхности, используемые в авангардной архитектуре для создания легких, но жестких оболочек крыш или фасадов; винтовая линия является основой для спиральных лестниц, пандусов, а также некоторых декоративных элементов.

Разберем некоторые математические примеры, которые показывают связь аналитической геометрии с архитектурой.

1.Проектирование параболической арки

Предположим, нам нужно спроектировать параболическую арку моста с пролетом L = 20 м и максимальной высотой H = 5 м. Центр арки находится на оси Y, а основание – на оси X. Удобно расположить начало координат в середине пролета на уровне основания арки. Тогда точки опоры будут (-10, 0) и (10, 0), а вершина арки – (0, 5). Общее уравнение будет выглядеть следующим образом:

y = ax^2 + bx + c.

Поскольку вершина на оси Y, парабола симметрична относительно этой оси, что означает b=0. Уравнение упрощается до y = ax^2 + c.

Вершина (0, 5): 5 = a0^2 + c ⇒ c = 5. 2. Точка опоры (10, 0): 0 = a10^2 + 5 ⇒ 0 = 100a + 5 ⇒ 100a = -5 ⇒ a = -0.05.

Уравнение параболической арки: y = -0.05x^2 + 5.

2.Основы спиральной лестницы (винтовая линия)

Спиральная лестница часто основана на геометрии винтовой линии (геликса). Винтовая линия в трехмерном пространстве может быть задана параметрическими уравнениями: x = R cos(t) y = R sin(t) z = ct, где: R – радиус спирали (расстояние от центральной оси до внешнего края ступеней). t – параметр, соответствующий углу поворота (от 0 до 2π для одного полного витка). c – коэффициент, определяющий шаг спирали (насколько "поднимается" спираль за единицу угла поворота)

Предположим, нам нужна лестница высотой H = 3 м, радиусом R = 1.5 м, которая делает N=2 полных витка.

За два витка (т.е. при t = 2 × 2π = 4π) высота должна составить H = 3 м. 3 = c × (4π) ⇒ c = 3/(4π) ≈ 0.2387.

Параметрические уравнения лестницы: x = 1.5 cos(t), y = 1.5 sin(t) z = 0.2387t

3. Панелизация криволинейного фасада (сплайны)

Даны контрольные точки фасадной линии:

Точки P0 (0, 0) P1 (10, 6) P2 (20, 10) P3 (30, 9)

Кубический B-сплайн:

B (t) = $\sum_{i=0}^{3} PiNi, 3(t)$, t ∈ [0 ; 1]

Для t = 0.5

N0,3 (0.5) =0.0625, N1,3 (0.5) =0.25, N2,3 (0.5)=0.375, N3,3 (0.5)=0.3125

B (0.5) = 0.0625 P0 + 0.25 P1 + 0.375 P2 + 0.3125

B (0.5) ≈ (17.2;8.1) Эта точка – координата фасадного элемента, которую затем используют в производстве.

4. Развёртка цилиндрической поверхности

Цилиндр фасада: радиус R = 8 м, дуга фасада α = 60°

Длина развёртки:

L = R · α рад = 8 · π 3 = 8 π 3 ≈ 8.38м L=R·αрад =8·3π =38π ≈8.38м - используется для изготовления облицовочных панелей.

5. Акустика параболического свода

Параболический свод длиной 40м и максимальной высотой 12м

Берем параболу:

$y=-\frac{h}{(L/2)^2}x^2+h$

$y=-\frac{12}{(20)^2}x^2+12==-\frac{12}{400}x^2+12= -0.3x^2+12$

Фокус параболы:

$p=\frac{1}{4a}$, a= -0.3

$p=\frac{1}{-0.12}\approx$ -8.33м – используется для расчета отражения звука (например, при подборе геометрии для концертных залов).

Заключение

Аналитическая геометрия – это язык для описания кривых и поверхностей, превращая архитектурные идеи в точные чертежи. Все современные программы для проектирования криволинейных объектов строятся на принципах аналитической геометрии. Это позволяет архитекторам создавать уникальные и контролируемые формы. Геометрия обеспечивает точность на всех этапах – от задумки до монтажа. Она помогает рассчитывать все детали, снижая количество ошибок при строительстве, это не просто математика, а ключевой инструмент для современного архитектора, работающего с криволинейными формами. Она расширяет творческие возможности и обеспечивает точность и надежность в строительстве. В будущем ожидается еще более тесное слияние геометрии с новыми технологиями, такими как искусственный интеллект, что откроет новые пути для создания уникальной и эффективной архитектуры, где аналитическая геометрия продолжит быть основой.

Литература:

1. Бугров, Я. С., Никольский, С. М. Высшая математика. Т. 1 : Элементы линейной алгебры и аналитической геометрии. — 13-е изд., стер. — Москва : Дрофа, 2020. — 192 с.

2. Волков, А. М. Компьютерная архитектура : формы, технологии, материалы. — Москва : Архитектура-С, 2019. — 288 с.

3. Зимаков, А. С., Калашников, А. Г. Геометрическое моделирование в архитектурном проектировании. — Москва : Эдиториал УРСС, 2222. — 176 с.

6. Ковалев, Н. Г. Теория архитектурных форм. — Москва : АСВ, 2017. — 256 с.

4. Шубенков, П. П. Архитектурное проектирование уникальных зданий и сооружений : учебное пособие. — Москва : Юрайт, 2020. — 300 с.

5. Галимова, А. Ш. Принципы геометрического формообразования в архитектуре на примере параметрического дизайна // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. — 2022. — № 3 (61). — С. 110–118.

УДК 517.518.153

Векторы в строительстве

Астапова Анастасия Николаевна, Титова Александра Николаевна,
студентки 2 курса кафедры
«Строительные материалы и технология строительства»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ковалёнок Н.В., старший преподаватель
кафедры «Математические методы в строительстве»

В строительстве векторы служат наглядным способом представления сил, перемещений и нагрузок на строительные элементы. Вектор – это отрезок с определенной длиной (модулем) и направлением, который наглядно показывает, куда и с какой силой воздействует нагрузка или происходит движение. В отличие от чисел, векторы учитывают не только величину, но и направление, что крайне важно для расчетов сложных пространственных конструкций и каркасных узлов.

Величина вектора (обозначаемая как $|a\rightarrow|$ или $|a|$) представляет собой числовое значение, соответствующее длине отрезка, который этот вектор описывает. Применительно к силам, это значение выражается в ньютонах или килоньютонах. Нулевой вектор, имеющий нулевую величину, символизирует отсутствие нагрузки или движения. Два вектора считаются равными, если их величины и направления совпадают, независимо от их пространственного расположения. В строительстве часто встречаются коллинеарные векторы – векторы, лежащие на одной или параллельных прямых. Яркий пример – вертикальные нагрузки от веса перекрытий и колонн, все они направлены вертикально вниз.

В строительстве векторы применяются для описания сил. Ключевые операции – сложение и умножение на число. Сложение векторов позволяет определить результирующую силу, действующую на конструктивный элемент или узел, путем простого суммирования соответствующих координат (например, по осям X, Y, Z). Умножение вектора на число (скаляр) используется для корректировки величины силы, например, при учете коэффициентов надежности или при комбинировании различных нагрузок. При этом направление силы либо сохраняется, либо меняется на противоположное, в зависимости от знака скаляра. Скалярное произведение векторов имеет особое значение, поскольку оно устанавливает связь между векторами и углами между ними, а также позволяет находить проекции сил на определенные направления. Например, оно используется для определения продольной составляющей силы вдоль оси

стержня, что критически важно при расчете ферм, рам и пространственных каркасов. Эта продольная составляющая напрямую влияет на растяжение или сжатие элемента, определяя необходимое сечение и армирование.

Основой для расчетов строительных конструкций являются уравнения равновесия, которые в векторной форме выражают, что суммарная сила и суммарный момент в системе равны нулю ($\sum \vec{F} = \vec{0}$ и $\sum \vec{M} = \vec{0}$). На практике эти векторные уравнения раскладываются на составляющие по осям координат (x, y, z). Аналогично, перемещение конструктивных элементов удобно представлять в виде векторов. Это особенно важно для метода конечных элементов, где перемещения и усилия объединяются в векторно-матричном виде. Векторный аппарат служит связующим звеном между базовыми знаниями и сложными инженерными задачами, от простых нагрузок до проектирования высотных зданий.

Задача.

В узле стального каркаса здания сходятся две внешние нагрузки:

• вертикальная нагрузка от собственного веса перекрытий

$\overrightarrow{F_1}$- сила величиной F_1= 40 кН, направленная вертикально вниз;

• горизонтальная ветровая нагрузка

$\overrightarrow{F_2}$- сила величиной F_2 = 30 кН, направленная горизонтально перпендикулярно фасаду (внутрь здания).

Примем систему координат:

• ось x - горизонтально, положительное направление - внутрь здания;

• ось y - вертикально, положительное направление - вверх.

Требуется:

1. Записать векторы $\overrightarrow{F_1}$ и $\overrightarrow{F_2}$ в координатной форме.

2. Найти вектор равнодействующей $\vec{R}$= ($\overrightarrow{F_1} + \overrightarrow{F_2}$.

3. Определить модуль равнодействующей $|\vec{R}|$

4. Найти угол α между равнодействующей и положительным направлением оси x (горизонтально внутрь здания).

Решение

1.Запись нагрузок в векторной форме.

Вертикальная сила $\overrightarrow{F_1}$направлена вниз, то есть вдоль отрицательного направления оси y. Горизонтальная проекция этой силы равна нулю:

$\vec{F_1} = (F_{1x}, F_{1y})$= (0, -40) кН.

Горизонтальная сила $\overrightarrow{F_2}$направлена вдоль положительного направления оси x (внутрь здания) и не имеет вертикальной составляющей:

$\overrightarrow{F_2} = (F_{2x}, F_{2y})$ = (30, 0) кН.

2. Нахождение равнодействующей $\vec{R}$.

Равнодействующая — это векторная сумма сил:

$$\vec{R} = \overrightarrow{F_1} + \vec{F}_2$$

В координатной форме:

$R_x = F_{1x} + F_{2x}$= 0 + 30 = 30 кН,

$R_y = F_{1y} + F_{2y}$= -40 + 0 = -40 кН.

Следовательно,

$\vec{R} = (R_x, R_y)$ = (30, -40) кН.

3. Вычисление модуля $|\vec{R}|$

Используем формулу:

$$|\vec{R}| = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

Подставляем значения:

$$|\vec{R}| = \sqrt{30^2 + (-40)^2} = \sqrt{2500} = 50 \text{ кН}.$$

Равнодействующая нагрузка по величине составляет 50 кН.

4. Определение угла α относительно оси x.

Угол α между R и положительным направлением оси x:

$\tan \alpha = \frac{R_y}{R_x} = \frac{-40}{30} = -\frac{3}{4}$.

Сначала найдём модуль угла:

$|\alpha| = \arctan(\frac{4}{3}) \approx 53{,}1°$.

Так как $R_x > 0$, $R_y < 0$, вектор R лежит в четвёртой четверти (вправо и вниз). Поэтому удобно формулировать ответ так: равнодействующая нагрузка направлена внутрь здания под углом примерно 53° к горизонтали, вниз.

Векторное представление нагрузок позволяет компактно описать их величину и направление, находить равнодействующую сил $\vec{R}$= (30, -40) кН с модулем $|\vec{R}|$= 50 кН и определять угол суммарного воздействия. Эти результаты непосредственно используются при выборе сечений элементов, расчёте анкеров и проверке устойчивости узлов каркаса, связывая школьную векторную алгебру с реальной практикой проектирования зданий и сооружений.

Литература:

1. Д.Ю.Снежков,С.Н. Леонович, «Основы метрологии и контроль качества в строительстве» .2019
2. Н. М. Каменский, «Математическое моделирование и оптимизация в строительстве», М.: Стройиздат, 2007.
3. И.А. Шерешевский, Конструирование промышленных зданий и сооружений 2021

УДК 69.002.5

Применение тригонометрии и векторной алгебры в расчёте строительных кранов

Бобарико Станислав Владимирович, Антонович Сергей Олегович,
студенты 2 курса кафедры «Робототехнические системы»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Лебедева Г.И. канд. техн. наук, доцент, кафедры «Высшая математика»

Современное строительство немыслимо без подъемной техники, и стреловой кран является ее ключевым представителем. Его зримая мощь — это лишь верхушка айсберга, под которой скрывается сложный мир инженерных расчетов, обеспечивающих безопасность и эффективность. Надежность этих машин-гигантов полагается не на интуиции, а на строгом математическом и инженерном расчёте их поведения под нагрузкой.

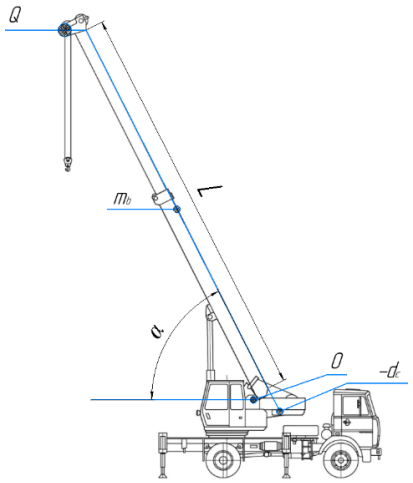


Рисунок 1 – Расчётная схема крана

Рассмотрим векторную алгебру как язык механики. Первым и фундаментальным шагом в построении математической модели является описание всех действующих сил в векторной форме. В расчетной схеме крана (Рис. 1). мы имеем дело с системой таких векторов: вес груза $\bar{G}$, направленный вертикально вниз; собственный вес стрелы $\bar{W}$; реакция в шарнире стрелы $\bar{R}$.

Главным преимуществом векторного подхода является универсальность записи уравнений равновесия. Условие неподвижности крана требует, чтобы сумма всех сил и сумма всех моментов сил равнялись нулю. В векторной форме

эти условия записываются компактно: $\Sigma\bar{F} = 0$, и $\Sigma\bar{M}_0 = 0$, где — момент силы относительно точки О.

Момент силы также является вектором и вычисляется через векторное произведение: $\bar{M}_0 = \bar{r} \cdot \bar{F}$, где $\bar{r}$ — радиус-вектор, проведенный из точки О в точку приложения силы. Модуль этого момента равен $|\bar{M}_0| = |\bar{r}| \cdot |\bar{F}| \cdot \sin(\theta)$. Именно векторное произведение автоматически учитывает геометрию системы и позволяет корректно вычислить вращательный эффект любой силы относительно любой точки конструкции, будь то шарнир стрелы или точка опоры крана на грунт.

Векторные уравнения являются основой, но для численных расчетов их необходимо спроецировать на оси координат.

Вводим прямоугольную систему координат с началом в шарнире стрелы. Ось OX направляем горизонтально вдоль оси поворота крана, ось OY — вертикально вверх. Ключевым параметром является угол α наклона стрелы к горизонту. Длина стрелы L является гипотенузой в прямоугольном треугольнике. Тогда координаты точки подвеса груза (конца стрелы) определяются однозначно: $x_B = Lcos(\alpha)$, y_B = L sin(α).

Далее, тригонометрия позволяет разложить силы на составляющие. Например, вектор веса груза $\bar{G}$ имеет компоненты (0,-G). Однако для расчета момента силы $\bar{G}$ относительно шарнира нам необходимо найти плечо этой силы. Плечо силы — это кратчайшее расстояние от линии действия силы до точки. Для силы $\bar{G}$, линия действия которой вертикальна и проходит через точку В, плечо относительно шарнира О равно как раз горизонтальной проекции радиус-вектора $\bar{r}_{OB}$, то есть $x_B = Lcos(\alpha)$. Таким образом, момент силы тяжести груза равен $M_G = GLcos(\alpha)$. Этот наглядный пример показывает, как тригонометрическая функция напрямую определяет величину момента, стремящегося опрокинуть кран.

Объединим векторный подход и тригонометрические соотношения для вывода основной рабочей характеристики крана — зависимости максимальной грузоподъемности от угла наклона стрелы. Рассмотрим упрощенную схему, учитывающую только главные силы: вес груза $F_г = m_Q g$, массу стрелы $F_c = m_b g$, и массу контргруза $F_к = m_c g$.

Составим уравнение моментов всех сил относительно шарнира стрелы О. Условие равновесия требует, чтобы момент от груза не превышал стабилизирующих моментов от собственного веса стрелы и контргруза. Сила $F_г$ создает опрокидывающий момент: $M_Q = m_Q g L cos(\alpha)$. Вес стрелы m_b, приложенный в ее центре тяжести (условно в середине), создает стабилизирующий момент: $M_b = m_b g \frac{L}{2} cos(\alpha)$. Контргруз $m_c g$ создает

стабилизирующий момент: $M_c = m_c g d_c$, где d_c — расстояние от шарнира до центра масс контргруза (горизонтальное плечо).

Приравнивая опрокидывающий и стабилизирующий моменты (в предельном состоянии устойчивости), получаем:

$$m_Q g L cos(\alpha) = m_b g \frac{L}{2} cos(\alpha) + m_c g d_c.$$

Сокращая на g и преобразуя, находим целевую функцию:

$$Q(\alpha) = \left(\frac{m_b}{2}\right) + \frac{m_c d_c}{L cos(\alpha)}.$$

Данная формула Q(α) наглядно демонстрирует конкурентное влияние геометрии и масс. Первое слагаемое постоянно, а второе обратно пропорционально cos(α). Это означает, что при уменьшении угла α (отведении стрелы к горизонту) cos(α) уменьшается, а требуемый для уравновешивания контргруз (или, наоборот, максимально допустимый груз Q) — растет. Однако на практике рост Q(α) при α ~ 0 ограничивается не устойчивостью, а прочностью самой стрелы и механизмов.

Полученная функция Q(α) является монотонно убывающей на интервале (0°; 90°), так как ее производная $Q'(\alpha) = \left(\frac{m_c d_c}{L}\right) + \frac{\sin(\alpha)}{cos^2(\alpha)} > 0$ при α ∈ (0, π/2). Это означает, что с ростом угла α грузоподъемность увеличивается, достигая максимума при α → 90° (стрела вертикально). Однако реальная рабочая характеристика крана имеет более сложный вид, так как рассмотренная модель была упрощенной.

Выведенная зависимость грузоподъемности от угла наклона стрелы и последующий анализ функции открывают путь к оптимизации рабочих режимов крана. Понимание этой математической основы позволяет не только использовать существующие формулы, но и создавать новые, более точные модели, учитывающие дополнительные факторы: распределенную массу стрелы, ветровые нагрузки, упругие деформации метала и т.д.

Литература:

1. Бугров Я.С., Никольский С.М. Элементы линейной алгебры и аналитической геометрии. — М.: Наука, 2018. — 352 с.
2. Мещерский И.В. Сборник задач по теоретической механике. — СПб.: Лань, 2019. — 448 с.
3. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины: Учебник для вузов. — М.: ИНФРА-М, 2020. — 560 с.
4. Расчет грузовой устойчивости стреловых самоходных кранов: Методические указания. — М.: Издательство АСВ, 2021. — 98 с.

УДК 624.21

Фрактальная геометрия как инструмент повышения информативности архитектурных объектов

Бурак Виолетта Андреевна, Кучеренко Артемий Ярославович,
студенты 2 курса кафедры
«Робототехнические системы и комплексы»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Лебедева Г.И., канд. техн. наук, доцент кафедры «Высшая математика»

Сегодняшняя архитектура проходит большие изменения, связанные с активным использованием цифровых технологий, усложнением строительных систем и расширением визуальных возможностей. Проектирование выходит за границы простых геометрических схем, обращаясь к областям науки, которые раньше казались далекими от практики. Одна из таких сфер — фрактальная геометрия, которая позволяет описывать сложные многослойные структуры, характерные для природных объектов.

Благодаря фрактальным методам в проектировании архитектору легче работать с формами, которые «раскрываются» медленно, на разных уровнях размера.

Примеры зданий с фрактальными формами

1. Музей Гуггенхайма в Бильбао (Фрэнк Гере). Стены здания состоят из сложных кривых поверхностей, созданных по алгоритмическим методам, похожим на фрактальную морфогенезу (рис.1).



Рисунок 1 – Музей Гуггенхайма в Бильбао

2. Исламская архитектура (мечети Ирана, Турции, Узбекистана). Узоры — один из самых распространенных примеров использования фрактальных симметрий. Геометрические узоры повторяются и уменьшающиеся в размере, что создает мнимую бесконечность поверхности (рис.2).



Рисунок 2 – Мечеть Сулеймание. Стамбул. Турция

3. Музей нынешнего искусства в Гарце (Австрия). Облик музея похож на «органическую поверхность», сделанную с помощью параметрических и фрактальных моделей.

Примером простого фрактального вычисления в архитектурном анализе является оценка фрактальной размерности фасада методом «подсчёта квадратов». Метод используют, чтобы определить сложность структуры и уровень её самоподобия.

Предположим, что фасад здания разделён сеткой 10×10. В каждом квадрате фиксируем, содержит ли он элемент фасадной детали. Допустим, при размере клетки 1/10 фасада — заполнено 45 клеток; при размере клетки 1/20 фасада — заполнено 98 клеток. Фрактальная размерность вычисляется по формуле:

D = log (r 2 /r 1)/log (N 2 /N 1),

где N 1 — число заполненных клеток в первом масштабе,

N 2 — во втором,

r 1, r 2 — размеры клеток.

Подставим: D = log (2.18)/log2 ≈ 0.338/0.301 ≈ 1.12

Если D близка к 1 — фасад простой, с небольшим количеством деталей;

Если D приближается к 2 — структура более сложная и насыщенная.

Значение 1.12 говорит о умеренной фрактальности, характерной для фасадов зданий с повторяющимися ритмами и небольшими вариациями.

Также в архитектуре широко используется L-система для генерации фрактальных объектов. Суть системы состоит в переписывании строк, которые описывают, как исходная форма превращается в более сложную на каждом шаге.

L-система состоит из трёх частей:

1.Алфавит

Набор символов (A, B, +, –, […]). Здесь:

A — вертикальный элемент (этаж, колонна),

B — горизонтальная консоль/мост,

[] — ветвление,

+ / – — поворот на фиксированный угол вокруг оси.

2.Аксиома

Стартовая строка:

$\omega=A$

3.Правила переписывания. На каждом шаге каждый символ заменяется по правилу — это создаёт рост структуры.

$A \rightarrow AB$,

$B \rightarrow A[+B]A[-B]$

2. Генерации роста

Генерация 0: A

Генерация 1: AB

Генерация 2: A B A[+B] A[-B]

Генерация 3: A B A[+B] A[-B] A[+A[+B] A[-B]] B A[+B] A[-B]

На 3-ей итерации структура приобретает выраженную фрактальность, формируется «древообразный» каркас.

Таким образом мы показали, что фрактальная форма является важным направлением в развитии современного архитектурного мышления. Примеры архитектуры от башен Шухова до Гауди и Гери показывают, что фрактальные идеи могут проявляться как в построении, так и в украшении здания. А математические методы, такие как расчет фрактальной размерности, дают архитектору инструменты для объективного анализа.

Литература:

1. Савастеева, А. А., Шнырова, В. В., Мавзовин, В. С. ФРАКТАЛЫ В АРХИТЕКТУРЕ/[Текст] // Universum: технические науки . — 2024. — № 6. — С. 123.
2. Кропанева Е.А. АРХИТЕКТУРНАЯ ПАМЯТЬ ГОРОДА: использование фрактальных свойств архитектуры в преобразовании исторической среды /[Электронный ресурс] // bookuraic : [сайт]. — URL: https://book.uraic.ru/project/conf/txt/005/archvuz18_pril/4/template_article-ar=K01-20-k04.htm

УДК 624.21

Теория вероятности в практико-ориентированных задачах

Бут-Гусаим Екатерина Сергеевна, Брановец Анастасия Анатольевна,
студентки 2 курса кафедры
«Строительные материалы и технология строительства»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ковалёнок Н.В., старший преподаватель
кафедры «Математические методы в строительстве»

Задача: Оценка Надежности Фундаментной Системы

+Фундаментное основание под ответственное сооружение запроектировано на свайном поле, состоящем из трех независимых групп свай: Группа А, Группа Б и Группа В. Для обеспечения общей устойчивости (надежности) фундамента, достаточно, чтобы успешно работали хотя бы две из трех групп свай.

На основе статистического анализа геологических условий и качества монтажных работ, были определены вероятности отказа (недопустимой осадки) для каждой группы в течение срока эксплуатации:

- Вероятность отказа Группы А: $P(O_A) = 0{,}10$
- Вероятность отказа Группы Б: $P(O_Б) = 0{,}05$
- Вероятность отказа Группы В: $P(O_В) = 0{,}08$

Требуется найти:

1. Вероятность надежной работы (успеха) всего свайного поля P(успех).
2. Вероятность отказа всего свайного поля P(отказ).

Решение.

1. Определение Вероятностей Успеха Элементов

Сначала найдем вероятности надежной работы (Успеха) для каждой группы свай, используя правило дополнения P(успех) = 1 - P(отказ):

$$P(y_A) = 1 - P(O_A) = 1 - 0.10 = 0.90$$
$$P(y_Б) = 1 - P(O_Б) = 1 - 0.05 = 0.95$$
$$P(y_В) = 1 - P(O_В) = 1 - 0.08 = 0.92$$

2. Определение Условия Успеха Системы

Система (свайное поле) считается успешной, если хотя бы две группы работают надежно.

Событие E = {Успех системы} включает следующие взаимоисключающие сценарии (гипотезы), где $\bar{y}$ означает Отказ:

- E1

Успех А, Успех Б, Отказ В => $P(y_A) \cdot P(y_Б) \cdot P(O_B)$

- E2

Успех А, Отказ Б, Успех В => $P(y_A) \cdot P(O_Б) \cdot P(y_B)$

- E3

Отказ А, Успех Б, Успех В => $P(O_A) \cdot P(y_Б) \cdot P(y_B)$

- E4

Успех А, Успех Б, Успех В => $P(y_A) \cdot P(y_Б) \cdot P(y_B)$

3. Расчет Вероятности Успеха (Пункт 1)

Вероятность успеха системы Р(успех) — это сумма вероятностей этих четырех сценариев (по правилу сложения для несовместных событий):

$$P(успех) = P(E_1) + P(E_2) + P(E_3) + P(E_4)$$

1) Сценарий E_1 (Успех А, Успех Б, Отказ В):
$$P(E_1) = 0.90 * 0.95 * 0.08 = 0.0684$$
2) Сценарий E_2 (Успех А, Отказ Б, Успех В):
$$P(E_2) = 0.90 * 0.05 * 0.92 = 0.0414$$
3) Сценарий E_3(Отказ А, Успех Б, Успех В):
$$P(E_3) = 0.10 * 0.95 * 0.92 = 0.0874$$
4) Сценарий E_4(Успех А, Успех Б, Успех В):
$$P(E_4) = 0.90 * 0.95 * 0.92 = 0.7866$$

Суммируем:

$$P(\text{успех}) = 0.0684 + 0.0414 + 0.0874 + 0.7866 = 0.9838$$

Ответ 1: Вероятность надежной работы всего свайного поля составляет 0.9838 (98.38%).

4. Расчет Вероятности Отказа (Пункт 2)

Вероятность отказа Р(отказ) является противоположностью вероятности успеха: $P(\text{отказ}) = 1 - P(\text{успех})$

$$P(\text{отказ}) = 1 - 0.9838 = 0.0162$$

Ответ 2: Вероятность отказа всего свайного поля составляет 0.0162 (1.62%).

Задача демонстрирует, введением избыточности (требование работы хотя бы двух систем вместо всех трех) можно значительно повысить общую надежность конструкции, даже если отдельные ее элементы имеют относительно высокий риск отказа.

Использование параллельных систем (например, больше свай, больше арматуры, дублирование насосов) является ключевым вероятностным методом снижения риска в строительстве. Вероятность отказа системы (1.62%) значительно ниже, чем вероятность отказа любого отдельного элемента (самый высокий — 10%).

Литература:

1. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 2003
2. ГОСТ Р ИСО 12491-2011. Материалы и изделия в строительстве. Статистические методы контроля качества. М.: Стандартинформ, 2011.
3. Бородин В. И., Клюев С. В., Попов А.Н. Основы теории надежности строительных конструкций. М.: Издательство АСВ, 2008.

УДК 69.003

Применение теории вероятностей и статистики для оценки надежности строительных конструкций

***Вилькевич Полина Юрьевна**, студентка 2 курса*
кафедры «Промышленное строительство зданий и сооружений»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ковалёнок Н.В., старший преподаватель
кафедры «Математические методы в строительстве»

Надежность строительных конструкций является ключевым фактором безопасности зданий и сооружений. Современные методы проектирования требуют учета неопределенности, связанной с нагрузками, свойствами материалов и условиями эксплуатации. Теория вероятностей и статистика позволяют формализовать эти неопределенности и разработать количественные критерии надежности, что делает их незаменимыми инструментами в инженерной практике.

Основы теории надежности

Под надежностью конструкции понимается вероятность её работоспособности в течение установленного времени при конкретных эксплуатационных условиях. Вероятностный подход даёт возможность учитывать случайный характер внешних нагрузок и вариативность прочностных характеристик материалов. Статистические методы используются для анализа результатов испытаний, выявления закономерностей и построения адекватных моделей распределения случайных параметров.

Применение вероятностных методов

1. **Моделирование нагрузок**. Использование распределений вероятностей для описания случайных воздействий (например, нормальное распределение для ветровых нагрузок); применение теории экстремальных значений для оценки редких, но критических нагрузок.
2. **Анализ прочности материалов**. Статистическая обработка результатов испытаний бетона, стали, древесины; построение доверительных интервалов для характеристик прочности.
3. **Методы оценки надежности:**

- **Метод коэффициента надежности**: сравнение расчетных нагрузок и сопротивлений с учетом их вероятностного разброса.
- **Метод Монте-Карло**: имитационное моделирование поведения конструкции при случайных воздействиях.
- **Теория марковских процессов**: анализ деградации конструкций во времени.

Пример задачи.

Условие: На заводе производят бетонные блоки. Вероятность того, что блок окажется **качественным**, равна 95%. Вероятность брака — 5%. Для строительства дома требуется 4 блока, выбранных случайно из партии.

Вопросы:

1. Какова вероятность того, что все 4 блока будут качественными?
2. Какова вероятность того, что среди них окажется хотя бы один бракованный?
3. Какова вероятность того, что ровно два блока будут бракованными?

Решение:

1. Переведём проценты в десятичные дроби:
   95% = 0,95
   5% = 0,05
2. Все блоки оказались качественные:
$$P = 0{,}95^4 = 0{,}8145 \approx 81{,}45\%.$$
3. Хотя бы один блок оказался бракованный:
$$P = 1 - 0{,}8145 = 0{,}1855 \approx 18{,}55\%.$$
3. Ровно два бракованных: используем формулу биномиального распределения:
$$P = \mathrm{C}_2^4 \cdot (0{,}05)^2 \cdot (0{,}95)^2$$
$$P = 6 \cdot 0{,}0025 \cdot 0{,}9025 = 0{,}0136 \approx 1{,}36\%.$$

Ответ: вероятность того, что все 4 блока будут качественными равна **81,45%**; вероятность того, что среди блоков окажется хотя бы один бракованный равна **18,55%**; вероятность двух бракованных строительных блоков равна **1,36%**.

Выводы: применение теории вероятностей и статистики в строительстве позволяет перейти от детерминированных расчетов к более реалистичным моделям, учитывающим неопределенность. Это повышает точность прогнозов, снижает риск аварий и обеспечивает оптимизацию затрат на строительство и эксплуатацию. В будущем развитие вычислительных технологий и методов анализа больших данных откроет новые возможности для применения вероятностных моделей в инженерной практике.

УДК 517.925:624

Использование интегрального исчисления при расчётах гидростатического давления на строительные сооружения

Главинский Дмитрий Дмитриевич, Урбанович Маргарита Дмитриевна,
студенты 2 курса кафедры «Робототехнические системы»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Лебедева Г.И., канд. техн. наук, доцент кафедры «Высшая математика»

При проектировании гидротехнических и подпорных сооружений одной из ключевых задач является правильный расчёт давления воды на элементы конструкции. Это необходимо для обеспечения прочности, устойчивости и долговечности стен, плотин, резервуаров, каналов и других объектов, контактирующих с водой. Вода создаёт так называемое гидростатическое давление, величина которого зависит от глубины. Несмотря на простоту этого явления, расчёт действующих сил требует аккуратного подхода, особенно когда поверхность имеет сложную форму или нагрузка распределена неравномерно. Для таких случаев удобно использовать методы интегрального исчисления, позволяющие получить точные аналитические выражения для силы давления и координат её приложения.

Гидростатическое давление на глубине h выражается формулой $p = \rho g h$, где ρ — плотность жидкости, g — ускорение свободного падения. Из формулы видно, что давление растёт линейно с глубиной. На поверхности воды давление равно нулю, а у дна — максимально. Если рассмотреть вертикальную стенку, на которую давит вода, то нагрузка распределяется по высоте в виде треугольника, где основание соответствует давлению у дна.

Чтобы определить полную силу, действующую на стенку, нужно просуммировать давление по всей её высоте. С точки зрения математики это интеграл от давления по площади поверхности. Для вертикальной стенки высотой H и шириной b сила давления равна: $F = \int_0^H \rho g h b \, dh = \frac{1}{2} \rho g b H^2$.

Полученное выражение показывает, что сила пропорциональна квадрату высоты стенки. Это логично: чем выше уровень воды, тем быстрее растёт давление.

В инженерных расчётах важно не только знать величину силы, но и понимать, где она приложена. Из-за неравномерного распределения давления результирующая сила действует не в середине высоты, а ниже — примерно на две третьих от поверхности. Это можно определить, вычислив координату

центра давления:

$$h_s = \frac{\left(\int_0^H hp(h)\,d(h)\right)}{\left(\int_0^H p(h)\,d(h)\right)} = \frac{2H}{3}.$$

Это значит, что результирующая сила давления воды на вертикальную стенку высотой 4 м будет приложена на глубине 2,67 м от поверхности.

Рассмотрим пример. Пусть плотность воды ρ = 1000 кг/м³, ускорение g = 9,81 м/с², высота стенки H = 4 м, ширина b = 2 м. Тогда сила давления: $F = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 9{,}81 \cdot 2 \cdot 4^2 = 156\,960$ Н.

Эта сила эквивалентна давлению почти 16 тонн, приложенному к площади 8 м². Такая нагрузка требует прочных материалов и надёжного фундамента, особенно если речь идёт о бетонных или железобетонных сооружениях.

Если стенка не вертикальная, а наклонена под углом, расчёт становится чуть сложнее, но общий принцип остаётся тем же. Давление по-прежнему возрастает с глубиной, но сила действует перпендикулярно поверхности. Тогда интеграл берётся с учётом проекции площади, и сила давления выражается через синус угла наклона. Такие задачи хорошо показывают, как интегральное исчисление помогает переходить от теоретических формул к реальным инженерным расчётам (Рис. 1).

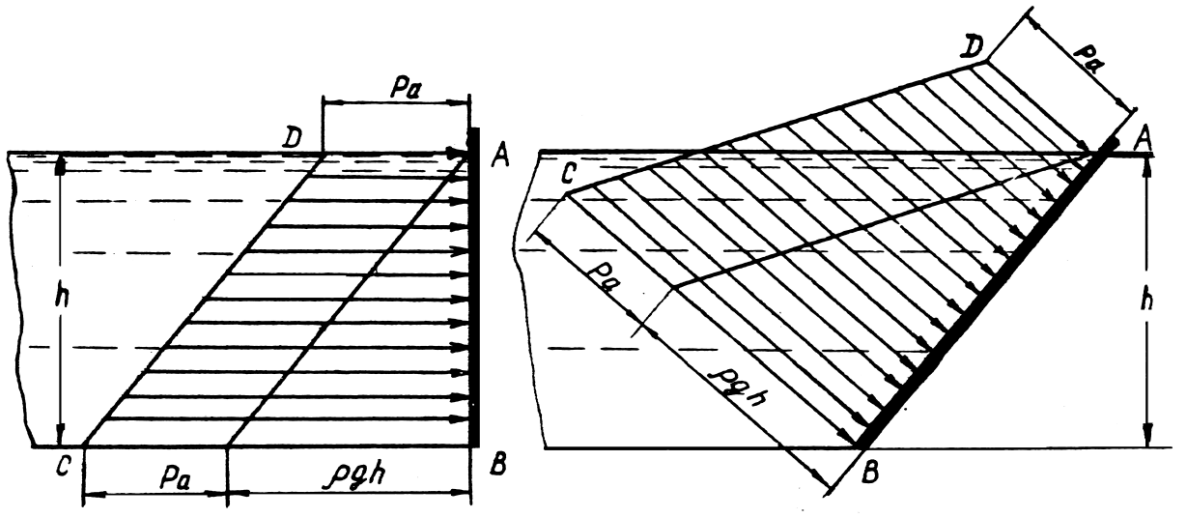


Рисунок 1 – Распределение гидростатического давления на вертикальную и наклоненную стенку

Интегралы позволяют учитывать даже сложные формы поверхностей — например, выпуклые стенки резервуаров, плотины или арочные элементы конструкций. В этом случае давление вычисляется для каждой точки, а затем значения интегрируются по всей поверхности. Подобные методы активно применяются в программных комплексах расчёта сооружений, таких как ANSYS, SCAD, SOFiSTiK и другие.

Использование интегрального исчисления важно не только для определения силы давления, но и для анализа устойчивости сооружений. Если известна величина гидростатического давления и точка его приложения, можно оценить моменты сил, определить возможные деформации или опрокидывание стенки. Это позволяет инженеру подобрать оптимальные размеры и армирование конструкции, а также минимизировать расход материалов без потери надёжности.

Таким образом, применение интегрального исчисления в строительной гидравлике имеет не только теоретическое, но и практическое значение. Этот метод даёт возможность точно рассчитать распределённые нагрузки, возникающие под действием воды, и использовать результаты при проектировании и проверке прочности гидротехнических сооружений. Освоение подобных подходов помогает студентам-инженерам видеть связь между математикой и инженерной практикой и развивает системное мышление, необходимое для работы в строительной отрасли.

Литература:

1. Киселёв А.П. Теоретическая механика: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 2019.
2. Иванов В.И. Гидравлика: учебное пособие для строителей. – Минск: БНТУ, 2022.
3. Кулаков В.Н. Гидротехнические сооружения: основы проектирования. – М.: Стройиздат, 2021.

УДК 514.18

Математика оригами: геометрия складок и преобразований

Гончаров Павел Андреевич, Малафей Александр Владиславович,
студенты 2 курса кафедры «Робототехнические системы»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Лебедева Г.И., канд. техн. наук, доцент
кафедры «Высшая математика»

В статье рассматривается математика оригами как современная научная дисциплина, лежащая на стыке геометрии, алгебры и теории алгоритмов. Исследуются базовые понятия и аксиомы, описывающие процесс складывания бумажного листа. Анализируются геометрические преобразования, индуцированные складками, и их применение в решении классических математических задач, недоступных для построения циркулем и линейкой.

Особое внимание уделяется практическому применению математических принципов оригами в инженерии, архитектуре и биотехнологиях. Элементы новизны заключаются в систематизации связи между абстрактными аксиомами оригами и их прикладными следствиями в высокотехнологичных областях.

Целью настоящей статьи является систематизация ключевых геометрических и математических принципов оригами с акцентом на анализ преобразований, индуцируемых складками. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: во-первых, проанализирован аксиоматический базис математического оригами; во-вторых, описана геометрическая сущность складок и их композиций; в-третьих, выявлены и охарактеризованы перспективные направления прикладного использования данных принципов в наукоемких отраслях.

Математическая строгость оригами зиждется на системе аксиом, формализующих все допустимые операции с листом бумаги. Наиболее полной и общепризнанной является система аксиом Худзиты-Хаттори, которая определяет условия для построения одной складки, совмещающей заданные комбинации точек и прямых. Важно подчеркнуть, что эти аксиомы не являются произвольными правилами, а вытекают из физических свойств материала и законов геометрических отображений.

Сравнительный анализ аксиоматики Евклида и аксиоматики Худзиты позволяет выявить ключевые различия в их потенциале. Если классические построения циркулем и линейкой ограничиваются операциями, сводящимися к уравнениям не выше второй степени, то оригами, благодаря более сложным

аксиомам, позволяет решать задачи третьей степени. Как отмечается в работе, «именно шестая и седьмая аксиомы Худзиты, обеспечивающие одновременное совмещение двух точек с двумя линиями, открывают доступ к кубическим уравнениям». Это означает, что множество чисел, конструктивных методами оригами, является более широким, чем множество евклидово конструктивных чисел.

Практическим следствием этого теоретического положения является возможность решения знаменитых «неразрешимых» античных задач. Например, трисекция произвольного угла, которая невыполнима циркулем и линейкой, может быть осуществлена строгим и элегантным способом с помощью конечной последовательности складок. Это наглядно демонстрирует, что математическое оригами представляет собой не просто альтернативную геометрическую систему, а систему с расширенными конструктивными возможностями.

С формальной точки зрения, каждая складка представляет собой отражение части плоскости относительно линии сгиба. Последовательность складок есть не что иное, как композиция таких отражений. Важнейшим свойством этого процесса является его изометричность: расстояния между точками на поверхности листа в процессе складывания не изменяются. Таким образом, готовая объемная фигура является изометрическим вложением исходного плоского листа в трехмерное пространство.

Для анализа и проектирования складчатых структур используется концепция «паттерна складок» (crease pattern). Паттерн — это плоский граф, нанесенный на исходный лист, ребра которого соответствуют будущим линиям сгибов типа «гора» и «долина». Математический анализ такого графа позволяет предсказать, возможно ли его плоское складывание в целевую модель. Одним из фундаментальных условий, которое должно выполняться в каждой вершине паттерна, является условие Кавасаки: сумма величин чередующихся углов вокруг вершины должна составлять ровно 180°. Это условие является необходимым для того, чтобы секторы листа вокруг вершины могли быть уложены в плоскость без зазоров и наложений.

Изучение свойств паттернов складок переросло в отдельное направление, связанное с теорией графов и комбинаторной геометрией. Современные алгоритмы, такие как TreeMaker и Origamizer, разработанные Робертом Лэнгом, позволяют автоматически генерировать сложные паттерны для создания оригами-моделей практически любой заданной формы, что открывает широкие возможности для компьютерного дизайна.

Переход от математической абстракции к инженерной практике стал характерной чертой развития дисциплины в XXI веке. Можно выделить

несколько ключевых областей, где геометрия оригами доказала свою эффективность.

В космическом машиностроении требования к компактности при запуске и надежности при развертывании делают оригами-подход идеальным решением. Ярким примером является солнцезащитный экран телескопа «Джеймс Уэбб», который в сложенном состоянии помещался в грузовом отсеке ракеты-носителя, а в космосе развернулся в конструкцию размером с теннисный корт. Подобные конструкции рассчитываются с учетом жесткости материала и кинематики движения секций, что напрямую опирается на анализ паттернов складок.

И в медицине, и в биотехнологиях принципы оригами используются для создания миниатюрных устройств. Разрабатываются стенты и хирургические имплантаты, которые вводятся в тело через минимальный разрез в сложенном состоянии, а затем раскрываются в нужной локации. На другом уровне масштаба, в области ДНК-оригами, цепочки нуклеиновых кислот программируются на самосборку в заданные наноразмерные объекты, которые могут служить контейнерами для доставки лекарств или шаблонами для создания электронных схем.

В архитектуре и робототехнике складчатые структуры позволяют создавать объекты, способные адаптироваться к изменяющимся условиям. Это могут быть трансформируемые фасады зданий, изменяющие свою геометрию в зависимости от освещенности, или мягкие роботы, движение которых обеспечивается не шарнирами, а системой внутренних пневматических камер, имитирующих складки. Проведенное исследование позволяет утверждать, что математика оригами представляет собой не только теоретически богатую, но и исключительно практико-ориентированную дисциплину. Ее развитие привело к пересмотру устоявшихся представлений о границах геометрических построений и открыло новые горизонты для инноваций в высокотехнологичных отраслях. Геометрия складок, основанная на изометрических преобразованиях и формализованная системой аксиом, предоставляет универсальный язык для описания и проектирования сложных пространственных структур из плоских заготовок.

Аксиоматическая система оригами, в отличие от евклидовой, обладает расширенной конструктивной мощностью, позволяя решать задачи, сводящиеся к кубическим уравнениям, что доказано на примере трисекции угла. Геометрический анализ складок как операций отражения и их композиций, а также изучение свойств паттернов складок являются основой для предсказания и обеспечения корректного пространственного преобразования плоского листа. Междисциплинарный характер математики оригами подтверждается ее растущим влиянием на такие разнородные области, как космическое

машиностроение, наномедицина и адаптивная архитектура, где на первый план выходят требования к компактности, управляемому развертыванию и функциональности. Дальнейшее развитие дисциплины видится в углублении связей с материаловедением и разработкой новых вычислительных алгоритмов, автоматизирующих процесс проектирования сложных складчатых структур с заданными свойствами.

Литература:

1. Халлам Дж. Математика складывания: от листа бумаги до космического аппарата // В мире науки. — 2022. — № 5-6. — С. 44-52.
2. Демейн Э., О'Рурк Дж. Геометрия и алгоритмы оригами / Пер. с англ. — М.: МЦНМО, 2019. — 730 с.

УДК 625.7/.8:517.3

Применение тройного интеграла для расчета объема бетона при устройстве арочного проема

***Горностаева Дарина Владимировна**, студент 2 курса*
кафедры «Строительные материалы и технологии строительства»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ковалёнок Н.В., старший преподаватель
кафедры «Математические методы в строительстве»

В строительной практике часто возникает необходимость точного расчета материалов для сложных архитектурных элементов. Традиционные методы расчета объемов могут оказаться недостаточно точными для криволинейных поверхностей. В данной работе рассматривается применение тройного интеграла для расчета объема бетона, необходимого для заполнения арочного проема параболической формы.

Постановка задачи:



Рисунок 1

Требуется определить объем бетона для арочного проема со следующими параметрами:

· Ширина проема: L = 3 м
· Высота проема: H = 1 м
· Толщина стены: d = 0,4 м
· Уравнение параболы: $y = 1 - (x/1,5)^2$

Область интегрирования ограничена:

· По z: от 0 до 0,4 м (толщина стены)
· По y: от $1 - (x/1,5)^2$ до 1 (высота арки)

· По x: от -1,5 до 1,5 м (ширина арки)

Математическая модель

Объем тела вычисляется через тройной интеграл:

$$V = \iiint_V dxdydz$$

С учетом границ интегрирования:

$$V = \int_{-1.5}^{1.5} \int_{1-\left(\frac{x}{1.5}\right)}^{1} \int_{0}^{0.4} dzdydx$$

Решение задачи:

1. Интегрируем по z:

$$\int_0^{0,4} dz = z|_0^{0,4} = 0,4 - 0 = 0,4$$

После первого интегрирования:

$$V = \int_{-1.5}^{1.5} \int_{1-\left(\frac{x}{1.5}\right)^2}^{1} 0.4dydx$$

2. Интегрируем по y:

$$\int_{1-\left(\frac{x}{1.5}\right)^2}^{1} 0.4dy = 0.4y|_{1-\left(\frac{x}{1.5}\right)^2}^{1} = 0.4\left[1 - \left(1 - \left(\frac{X}{1.5}\right)^2\right)\right] = 0.4\left(\frac{x}{1.5}\right)^2$$

После второго интегрирования:

$$V = \int_{-1.5}^{1.5} 0.4\left(\frac{x}{1.5}\right)^2 dx = \int_{-1.5}^{1.5} 0.4 \cdot \frac{x^2}{2.25} dx$$

3. Интегрируем по x:

$$V = \frac{0.4}{2.25} \int_{-1.5}^{1.5} x^2\, dx = \frac{0.4}{2.25}\left[\frac{x^3}{3}\right]_{-1.5}^{1.5}$$

Вычисляем:

$$\int_{-1.5}^{1.5} x^2 dx = \left[\frac{x^3}{3}\right]_{-1.5}^{1.5} = \frac{(1.5)^3}{3} - \frac{(-1.5)^3}{3} = \frac{3.375}{3} - \left(-\frac{3.375}{3}\right) = 1.25 + 1.25 = 2.25$$

Окончательно:

$$V = \frac{0.4}{2.25} \cdot 2.25 = 0.4\text{м}^3$$

Практическая корректировка

С учетом технологического запаса (7,5%):

$$V_{\text{практ}} = 0.4 \cdot 1.075 = 0,43\text{м}^3 \approx 0.5\text{м}^3$$

Экономический анализ

При стоимости бетона 150 бел. руб./м^3:

- Расчетный объем: 0,5 · 150 = 75 бел. руб.
- Объем «на глаз»: 1,0 · 150 = 150 бел. руб.
- Экономия на одной арке: 75 бел. руб.

Выводы:

1. Тройной интеграл позволяет точно рассчитать объем сложных пространственных тел

2. Полученный результат (0,4 м³) подтверждает правильность предыдущих расчетов

3. Метод демонстрирует единство математического подхода к решению прикладных задач

4. Использование тройного интеграла обеспечивает максимальную точность расчетов

Применение методов многомерного интегрирования в строительных расчетах позволяет оптимизировать затраты и повысить точность проектных решений.

Литература:

1. Интегралы [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.uznaychtotakoe.ru/integral/ Дата обращения (25.10.2025)
2. Практическое применение интегральных исчислений в строительстве [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://elib.mitso.by/bitstream/edoc/776/1/427-430.pdf Дата обращения (02.11.2025)

УДК 624.21

Применение интегралов как один из способов определения площадей реальных объектов

Денис Дарья Владимировна, Шестакова Дарья Алексеевна,
студентки 2 курса кафедры
«Строительные материалы и технология строительства»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ковалёнок Н.В., старший преподаватель
кафедры «Математические методы в строительстве»

Двойные интегралы можно использовать в реальной жизни, чтобы определить площадь тех или иных объектов. В данной работе в качестве примера мы рассмотрим простую симметричную схему участка с клумбами, которые образованы с помощью функций (Рис. 1).

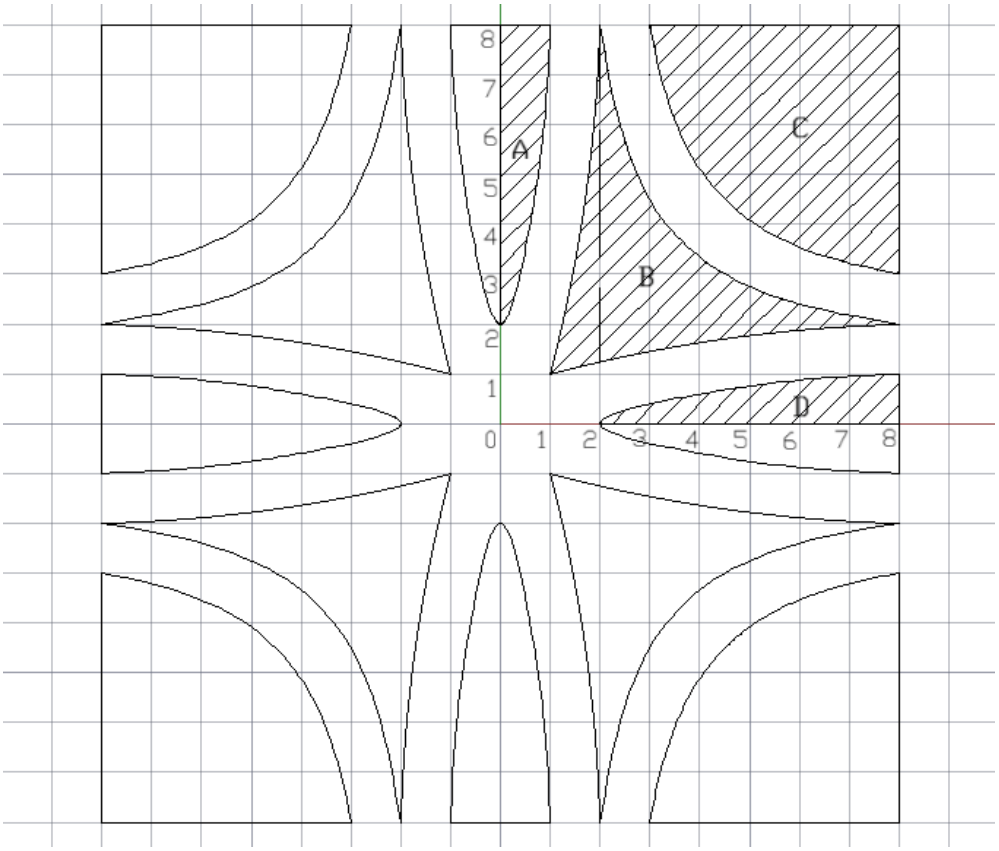


Рисунок 1 – Схема участка в координатной плоскости

Предположим, что владелец участка составил чертёж своего будущего сада с клумбами, и он хочет узнать площадь дорожек, чтобы опираться на эту информацию при закупке материалов (1 ед. на схеме будет равна реальному 1 м).

Для этого найдём площади клумб и отнимем от площади всего участка. Чтобы найти площадь некоторой плоской области воспользуемся свойством двойного интеграла: $\iint_L \mathrm{d}x\,\mathrm{d}y = S_L$ (где L — плоская область).

Так как при разделении участка на четыре части все секторы одинаковые, то сначала рассчитаем площади клумб сектора, находящегося в пределах первой четверти координатной плоскости. Пусть каждая клумба есть область, ограниченная функциями. Рассмотрим каждую такую область и составим интегралы.

Область A ограничена функциями: $y = 6x^2 + 2,\ x = 0,\ y = 8$. Площадь области A:

$$S_A = \iint\limits_A dx\,dy = \int\limits_0^1 dx \int\limits_{6x^2+2}^8 dy$$

В результате решения двойного интеграла получаем 3 ед.^{2}.

Рассмотрим область B, которую ограничивают функции $y = x^3$, $x = y^3$ и $y = \frac{7}{x-1} + 1$. Эту область условно делим на две части прямой $x = 2$ и площадью будет являться сумма двух двойных интегралов:

$$S_B = \iint\limits_B dx\,d_y = \int\limits_1^2 dx \int\limits_{x^{\frac{1}{3}}}^{x^3} dy + \int\limits_2^8 dx \int\limits_{x^{\frac{1}{3}}}^{\frac{7}{x-1}+1} dy$$

Тогда площадь приблизительно 12,12 м^2.

Область C ограничена функциями $y = 8$, $x = 8$, $y = \frac{6}{x-2} + 2$. Интеграл для неё:

$$S_C = \iint\limits_C dx\,dy = \int\limits_3^8 dx \int\limits_{\frac{6}{x-2}+2}^8 dy$$

Отсюда S_c примерно 19,25 ед.^{2}.

Осталась последняя область D и она будет равна по площади области A.

Площадь одного сектора: 81 м^2 (с учётом того, что длины его сторон 9 м).

Теперь для получения площади дорожек нужно отнять от площади одного сектора сумму найденных площадей областей и умножить всё на четыре, так как с самого начала мы рассматривали одну четверть всего участка:

$$S\ \text{дорожек} = (S\ \text{сектора}\ - (S_A + S_B + S_C + S_D)) \cdot 4$$

Отсюда площадь всех дорожек составляет 174,52 м^2.

Таким образом можно находить площади различных объектов и на практике.

УДК 004.925:004.9

Проектирование и реализация графического редактора с применением математических моделей и алгоритмов для точного построения геометрических объектов

***Диковицкий Иван Андреевич**, студент 2 курса*
кафедры «Программное обеспечение информационных систем и технологий»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Холодова Е.П., старший преподаватель кафедры
«Программное обеспечение информационных систем и технологий»

Разработка специализированных графических редакторов является актуальной задачей в строительной отрасли и требует особого внимания к математическим методам построения фигур высокой точности, алгоритмам визуализации и обработки геометрических фигур. В отличие от универсальных графических редакторов, собственный инструмент позволяет гибко управлять логикой рендеринга и непосредственно применять аналитические модели графических примитивов. Такой подход упрощает изучение и реализацию алгоритмов отрисовки контуров, обработки ввода и формирования изображения, адаптируя алгоритмы под специфические требования отрасли. В связи с этим была проведена исследовательская работа по изучению мультимедийной библиотеки SFML с целью создания прототипа графического редактора. Основное внимание было уделено реализации подсистемы рендеринга, математическому описанию фигур и механизмам их отрисовки, а также принципам организации модульной архитектуры приложения, что включает в себя обработку пользовательского ввода, управление графическими объектами и работу с файлами.

Библиотека SFML для оптимизации использует аппаратное ускорение через интерфейсы прикладного назначения DirectX и OpenGL и предоставляет механизмы эффективной работы с видеопамятью, что позволяет писать производительные приложения, включающие в себя сложные графические задачи. Этот подход минимизирует зависимость от операционной системы и физических компонентов компьютера.

Для обеспечения корректной визуализации графических объектов в редакторе используется математическое описание фигур. Описание всех фигур опирается на их аналитические модели, соединенные набором отрезков. Этот подход обеспечивает плавность контуров и стабильность отображения при любом масштабе.

Для отрисовки эллипса в редакторе используется параметрическое описание фигуры. Эллипс задаётся начальной и конечной точкой, которые определяют его ширину и высоту. На основе координат этих точек вычисляются полуоси: $a = \frac{x_2 - x_1}{2}, b = \frac{y_2 - y_1}{2}$, и центр: $x_c = \frac{x_1 + x_2}{2}, y_c = \frac{y_1 + y_2}{2}$. Далее эллипс строится как набор точек, распределённых по углам, а между ними строится отрезок. Каждая точка вычисляется по формулам: $X_i = x_c + a\cos t, Y_i = y_c + b\sin t$, где угол t изменяется от 0 до 2π, точки соединяются короткими отрезками, и визуально получается эллипс. Этот подход реализован в функции drawEllipse, где строится 50 точек для одного эллипса, которых достаточно, чтобы эллипс одновременно был и гладким, и отрисовка была менее ресурсозатратной.

Механизм непрерывного рисования основан на последовательном сравнение текущего и предыдущего положения курсора мыши. Когда пользователь зажимает кнопку, фиксируется первая точка. Далее, при удержании кнопки, в каждом кадре программа получает новое положение курсора, ставится вторая точка и строится отрезок между ними. В начальной точке и в конечной, рисуется круг, соответствующий размерам линии, для более плавного рисунка. По сути, весь рисунок состоит из цепочки маленьких отрезков, объединённых друг с другом. Чем чаще обновляется окно, тем меньше расстояние между точками, и тем более гладкой выглядит линия.

Работа с разработанным редактором подтвердила корректность реализации основных функций. Интерфейс и функции одновременного использования нескольких инструментов рисования, панели управления продемонстрированы на рисунке 1. Изображение показывает точность отрисовки геометрических фигур, сохранение заданных параметров линий и корректность работы программы.

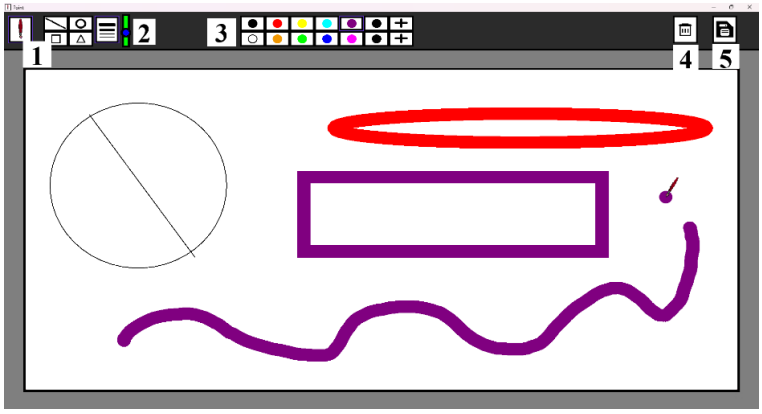


Рисунок 1 – Интерфейс приложения:
1 – выбор фигуры; 2 – выбор толщины; 3 – выбор цвета; 4 – стереть все;
5 – сохранить файл. Источник: собственная разработка

Реализация RGB-палитры через слайдеры обеспечила точную цветопередачу, что подтверждается полным соответствием выбранных параметров и полученного результата. Работа системы пользовательских цветов, представленная на рисунке 2. Экспортированное изображение сохраняет все детали исходной композиции, включая точную толщину линий и цветовые значения.

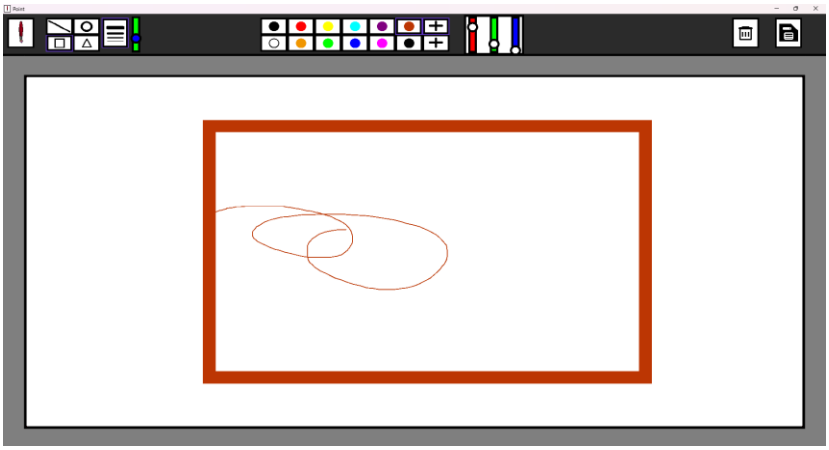


Рисунок 2 – Демонстрация RGB слайдера
Источник: собственная разработка

В результате исследования был разработан функциональный прототип редактора, который демонстрирует возможности библиотеки SFML для создания графических приложений с отрисовкой изображений. Время отрисовки увеличивается пропорционально количеству элементов на холсте, что говорит о хорошо оптимизированных алгоритмах. Библиотека предоставляет все необходимые возможности для создания функциональных программ. Модульная структура проекта позволяет легко расширять редактор, добавляя новые инструменты, функции и кнопки.

Литература:

1. Диковицкий, И. А. Разработка простейшего графического редактора : курсовая работа по дисциплине «Основы алгоритмизации и программирования» / Курсовая работа. – Минск : БНТУ, 2025. – 41 с.
2. SFML Official Documentation [Электронный ресурс]. – URL: https://www.sfml-dev.org/documentation.php (дата обращения: 30.11.2025).

УДК 519.245

Метод «Монте-Карло» в действии

***Димитриев Самир Яковлевич**, студент 2 курса*
кафедры «Промышленное строительство зданий и сооружений»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ковалёнок Н.В., старший преподаватель
кафедры «Математические методы в строительстве»

Введение

Метод Монте-Карло — это статистический метод численного моделирования, который используется для решения задач с большим числом случайных величин или неопределённостей. Он основан на многократном случайном моделировании и вычислении среднего результата, позволяя приблизительно оценить сложные математические и физические процессы. Метод широко применяется в физике, финансах, инженерии и других областях, где аналитическое решение затруднено или невозможно.

Условие задачи

Допустим, в строительной компании необходимо оценить общие расходы на материалы и работу при строительстве жилого комплекса. В реальности, эти параметры могут значительно варьироваться из-за погодных условий, цен на материалы, сроков поставки и других факторов. Чтобы учесть нестабильность и неопределённость, используют метод Монте-Карло - моделирование множества сценариев с случайными вариациями входных данных.

Пример программы: Оценка затрат на строительство с учётом вариаций в расходах ресурсов (рис. 1)

Описание программы

Теперь рассмотрим ключевые строчки программы более детально:

Для начала прописываем команду random которая импортирует

встроенную библиотеку random, которая позволяет генерировать случайные числа. Это необходимо для моделирования вариаций затрат.

Установим исходные данные.

Задаём число повторных расчётов (сценариев), чтобы получить статистически надёжную оценку диапазона затрат (рис. 2).

```python
import random

# Исходные параметры (средние значения и отклонения)
avg_material_cost_per_unit = 5000  # средняя стоимость материала за одну единицу (например, за кубометр)
material_cost_variation = 0.2     # максимальное отклонение (20%)

avg_work_cost = 30000             # средняя стоимость работы за день
work_cost_variation = 0.15        # отклонение (15%)

total_units_of_material = 1000    # количество единиц материала (кубометров)

average_days_of_work = 120        # планируемое количество рабочих дней
days_variation = 0.1              # вариация времени (10%)

# Количество сценариев моделирования
num_simulations = 10000

# Для сбора результатов
total_costs = []

for _ in range(num_simulations):
    # Варьируем стоимость материалов
    material_cost_per_unit = avg_material_cost_per_unit * (1 + random.uniform(-material_cost_variation, material_cost_variation))
    total_material_cost = material_cost_per_unit * total_units_of_material

    # Варьируем время работы
    actual_days = average_days_of_work * (1 + random.uniform(-days_variation, days_variation))

    # Варьируем стоимость работы
    work_cost_per_day = avg_work_cost * (1 + random.uniform(-work_cost_variation, work_cost_variation))
    total_work_cost = work_cost_per_day * actual_days

    # Итоговая стоимость проекта
    total_project_cost = total_material_cost + total_work_cost

    total_costs.append(total_project_cost)

# Статистическая оценка
average_cost = sum(total_costs) / num_simulations
cost_std_dev = (sum((x - average_cost)**2 for x in total_costs) / (num_simulations - 1))**0.5

print(f"Оценочные средние затраты на проект: {average_cost:.2f} у.е.")
print(f"Стандартное отклонение затрат: {cost_std_dev:.2f} у.е.")
```

Рисунок 1 – Оценка затрат на строительство

```python
avg_material_cost_per_unit = 5000  # средняя стоимость материала за единицу
material_cost_variation = 0.2     # максимально допустимое отклонение (20%)

avg_work_cost = 30000             # средняя стоимость работы за день
work_cost_variation = 0.15        # отклонение (15%)

total_units_of_material = 1000    # общее количество единиц материала
average_days_of_work = 120        # запланированное количество рабочих дней
days_variation = 0.1              # вариация времени (10%)
```

```python
num_simulations = 10000
```

Рисунок 2 – Оценка диапазона затрат

После пишем команду для расчёта случайных изменений стоимости материала в пределах ±20%. Команда

random.uniform генерирует число в диапазоне [-0.2, +0.2],

затем умножается на среднюю цену, чтобы получить отклонение, приближенное к реальным условиям. Также пишем команду для статической обработки результатов, которая вычисляет среднее значение всех затрат — даёт представление о типичной стоимости проекта а, также вычисляет стандартное отклонение — меру разброса затрат, т.е. насколько расходы могут варьироваться (рис. 3).

```
average_cost = sum(total_costs) / num_simulations
cost_std_dev = (sum((x - average_cost)**2 for x in total_costs) / (num_simulations - 1))**0.5
material_cost_per_unit = avg_material_cost_per_unit * (1 + random.uniform(-material_cost_variation, material_cost_variation))
total_material_cost = material_cost_per_unit * total_units_of_material
```

Рисунок 3 – Мера разброса затрат

Ну и последней командой мы выводим итоговые данные, которые отображают результаты моделирования — средний ожидаемый расход и уровень риска (нестабильности) (рис. 4).

```
print(f"Оценочные средние затраты на проект: {average_cost:.2f} у.е.")
print(f"Стандартное отклонение затрат: {cost_std_dev:.2f} у.е.")
```

Рисунок 4 – Средний ожидаемый расход и уровень риска

Вывод: после написания программы мы запускаем её около 2 раз и получаем следующие значения (валюта была заменена на BYN для лучшего понимания):

1.(ст)212686.36 BYN,(ср)2697244.10 BYN

2.(ст)214555.55 BYN,(ср)2699126.57 BYN

Данные цены максимально схожи уже с выполненными строительными объектами на территории РБ что доказывает эффективность метода «Монте-Карло».

Литература:

1. «Статистическое моделирование. Методы Монте-Карло» Г.А. Михайлова и А. В. Войтишека.
2. «Метод Монте-Карло» И.М. Соболя
3. «Методы Монте-Карло для параллельных вычислений» М.А. Федоткина и А. В. Зорина

УДК 624.21

Применение интегралов в строительстве

***Ибрагимов Ренат Ильдарович**, студент 2 курса*
кафедры «Строительные материалы и технология строительства»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ковалёнок Н.В., старший преподаватель
кафедры «Математические методы в строительстве»

В строительстве широко применяются методы высшей математики, в частности — интегральное исчисление. Интегралы позволяют решать задачи, связанные с определением площадей, объёмов, масс, центров тяжести, моментов инерции и других характеристик строительных конструкций. Без их использования невозможно точное проектирование сложных архитектурных форм, расчёт нагрузок и оптимизация расхода материалов.

Интегралы применяются в строительной инженерии для анализа и моделирования различных физических процессов. Например, при проектировании мостов, зданий и гидротехнических сооружений важно учитывать распределение нагрузок, форму сечений и массу конструкций. Интегральные методы позволяют переходить от локальных характеристик (например, плотности материала в каждой точке) к глобальным параметрам (массе, объёму, моменту инерции).

Формально, если известна плотность материала $\rho(x, y, z)$, то масса конструкции вычисляется как тройной интеграл: $m=\iiint_V \rho(x, y, z)\, dV$, где V — объём тела.

Также в строительстве часто приходится иметь дело с элементами сложной формы — арками, куполами, колоннами, резервуарами. Геометрические методы не всегда позволяют точно рассчитать их площадь или объём, поэтому применяются определённые интегралы. Например, объём тела вращения, полученного вращением кривой $y=f(x)$ вокруг оси OX, вычисляется по формуле: $V=\pi\int_a^b[f(x)]^2dx$

Такая формула используется, например, при расчёте объёма колонн, куполов или бетонных резервуаров.

Для обеспечения устойчивости сооружений важно знать положение центра тяжести конструкции. Координаты центра тяжести вычисляются с использованием определённых интегралов: $x_c=\frac{\int x\, dm}{\int dm}$, $y_c=\frac{\int y\, dm}{\int dm}$, где dm —

элементарная площадь сечения, а x и y — координаты элементарной площади относительно произвольных осей.

В строительной практике эти формулы применяются при проектировании ферм, балок и железобетонных плит, где важно равномерное распределение нагрузок.

Пример. определить основные геометрические характеристики сечения двутавра, если общая высота H=400 мм; ширина полки $B_п$=200 мм; толщина полки $t_п$=20 мм; толщина стенки t_c=12 мм; высота стенки h_c=400−2×20=360мм.

Решение.

Рассчитаем полную площадь сечения двутавра:

$A_п=B_п×t_п=200×20=4000$ мм^2

$A_c=t_c×h_c=12×360=4320$ мм^2

$A=2A_п+A_c=12\ 320$ мм^2, где $A_п$ – площадь полки, A_c – площадь стенки.

Определим координаты центра тяжести:

т.к. сечение симметрично относительно оси x → $y_c=\frac{H}{2}=200$ мм, x_c также будет равно половине ширины т.к. сечение симметрично относительно оси y.

Найдём момент инерции относительно оси x:

$I_x=2\left(\frac{B_п×t_п^3}{12}+A_п×d^2\right)+\frac{t_c×h_c^3}{12}=3.36×10^8$ мм^4, где d=200−10=190 мм.

Найдём момент инерции относительно оси y:

$I_y=2\frac{t_п×h_п^3}{12}+\frac{h_c×t_c^3}{12}=2.67×10^7$ мм^4

Определим неизвестную S_x: $S_x=\frac{Ix}{c}=\frac{3,36×10^8}{200}=1.68×10^6$ мм^3

Также интегральное исчисление используется для определения распределённых нагрузок. Например, если интенсивность нагрузки q(x) изменяется вдоль балки, то результирующая сила Q равна: $Q=\int_a^b q(x)\,dx$

А момент от нагрузки относительно точки A определяется как: $M_A=\int_a^b q(x)\,(x-a)\,dx$

Эти формулы лежат в основе расчётов изгиба, деформации и прогиба строительных элементов.

Пример: дана одноопорная балка длиной L=6,0 м, распределённая нагрузка на ней линейно возрастает от нуля в левой опоре до q_{max}=6,0 кН/м у правой опоры, ось x — от левой опоры (x=0) к правой (x=L), нагрузка задана функцией: $q(x)=\frac{q_{max}}{L}x$. Требуется найти равнодействующая распределённой нагрузки и её положение; момент относительно левой опоры.

Равнодействующая распределённой нагрузки Q — интеграл интенсивности по длине: $Q=\int_0^L q(x)dx=\int_0^L\frac{q_{max}}{L}xdx.$

Вынесем константу: $Q=\frac{q_{max}}{L}\int_0^L dx=\frac{q_{max}}{L}\left[\frac{x^2}{2}\right]_0^L=\frac{q_{max}}{L}×\frac{L^2}{2}=\frac{q_{max}×L}{2}$

Подставляем числа (в кН и м) $Q=\frac{6\times6}{2}$=18,0 кН.

Определим момент равнодействующей относительно левой опоры (определяет положение)

Момент от распределённой нагрузки относительно x=0: $M_0=\int_0^l q(x)xdx = \int_0^L \frac{q_{max}}{\text{L}} x \times xdx = \frac{q_{max}}{\text{L}} \int_0^L x^2\,dx.$

Вычисляем интеграл: $\int_0^L x^2\,dx = \left[\frac{x^3}{3}\right]_0^L = \frac{L^3}{3}$,

Следовательно, $M_0= \frac{q_{max}}{\text{L}} \times \frac{L^3}{3} = \frac{q_{max}\times L^2}{3} = \frac{6\times6^2}{3}$=72,0 кН×m.

Определим координату равнодействующей x от левой опоры:

$x= \frac{M_o}{Q} = \frac{\frac{q_{max}\times L^2}{3}}{\frac{q_{max}\times L}{2}} = \frac{L^2/_3}{L/_2} = \frac{2\times L}{3}$.

Подставляем L=6,0: x=4,0 м.

Также современные методы строительного проектирования включают интегральные модели для минимизации расхода материалов при сохранении прочности. Например, при использовании вариационных методов функционалы, зависящие от интегралов, позволяют находить оптимальные формы конструкций.

В заключении можно сказать, что интегралы играют ключевую роль в строительной инженерии, обеспечивая точность, надёжность и экономичность проектируемых сооружений. Без математического анализа невозможно выполнение многих инженерных расчётов, от определения объёмов бетона до анализа устойчивости мостовых конструкций. Таким образом, математический анализ и, в частности, интегральное исчисление является неотъемлемым инструментом современного инженера-строителя.

Литература:

1. Бехтерев, Л. Н. Высшая математика для инженеров-строителей. — М.: Академия, 2019. — 432 с.
2. Демидович, Б. П. Курс высшей математики. — М.: Физматлит, 2020. — 784 с.
3. Пискунов, Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисление: Учебник для вузов. — М.: Наука, 2018. — Т. 1. — 480 с.
4. Синицын, В. А. Инженерные расчёты в строительстве: учебное пособие. — М.: Инфра-М, 2020. — 286 с.

УДК 624.21

Парадокс Монти Холла: математическое исследование задачи, которая обманывает интуицию

***Иванцов Иван Максимович**, студент 2 курса*
кафедры «Промышленное и гражданское строительство»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ковалёнок Н.В., старший преподаватель
кафедры «Математические методы в строительстве»

Человеческая интуиция при оценке вероятностей часто приводит к систематическим ошибкам. Одна из самых известных и наглядных демонстраций этого феномена — так называемый парадокс Монти Холла. Эта вероятностная задача, несмотря на кажущуюся простоту, десятилетия вызывает горячие споры не только среди обывателей, но и среди профессиональных математиков.

Задача получила название в честь ведущего популярного американского телешоу 1960-х годов «Let's Make a Deal» Монти Холла.

Представьте, что вы участвуете в телеигре. Перед вами три двери. За одной из них находится автомобиль, за двумя другими — козы. Вы выбираете одну из дверей (например, дверь №1). Ведущий, который знает, где находится автомобиль, открывает одну из оставшихся дверей (например, дверь №3), за которой оказывается коза. После этого ведущий предлагает вам изменить первоначальный выбор и выбрать другую закрытую дверь (в нашем примере — дверь №2). Вопрос: увеличиваются ли ваши шансы выиграть автомобиль, если вы согласитесь изменить свой выбор?

1. Изначально автомобиль равновероятно размещен за одной из трех дверей: $P(A) = P(B) = P(C) = 1/3$.
2. Игрок делает первоначальный выбор одной из дверей.
3. Ведущий, зная расположение автомобиля, всегда открывает дверь с козой среди двух невыбранных игроком дверей.
4. Если у ведущего есть выбор из двух дверей с козами, он выбирает любую из них с равной вероятностью.
5. После открытия ведущим одной двери игрок принимает решение: сохранить первоначальный выбор или изменить его на оставшуюся закрытую дверь.

Пусть события:

1. A_1, A_2, A_3 — автомобиль находится за дверью 1, 2, 3 соответственно.
2. B — событие, что ведущий открыл определенную дверь (в зависимости от выбора игрока).
3. C — событие выигрыша автомобиля.

Нам необходимо сравнить вероятности:

1. P(выигрыш | стратегия "не менять выбор")
2. P(выигрыш | стратегия "изменить выбор")

Составим таблицу всех возможных сценариев игры (рис. 1). Предположим, игрок изначально выбирает дверь №1.

Расположение авто	Выбор игрока	Дверь, открытая ведущим	Стратегия "не менять"	Стратегия "изменить"
Дверь 1	Дверь 1	Дверь 2 или 3	**ВЫИГРЫШ**	Проигрыш
Дверь 2	Дверь 1	Дверь 3	Проигрыш	**ВЫИГРЫШ**
Дверь 3	Дверь 1	Дверь 2	Проигрыш	**ВЫИГРЫШ**

Рисунок 1 – Таблица всех возможных сценариев игры

При стратегии "не менять" выигрыш происходит только в 1 случае из 3.

При стратегии "изменить" выигрыш происходит в 2 случаях из 3.

Таким образом:

P(выигрыш | не менять) = 1/3

P(выигрыш | изменить) = 2/3

Теперь решим эту же задачу используя формулу Байеса (анализ условных вероятностей):

Рассмотрим ситуацию после выбора игроком двери №1. Пусть ведущий открыл дверь №3. Найдем вероятность того, что автомобиль за дверью №1 (если не менять выбор) и за дверью №2 (если изменить выбор).

По формуле Байеса:

$P(A_1|B) = P(B|A_1)\cdot P(A_1) / P(B)$

$P(A_1) = 1/3$ (априорная вероятность)

$P(B|A_1) = 1/2$ (если автомобиль за дверью 1, ведущий мог открыть любую из дверей 2 или 3)

$P(B) = P(B|A_1)\cdot P(A_1) + P(B|A_2)\cdot P(A_2) + P(B|A_3)\cdot P(A_3) = (1/2)\cdot(1/3) + 1\cdot(1/3) + 0\cdot(1/3) = 1/6 + 1/3 = 1/2$

Следовательно:

$P(A_1|B) = (1/2)\cdot(1/3) / (1/2) = 1/3$

Аналогично для двери №2:

$P(A_2|B) = P(B|A_2)\cdot P(A_2) / P(B) = 1\cdot(1/3) / (1/2) = 2/3$

Результат подтверждает предыдущие вычисления.

В итогt имеем, что:

Вероятность выигрыша при стратегии "не менять выбор" = 1/3 ≈ 33.3%

Вероятность выигрыша при стратегии "изменить выбор" = 2/3 ≈ 66.7%

Объяснение парадокса:

Парадокс возникает из-за двух психологических ошибок:

1. Иллюзия равновероятности: после открытия ведущим одной двери многие ошибочно полагают, что автомобиль равновероятно может находиться за любой из двух оставшихся закрытых дверей. Однако это не так, потому что ведущий не открывает дверь случайно — его действия зависят от первоначального выбора игрока и реального расположения автомобиля.
2. Непонимание роли информации: действия ведущего приносят дополнительную информацию о системе. Когда игрок первоначально выбирает дверь, его шансы угадать правильно составляют 1/3. Открытие ведущим двери с козой не меняет эту вероятность для первоначально выбранной двери, но перераспределяет вероятности для оставшихся дверей.

Парадокс Монти Холла имеет значение не только как математический курьез, но и как модель для принятия решений в условиях неопределенности с поступающей дополнительной информацией.

Модель демонстрирует, как новая информация должна влиять на пересмотр вероятностей. Это прямое применение теоремы Байеса, которая лежит в основе современных систем машинного обучения, медицинской диагностики и финансового анализа.

Аналогии в реальных ситуациях:

Медицинская диагностика: если тест на редкое заболевание дает положительный результат, но сам тест имеет некоторую вероятность ложного срабатывания, то вероятность действительно иметь заболевание может быть существенно ниже, чем кажется на первый взгляд (прямая аналогия с пересчетом вероятностей по Байесу).

Судебная экспертиза: Оценка доказательств с учетом априорных вероятностей.

Игровая теория: Парадокс демонстрирует важность понимания правил игры и знаний оппонента (в данном случае — ведущего).

Литература:

1. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. — М.: Высшая школа, 2003. — 479 с. (Основы теории вероятностей, условная вероятность, формула Байеса).

2. Савант М. вос Ask Marilyn // Parade Magazine. — 1990. — 9 сентября. (Первая публикация, вызвавшая широкую дискуссию).
3. Козлов М.В. Вероятность и парадоксы. — М.: МЦНМО, 2015. — 56 с. (Доступное изложение парадокса Монти Холла и аналогичных задач).
4. Rosenthal, J.S. Monty Hall, Monty Fall, Monty Crawl // Math Horizons. — 2008. — Vol. 16. — P. 5-7. (Анализ различных вариантов задачи).
5. Tijms, H. Understanding Probability. — Cambridge University Press, 2007. — 380 p. (Подробное объяснение парадокса с различных точек зрения).

УДК 625.7/.8:517.3

Применение интегрального исчисления в проектировании автомобильных дорог

Исаеня Захар Александрович, Степанович Владислав Дмитриевич,
студенты 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Чернявская С.В., канд. физ.-мат. наук,
доцент кафедры «Математические методы в строительстве»

Современное дорожное строительство требует высокой точности расчетов пространственных параметров трассы. Математический аппарат интегрального исчисления позволяет решать задачи определения длины дороги, кривизны поворотов, объемов земляных работ и других важных параметров.

В качестве примера рассмотрим задачу по вычислению длины дорожной трассы.

Возьмем три условные точки трассы в системе WGS84:

Таблица 1 – Исходные данные

Точка	Широта (B)	Долгота (L)	Высота (H), м
P_1	55.751111°	37.617222°	155.0
P_2	55.752000°	37.618500°	156.5
P_3	55.752889°	37.619778°	158.0

Перейдём к декартовой системе координат, используя следующие формулы преобразования:

$X = (N + H) \times \cos(B) \times \cos(L)$

$Y = (N + H) \times \cos(B) \times \sin(L)$

$Z = (N \times (1 - e^2) + H) \times \sin(B)$,

где N – радиус кривизны первого вертикала, т.е. расстояние по нормали к эллипсоиду от точки пересечения поверхности эллипсоида нормалью до оси OZ; $e^2 = 0.00669437999014$ -- квадрат первого эксцентриситета эллипсоида.

Для вычислений перейдём от градусов к радианам:

$B_1 = 55.752000° \times \frac{\pi}{180} = 0.973065$ рад

$L_1 = 37.618500° \times \frac{\pi}{180} = 0.656586$ рад

Найдём N:

$\sin(B_1) \approx 0.82715$

$N = \frac{6\,378\,137}{\sqrt{(1 - 0.00669438 \times 0.68406)}} = 6\,391\,483.92$ м

Перейдём к преобразованию координат:

$X_1 = (6\ 391\ 483.92 + 156.5) \times 0.56203 \times 0.79210 = 2\ 845\ 041.15$ м

$Y_1 = (6\ 391\ 483.92 + 156.5) \times 0.56203 \times 0.75471 = 2\ 713\ 912.65$ м

$Z_1 = (6\ 391\ 483.92 \times 0.99330562 + 156.5) \times 0.82715 = 5\ 251\ 429.12$ м

После перехода в систему координат UTM получаем:

Таблица 2 – Координаты в системе UTM

Точка	x, м	y,м
P_0	0.00	0.00
P_1	100.00	110.00
P_2	200.00	240.00

Перейдём к вычислению длины дорожной трассы на основании полученных данных:

Аппроксимация трассы по трём точкам методом наименьших квадратов:

$y = f(x) = 0.002x^2 + 1.08x$

Используем формулу длины кривой:

$L = \int_a^b \sqrt{(1 + [f'(x)]^2)}\, dx$

$f'(x) = 0.004x + 1.08$

$L = \int_0^{200} \sqrt{(1 + (0.004x + 1.08)^2)}\, dx \approx 286.42$ м

Таким образом, с помощью определённого интеграла по формуле была найдена длина дорожной трассы.

Литература:

1. МЕТОД И СИСТЕМЫ КООРДИНАТ В ГЕОДЕЗИИ [Электронный ресурс]. – Режим доступаhttps://studfile.net/preview/6654809/. – Дата доступа: 27.11.2025.
2. Гусак, А.А. Ряды и кратные интегралы/А.А. Гусак. – Мн., Изд. БГУ., 1970. – 384 с.

УДК 51-74

Поверхности второго порядка, образующиеся при добыче полезных ископаемых

***Клепча Роман Алексеевич**, студент 2 курса*
кафедры «Математические методы в строительстве»
Белорусский национальный технический университет, Минск
Научный руководитель – Кузнецова А.А., старший преподаватель
кафедры «Математические методы в строительстве»

Поверхность второго порядка — это геометрическое место точек в трёхмерном пространстве, декартовы координаты которых удовлетворяют уравнению F(x,y,z)=0, где F(x,y,z) представляет собой многочлен второй степени. Такие поверхности обладают важными свойствами и находят широкое применение в различных областях науки и инженерии, включая горное дело, где они играют ключевую роль при проектировании шахт, бурении скважин, планировании карьеров и вычислении объёма, массы породы.

Для подсчёта объёма рудного тела. Используют метод аппроксимаций. Аппроксимация – это процесс описания сложной математической модели более простыми поверхностями второго порядка. Поверхностями второго порядка являются: эллипсоид, параболоид, гиперболоид, цилиндр, конус и гиперболический параболоид.

Пример: было найдено штокверковое месторождение сложной формы, но наилучшим описанием этой сложной формы является эллипсоид (Рис.1). Найдём объём эллипсоида и его массу.

Уравнение эллипсоида:

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}+\frac{z^2}{c^2}\leq 1$$

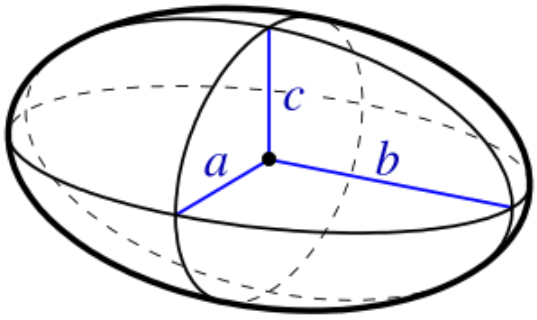


Рисунок 1 – Эллипсоид

где: a,b,c — полуоси эллипсоида.

Объём эллипсоида вычисляется с помощью тройного интеграла. Используем обобщённые сферические координаты.

$$V = \iiint \left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2}\right) dxdydz$$

Данный эллипсоид проектируем на ось Oxy (Рис.2).

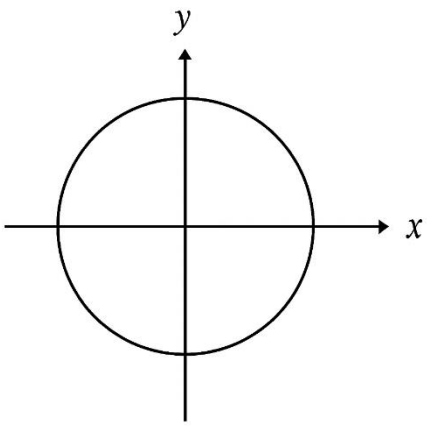


Рисунок 2 – проекция эллипсоида на плоскость Oxy

$$\begin{cases} x = a^* r \sin\theta \cos\varphi \\ y = b^* r \sin\theta \sin\varphi \\ z = c^* r \cos\theta \end{cases}$$

Зная, что якобиан равен:

$$J = r^2 \sin\theta$$

Получим:

$$dxdydz = r^2 \sin\theta \, d\varphi d\theta dr$$

$$J = abc^* r^2 \sin\theta$$

Подставляем значения и вычисляем интеграл.

$$V = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi} \sin\theta \, d\theta \int_0^{1} (abc^* r^2) dr$$

$$V = abc^* \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi} \sin\theta \, d\theta \int_0^{1} r^2 dr$$

$$V = abc^* \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi} \sin\theta \, d\theta^* \frac{1^3}{3}$$

$$V = abc^* \int_0^{2\pi} d\varphi^* 2^* \frac{1}{3}$$

$$V=abc*2\pi*2*\frac{1}{3}$$

$$V=abc*\frac{4\pi}{3}$$

Найдём массу рудного тела:

$$M = p_{const} * \iiint \left(\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}+\frac{z^2}{c^2}\right)dxdydz$$

$$M = V * p_{const}$$

$$M = abc * \frac{4\pi}{3} * p_{const}$$

где: p_{const} — плотность руды постоянна во всём рудном теле.

В заключение можно сказать, что с помощью приведённых выше расчётов можно определить: форму, размеры, объём, вес. Зная эти параметры, можно уже судить будет ли выработка данного месторождения рентабельной. Также поверхности второго порядка нужны не только для расчётов в горном деле, а также во многих сфер промышленности.

Литература:

1. Ильин В.А. Поняк Э Г. Аналитическая геометрия - М.: Наука, 1968.
2. Букринский В.А. Геометрия недр - М.: Недра, 1985.
3. Демидович Б.П. Сборник задач и упражнений по математическому анализу - М.: Наука, 1990.

УДК 007.51

Использование искусственного интеллекта при адаптивном обучении студентов технического университета

***Ковальчук Софья Викторовна**, студентка 3 курса*
кафедры «Программное обеспечение информационных систем и технологий»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Бадак Б.А., заместитель декана ФИТР,
старший преподаватель кафедры «Высшая математика»

Искусственный интеллект (ИИ) – это область информатики, которая занимается созданием систем, способных имитировать когнитивные функции человека: анализировать данные, распознавать образы, понимать естественный язык и принимать решения [1]. Сегодня искусственный интеллект является одной из самых популярных технологий, активно внедряемых в самые разные сферы жизни человека – от здравоохранения до производственных систем. Однако зачастую он используется не совсем по назначению: вместо решения сложных аналитических задач его применяют для развлечений, генерации текстов или поверхностных подсказок. Важно отметить, в образовательном процессе при обучении будущих инженеров-программистов применение искусственного интеллекта имеет важную значимость. С его помощью можно повысить интерес студентов к обучению, облегчить понимание сложных инженерных моментов и существенно упростить жизнь преподавателей, освобождая их от рутинных операций и позволяя сосредоточиться на методологической и творческой стороне педагогики.

Искусственный интеллект в образовательной среде уместно рассматривать как двусторонний инструмент, который помогает и студенту, и преподавателю, но выполняет разные функции в зависимости от роли. Со стороны студента интеллектуальные помощники становятся средством ускоренного анализа данных и визуализации. Например, студенту необходимо обработать результаты лабораторного эксперимента по электротехнике или построить график зависимости напряжения от времени. Вместо того чтобы тратить значительное время на ручное программирование и поиск ошибок, он может обратиться к интеллектуальной системе или чат-боту, которая подскажет корректный синтаксис запроса, предложит оптимальный тип графика и даже выявит возможные аномалии в данных. В курсе механики студент может использовать ИИ для построения графика колебаний маятника, где система автоматически подбирает масштаб и указывает на закономерности. В программировании

интеллектуальный помощник помогает сформулировать SQL-запрос или оптимизировать алгоритм, что снижает барьер восприятия сложных дисциплин и позволяет сосредоточиться на интерпретации результатов. Таким образом, ИИ выступает как навигатор в инженерных дисциплинах: он не решает задачу за студента, но помогает быстрее добраться до понимания сути.

При этом именно в инженерных дисциплинах, где значительная часть содержания связана с абстрактными моделями и многоуровневыми вычислениями, роль интеллектуальных помощников становится особенно заметной [2]. Они не только ускоряют технические операции, но и способны структурировать объяснение материала, разбивая задачу на последовательные шаги, сопровождая их дополнительными примерами и визуализациями. Такая адаптация сложных тем способствует формированию более прочных знаний и развитию навыков самостоятельного анализа. В результате обучение приобретает персонализированный характер, а вероятность успешного усвоения материала каждым студентом существенно возрастает.

Со стороны преподавателя интеллектуальные помощники выполняют функцию автоматизации и оптимизации учебного процесса. Преподаватель может использовать ИИ для создания шаблонов заданий, где параметры автоматически варьируются в заданных диапазонах. Например, в курсе сопротивления материалов преподаватель формирует задачу на расчёт балки, задаёт диапазоны длины, нагрузки и материала, а система генерирует десятки уникальных вариантов для разных студентов. В курсе программирования преподаватель задаёт базовый алгоритм сортировки, а ИИ варьирует условия: от простых массивов до структурированных данных, что позволяет гибко регулировать уровень сложности. В результате преподаватель получает возможность сократить затраты времени на рутинные операции и уделить больше внимания разработке методических материалов и инновационных подходов к обучению.

Вместе эти два подхода создают симбиоз: студент получает поддержку в анализе и визуализации, а преподаватель – инструмент для систематизации и вариативности учебных материалов. В инженерных дисциплинах это особенно важно, так как задачи часто требуют работы с большими массивами данных, построения графиков и проверки множества параметров. Интеллектуальные помощники позволяют студентам быстрее осваивать сложные темы, а преподавателям – создавать адаптивные задания, повышающие качество обучения. В результате формируется современный образовательный процесс, где обучение становится персонализированным, а преподавание – более эффективным и технологичным [3].

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение искусственного интеллекта в образовательный процесс сопровождается рядом рисков, которые необходимо учитывать при его интеграции. Прежде всего существует опасность, что студенты будут чрезмерно полагаться на подсказки интеллектуальных помощников и утратят навыки самостоятельного анализа. Если ИИ подсказывает готовые решения или упрощённые алгоритмы, то у студентов снижается мотивация к критическому мышлению и самостоятельному поиску ответов. Это может привести к формированию поверхностных знаний, что особенно опасно в инженерных дисциплинах, где важна способность самостоятельно анализировать данные и строить модели.

Другим риском является возможность генерации некорректных или упрощённых решений. Алгоритмы ИИ, особенно основанные на языковых моделях, могут выдавать ответы, которые выглядят убедительно, но содержат ошибки или не учитывают специфику задачи. Поэтому необходим постоянный контроль со стороны преподавателя, который должен проверять корректность подсказок и направлять студентов на самостоятельную интерпретацию результатов.

Не менее важны этические вопросы: честность выполнения заданий, защита персональных данных и прозрачность алгоритмов. Использование ИИ в обучении должно сопровождаться ясными правилами, чтобы студенты понимали, где заканчивается помощь системы и начинается их собственная работа. Прозрачность алгоритмов и объяснимость решений ИИ становятся ключевыми факторами доверия к таким системам.

Многочисленные исследования, посвящённые внедрению искусственного интеллекта в образование, сходятся в одном и том же выводе: ИИ способен повысить вовлечённость студентов, сделать обучение более интерактивным и доступным, а также облегчить работу преподавателей за счёт автоматизации рутинных процессов. При этом все авторы подчёркивают, что без педагогического контроля и нормативной базы такие технологии теряют эффективность, приводят к поверхностному усвоению знаний и формированию зависимости от подсказок. Таким образом, независимо от контекста – будь то международные отчёты или белорусские исследования – основная мысль остаётся неизменной: ИИ открывает новые возможности для образования, но его использование требует системного подхода, методического сопровождения и ориентации на развитие самостоятельного мышления обучающихся.

Искусственный интеллект в образовательной среде выполняет двойную функцию: он помогает студентам глубже осваивать инженерные дисциплины за счёт ускоренного анализа данных и визуализации, а преподавателям оптимизировать процесс подготовки и проверки заданий через автоматизацию и

создание вариативных шаблонов. Грамотная интеграция ИИ требует комплексного подхода: методического сопровождения, контроля качества подсказок, разработки этических норм и нормативной базы. Только при таких условиях интеллектуальные помощники смогут усиливать самостоятельное мышление студентов и облегчать работу преподавателей, а не подменять их деятельность. Современные исследования подтверждают, что ИИ способен трансформировать образование, повышая мотивацию и персонализацию обучения, а перспективы его развития связаны с созданием адаптивных образовательных платформ, которые будут сочетать автоматизацию анализа данных, генерацию заданий и индивидуальное сопровождение студентов, открывая новые возможности для инженерного образования.

Литература:

1. Сайдуллаева С.А., Нуруллаева Ш.Т. Автоматизация учебных процессов с помощью искусственного интеллекта и аналитики данных // Гуманитарные науки. – 2022.
2. Радкевич А.С., Радкевич К.А., Рябинин Н.С. Искусственный интеллект в современном образовании: возможности и перспективы интеграции. – Минск : БГУИР, 2023.
3. Национальный институт высшего образования (НИВО). Технологии искусственного интеллекта в образовательном процессе и научных исследованиях. – Минск : НИВО, 2024.

УДК 683.1

Исследование зависимости средней плотности бетона от водопоглощения

***Козлов Тимофей Александрович*, *Новицкий Даниил Алексеевич*,**
студенты 1 курса кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научные руководители – Воронова Н.П., канд. техн. наук, доцент кафедры «Математические методы в строительстве»,
Березовский Н.И., докт. техн. наук, профессор кафедры «Горные машины»

Решение прикладных задач невозможно без заранее спланированных и поставленных экспериментов, без грамотной обработки их результатов для получения необходимого количества информации. Ряд задач требуют нахождения взаимосвязи между исследуемыми параметрами.

Рассмотрим эксперимент, в котором проводились испытания пяти изделий заводского изготовления известково-песчаных автоклавных бетонов с целью исследования зависимости средней плотности $\gamma\left(\frac{кг}{м^3}\right)$ от водопоглощения W(%) (Табл.1).

Таблица 1 – Зависимости средней плотности от водопоглощения

γ_i	1940	1769	1765	1742	1741
w_i	13,4	14,5	15,2	16,9	17,7

Требуется исследовать зависимость γ(w) и получить аналитическую функцию, которая с достаточной точностью отображает результаты эксперимента. При анализе поставим цель, чтобы искомая функция проходила достаточно близко к экспериментальным точкам. При таком подходе можем воспользоваться методом наименьших квадратов.

Построив экспериментальные точки в плоскости переменных γ и w определим два вида функциональной зависимости:

$$\gamma = \frac{1}{aw + b}\ , \tag{1}$$

$$\gamma = \frac{a}{\ln w + b}\ . \tag{2}$$

Так как параметры a и b неизвестны, то в общем виде аналитическая зависимость имеет вид: γ = φ(w, a, b), тогда отклонение в i-ой точке определим по формуле $\gamma_i - \varphi(w_i, a, b)$. Для нахождения параметров сумма квадратов отклонений должна быть наименьшей. Для линейной зависимости γ = φ(w, a, b) это требование выполняется, когда справедлива система:

$$\begin{cases} S_2 a + S_1 b = t_1 \\ S_1 a + S_0 b = t_0 \end{cases}, \quad (3)$$

где S0 = $\sum_{i=1}^{n} x_i^0$, S1 = $\sum_{i=1}^{n} x_i$ S2 = $\sum_{i=1}^{n} x_i^2$, t0 = $\sum_{i=1}^{n} y_i$, t1 = $\sum_{i=1}^{n} x_i y_i$.

Для использования системы (3) при нахождении a и b необходимо зависимости (1) и (2) линеаризировать.

Проведём преобразование в формуле (1): x = w, y = $\frac{1}{\gamma}$ и в формуле (2): x = lnw, y = $\frac{1}{\gamma}$ получим линейную зависимость y = Ax + B. Новые значения переменных приведены в таблице 2 для формулы (1) и в таблице 3 для формулы (2).

Таблица 2 – значения для формулы (1)

x_i	13,4	14,5	15,2	16,9	17,7
y_i	0,00051	0,00056	0,00056	0,00057	0,00057

Таблица 3 – значения для формулы (2)

x_i	2,595	2,674	2,721	2,827	2,873
y_i	0,00051	0,00056	0,00056	0,00057	0,00057

Вычислим коэффициенты S_0, S_1, S_2, t_0, t_1 по результатам таблиц 2, 3 и подставим в систему (3).

Решая систему линейных алгебраических уравнений, например по формулам Крамера, для формулы (1) получим y = Ax + B = 0,0009x -0,00903, для формулы (2) y = Ax + B = 0,00031x – 0,00029. Возвращаясь к исходным

переменным для формулы (1) a = A, b = B, тогда $\gamma = \frac{1}{-1{,}7247 \cdot 10^{-5} w + 0{,}00083}$. Для формулы (2) a = $\frac{1}{A}$, b = $\frac{B}{A}$, $\gamma = \frac{a}{\ln w + b} = \frac{3239{,}39}{\ln w - 0{,}95}$.

Вычислим значения плотности в зависимости от влагосодержания по двум полученным эмпирическим формулам. В результате выбранные для аппроксимации формулы не дают достаточного приближения к экспериментальным данным, так как модуль разности значений, полученных по формулам (1) и (2) и исходных значений имеют значительные абсолютные погрешности.

Аналитическая зависимость по формулам (1) и (2) не основательна. Зависимость между γ и w видимо является статистической и при дополнительном исследовании с увеличением объёма выборки может быть исследована зависимость случайных величин γ и w.

Литература:

1. Математика для инженеров. В 2 т. / С.А. Минюк [и др.]. Минск, 2006.
2. Письменный, Д.Т. Конспект лекции по высшей математике: полный курс / Д.Т. Письменный. М.,2013.
3. Амосов, А.А. Вычислительные методы для инженеров: Учеб пособие / А.А. Амосов [и др.]. М.: Высш. Шк., 1994.

УДК 51

Стратегия игры в покер, основана на теории вероятности

***Колос Максим Андреевич*, *Конколович Даниил Георгиевич*,**
студенты 2 курса кафедры
«Промышленное строительство зданий и сооружений»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ковалёнок Н.В., старший преподаватель
кафедры «Математические методы в строительстве»

Введение

Покер — карточная игра, цель которой — выиграть ставки, собрав как можно более сильную покерную комбинацию. Математика покера опирается на теорию вероятностей: с её помощью можно оценить шансы появления тех или иных комбинаций, вероятность появления нужной карты и общую вероятность победы в раздаче. Каждый игрок должен исходить из диапазона рук соперника и рассчитывать свои шансы на успех именно против конкретного оппонента.

Базовая математическая стратегия

Базовая стратегия сводится к сравнению вероятности выигрыша и стоимости продолжения игры. Идея проста: если шанс на победу превышает соотношение требуемой ставки к возможному выигрышу, имеет смысл продолжать игру; в противном случае лучше сбросить карты. Важно трезво оценивать реалистичность исхода раздачи и точно вычислять вероятность нужного события — это помогает принять решение о размере ставки. Вероятность собрать определённую комбинацию вычисляется с помощью комбинаторных формул.

Расчёт вероятности выигрыша

Вычислить вероятность выпадения комбинаций в покере можно, опираясь на общее количество карт в колоде. Каждая из них отличается от любой другой, так как если совпадает по рангу, то имеется различие по масти, и наоборот. Исходя из этого, реально рассчитать, сколько вариантов пятикарточных сочетаний можно взять из колоды в 52 карты по следующей формуле 1:

$$\frac{\frac{52!}{(52-5)!}}{5!} = 2598960$$

В данном случае факториал определяет, сколько разных сочетаний может получиться из 52-карточной колоды. Благодаря делению на факториал от (52-5) и 5, получаем результат только для пятикарточных рук. Число 2,598,960 это

количество уникальных 5-карточных сочетаний, выпадающих с одинаковой частотой: 1 к 2598960.

Вероятность конкретной комбинации

А теперь мы на примере игр в классических покер покажем, как работает теория вероятности в нем:

За столом находится 2 игрока, на руках у игрока А пара 8, а у игрока В 5 и 7 пик, на стол же при первой раздаче падает 6 пик, 7 и 8 треф. И что же мы видим игрок А собирает сет, однако игрок В может собрать стрит если на столе окажется 5 или 9 любой масти, однако игрок А также может победить, если на столе окажется еще одна 8, чтобы собрать каре или еще одна 6 или 7, чтобы собрать фулл хаус теперь мы можем посчитать шансы каждого на победы при каждом шаге, которых осталось 2.

1-ый шаг:

шансы игрока А на выпадение одной из нужных карт равняются 7 к 49 или около 14,28%, так как в колоде лишь одна 8 и по 3 карты 6 и 7, а карт в колоде еще 47, но также + 2 карты у игрока В и того 49. Шансы игрока В будут выше так как возможных вариантов стрита у него больше, в его случае это – 8 к 49, что уже равняется 16.3 %.

2-ый шаг:

И так теперь представим, что нам не выпала не одна из нужных карт, это значит, что на столе находится карт с помощью которой, мы тоже можем собрать пару для досбора фулл хауса для игрока А, это значит, что его шансы будут равны 10 к 48 или же 20,8 %.

Шансы же игрока В немного вырастут в его случае это – 8 к 48, что уже равняется 16.6 %.

Вывод

Таким образом, покер можно рассматривать как череду вероятностных событий. Чем больше рук вы разыгрываете, тем выше вероятность того, что случится событие, изначально имевшее очень малую вероятность.

Литература:

1. https://poker.ua/veroyatnosti-kombinatsij-v-pokere/
2. http://www.library.ru/lib/books/ gaming_business/matemat_teorija.html

УДК 624.21

Моделирование температурных полей в ограждающей конструкции с помощью дифференциальных уравнений теплопроводности

***Копачев Вадим Станиславович**, студент 2 курса*
кафедры «Строительные материалы и технология строительства»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ковалёнок Н.В., старший преподаватель
кафедры «Математические методы в строительстве»

Теплопередача через ограждающие конструкции зданий оказывает значительное влияние на их энергоэффективность и эксплуатационные характеристики. Для анализа теплового состояния строительных конструкций используются дифференциальные уравнения теплопроводности, которые позволяют моделировать распределение температуры по толщине стены. Цель данной работы рассмотреть распределение температур в однородной стене из тяжёлого бетона при различных условиях и выполнить расчёт с помощью метода интегрирования.

Задача: Дана стена из тяжёлого бетона толщиной $\delta = 0{,}4$ м с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 1{,}74$ Вт/(м·°С). Температура внутренней поверхности поддерживается на уровне $t_в = +20$ °С, а наружной — $t_н = -15$ °С. Требуется определить распределение температуры внутри стены и плотность теплового потока q через конструкцию.

Решение: для стационарного теплового состояния без внутренних источников тепла уравнение теплопроводности записывается как:

$$d^2t/dx^2 = 0.$$

После первого интегрирования по координате x получаем:

$$dt/dx = C_1,$$

где C_1 — постоянная интегрирования, определяющая градиент температуры в стене.

Интегрируя второй раз:

$$t(x) = C_1 \cdot x + C_2,$$

где C_2 — температура на внутренней границе стены ($x = 0$).

1. Зададим граничные условия:

$t(0) = 20$ °С температура внутренней поверхности;

$t(0{,}4) = -15$ °С температура наружной поверхности.

2. Подставляем граничные условия в уравнение $t(x) = C_1 \cdot x + C_2$:

$$t(0) = 20 = C_1 \cdot 0 + C_2 \rightarrow C_2 = 20;$$

$t(0,4) = -15 = C_1 \cdot 0,4 + 20 \rightarrow C_1 = (-15 - 20) / 0,4 = -87,5$ (°C/м).

3. Следовательно, распределение температуры по толщине стены имеет вид:

$t(x) = -87,5x + 20$.

4. Плотность теплового потока через стену определим по закону Фурье:

$q = -\lambda \cdot (dt/dx) = -1,74 \cdot (-87,5) = 152,25$ Вт/м².

Таким образом, каждый квадратный метр стены передаёт тепловой поток мощностью 152,25 Вт при заданных условиях.

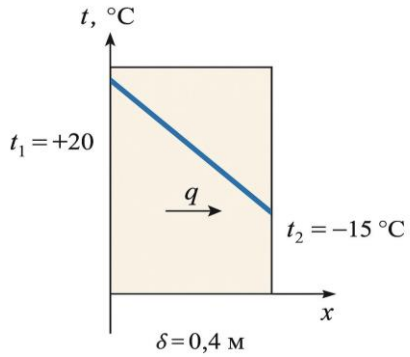


Рисунок 1 – Плотность теплового потока через стену

Таблица 1 — распределения температуры по толщине стены

Координата x, м	Температура t(x), °C
0.0	20.00
0.1	11.25
0.2	2.50
0.3	-6.25
0.4	-15.00

Из таблицы видно, что температура изменяется линейно от +20 °C на внутренней поверхности до -15 °C на наружной. Это подтверждает, что при стационарном режиме без внутренних источников тепла температурное поле в однородной стене является линейным.

В результате решения уравнения теплопроводности и численного интегрирования получено линейное распределение температуры по толщине стены. Плотность теплового потока составила 152,25 Вт/м². Таким образом, математическое моделирование позволяет точно описать процесс теплопередачи в ограждающих конструкциях и использовать полученные данные для оптимизации теплотехнических характеристик зданий.

Литература:

1. Лыков А. В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967.
2. СНиП II-3-79*. Строительная теплотехника. М.: Госстрой СССР, 1980.
3. Бергман Т., Лавин А. Основы теплопередачи. СПб.: Питер, 2015.

УДК 528.856

Повышение точности 3D-моделирования городской среды по данным спутника БКА на основе комплексной фотограмметрической обработки с уточнением орбитальной модели

***Кот Кирилл Сергеевич**, студент 2 курса*
кафедры «Математические методы в строительстве»
Белорусский национальный технический университет, Минск
Научный руководитель – Кузнецова А. А., старший преподаватель
кафедры «Математические методы в строительстве»
Научный руководитель – Куприенко Н. О., старший преподаватель
кафедры «Геодезия и аэрокосмические технологии»

Я считаю, что актуальной задачей современного градостроительства является создание и использование точных цифровых копий городских зон. Существующие методы объективно не способны обеспечить приемлемую метрическую точность при использовании данных спутниковой группировки, в частности, спутника БКА.

Поэтому Я предлагаю комплексное математическое решение для повышения точности 3D-моделирования. В его основе лежит усовершенствованная математическая модель фотограмметрической обработки стереоснимков, включающая геометрическое уточнение рациональной полиномической модели (RPC) с привлечением сети опорных точек, а также применение алгоритмов глобального сопоставления (Semi-Global Matching) для построения высокоплотного облака точек и последующей реконструкции векторных 3D-моделей.

Разработанная методика позволяет преодолеть ключевые ограничения исходных спутниковых данных и обеспечивает создание моделей, пригодных для решения практических задач пространственного планирования и развития городской инфраструктуры.

Пример: предположим, со спутника БКА получена стереопара снимков городской территории. Необходимо повысить метрическую точность данных и построить 3D-модель зданий для градостроительного планирования. Исходные данные содержат систематические ошибки, которые требуется устранить.

Исходные данные: для пяти опорных точек (GCP) известны их координаты на местности (в проекции) и пиксельные координаты на снимке (Табл. 1).

Таблица 1 – Координаты опорных точек

Точка	X (м)	Y (м)	Строка (l)	Столбец (s)
1	100.0	200.0	150.5	300.2
2	150.0	250.0	120.3	350.7
3	200.0	300.0	90.1	400.5
4	250.0	350.0	60.2	450.3
5	300.0	400.0	30.4	500.6

Для повышения точности применим аффинное преобразование к координатам снимка. Уравнение связи выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} l = a_0 + a_1 X + a_2 Y \\ s = b_0 + b_1 X + b_2 Y \end{cases}$$

где a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2 — искомые коэффициенты преобразования.

Для их определения используется Метод Наименьших Квадратов (МНК), который минимизирует сумму квадратов невязок єє между измеренными и модельными значениями.

1. **Формулировка задачи МНК для строк**:

$$S_l = \sum_{i=1}^{n} (l_i - (a_0 + a_1 X_i + a_2 Y_i))^2 \to \min$$

2. **Составление системы нормальных уравнений**:

Частные производные $\frac{\partial S_l}{\partial a_0}$, $\frac{\partial S_l}{\partial a_1}$, $\frac{\partial S_l}{\partial a_2}$ приравниваются к нулю, что приводит к системе:

$$\begin{cases} a_0 n + a_1 \sum X_i + a_2 \sum Y_i = \sum l_i \\ a_0 \sum X_i + a_1 \sum X_i^2 + a_2 \sum X_i Y_i = \sum X_i l_i \\ a_0 \sum Y_i + a_1 \sum X_i Y_i + a_2 \sum Y_i^2 = \sum Y_i l_i \end{cases}$$

3. **Численное решение**:

Подставим данные из Таблицы 1 в систему (n=5).

- $\sum X_i = 1000.0, \sum Y_i = 1500.0$
- $\sum X_i^2 = 225000.0, \sum Y_i^2 = 355000.0, \sum X_i Y_i = 250000.0$
- $\sum l_i = 451.5, \sum X_i l_i = 87650.0, \sum Y_i l_i = 128050.0$

Решая систему, находим коэффициенты для строк:

$a_0 \approx 200.10, \quad a_1 \approx -0.50, \quad a_2 \approx -0.20$

Аналогичная система решается для столбцов s, в результате получаем:

$b_0 \approx 100.05, \quad b_1 \approx 0.10, \quad b_2 \approx 0.99$

Окончательная модель преобразования:

$$\begin{cases} l_{corr} = 200.10 - 0.50X - 0.20Y \\ s_{corr} = 100.05 + 0.10X + 0.99Y \end{cases}$$

Используя полученные коэффициенты, можно с высокой точностью преобразовать координаты любой точки снимка в объектную систему координат. **Это позволяет**:

Строить точные ортомозаики, лишённые геометрических искажений.

Создавать корректные стереопары для построения Цифровых Моделей Рельефа (ЦМР) и Поверхности (ЦМП).

Векторизовать контуры зданий с привязкой к реальным координатам для создания 3D-моделей.

Вывод: применение аффинного преобразования с расчётом параметров через МНК позволяет эффективно компенсировать систематические ошибки спутниковых снимков БКА. Это обеспечивает построение 3D-моделей городской застройки с точностью, достаточной для решения градостроительных задач. Дальнейшее повышение точности может быть достигнуто использованием более сложных полиномиальных моделей и привлечением большего числа опорных точек.

Литература:

1. Белов М.А., Бородко С.К., Шупляк В.И. Методы компьютерной обработки данных в геоинформатике: монография. – Минск: БГУ, 2017.
2. Астахов Д.В., Акифьев И.В. Фотограмметрия и дистанционное зондирование: учебное пособие. – Пенза: ПГУАиС, 2022.
3. Книжников, Ю.Ф., Кравцова, В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований: учебное пособие. – М.: Академия, 2011.

УДК 624.41

Использование дифференциальных уравнений для расчета устойчивости сооружений

Курильчик Илья Сергеевич, ***Бегунов Максим Юрьевич***, *студенты 2 курса кафедры «Робототехнические системы»*
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Лебедева Г.И., канд. техн. наук, доцент кафедры «Высшая математика»

В наше время строительные проекты требуют тщательного подхода к обеспечению надежности и устойчивости конструкции. Расчет нагрузки на конструкции является очень важной частью при сооружении специального оборудования так как от точности расчетов могут зависеть точность работы и безопасность жизни. Одним из самых распространенных расчетов таких свойств являются дифференциальные уравнения. Они позволяют точно рассмотреть механические свойства структур под различным нагрузками.

Дифференциальные уравнения делятся на два основных типа:

Обыкновенные дифференциальные уравнения, они помогают при решении задач, которые зависят от одной переменной (воздействие температуры, колебания и тд.).

Второй тип — это дифференциальные уравнения в частных производных, они помогают при решении задач с нескольких переменных, это может быть (пластические деформации и упругие волны).

В данной работе рассматриваются задачи, в которых используется способ дифференциальных уравнений. Приведены примеры, включающие прогиб консольной балки и колебания мостов. В каждой из показано как узнать критические нагрузки конструкций, которые могут привести к уничтожению или потере равновесия всей конструкции.

Рассмотрим задачу по расчету консольной балки под равномерной нагрузкой:

Для начала стоит записать уравнение Эйлера-Бернулли для изогнутой под нагрузкой балки:

$$EI\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = q(x),$$

где:

E — модуль упругости материала балки,

I — момент инерции поперечного сечения,

$y(x)$ — прогиб балки в произвольной точке x.

Затем нужно проинтегрировать данное уравнение четырежды подряд (учитывая постоянную интенсивность нагрузки $q(x) = q = const$). По итогу вычислений мы получим следующее выражение:

$$y(x) = \frac{qx^4}{24EI} + \frac{C_1x^3}{6EI} + \frac{C_2x^2}{2EI} + \frac{C_3x}{EI} + C_4.$$

Далее определяем постоянные интегрирования C_1, C_2, C_3, C_4 исходя из граничных условий балки получаем:

$$y(0) = 0,$$
$$\frac{\partial y}{\partial x}\,|_{x=0} = 0,$$
$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}\,|_{x=L} = 0,$$
$$\frac{\partial^3 y}{\partial x^3}\,|_{x=L} = -q.$$

Подставляем данные значения в уравнения:

$$y(x) = \frac{q}{24EI}(x^4 - 4Lx^3 + 6L^2x^2).$$

Учитываем, что максимальный прогиб балки наблюдается на её свободном конце (x = L), подставляем L и получим максимальную величину отклонения балки:

$$y(L) = -\frac{qL^4}{8EI}.$$

Исходя из этой формулы видно, что для устойчивости к нагрузкам консольная балка требует правильный подбор материала, достаточную толщину конструкции.

Также в строительном деле важную роль играет расчет колебаний моста под потоком транспорта. В данной задаче необходимы дифференциальные уравнения, которые описывают колебания тел под воздействием периодических сил.

Пусть по мосту едет машина с массой m и постоянной скоростью v. Она создаёт колебания моста, которые описываются следующим уравнением:

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = F\sin(\omega t),$$

где:

$y(t)$ — смещение моста,

k — жесткость конструкции моста,

c — коэффициент демпфирования,

F — максимальная вибрация, вызванная автомобилем,

ω — угловая частота возбуждения.

Общим решением этого уравнения является сумма общего решения однородного уравнения и частного решения неоднородного уравнения. Решение данного уравнения будет выглядеть так:

$$y(t) = Ce^{-\gamma t}\cos(\Omega t) + B\sin(\omega t - \phi),$$

где:

$\gamma = c/(2m)$ — коэффициент затухания,

$\Omega = \sqrt{(k/m) - \gamma^2}$ — собственная частота колебаний моста,

ϕ — фазовый сдвиг.

Это уравнение используется, чтобы не допустить явление резонанса, из-за которого может произойти разрушение моста. Резонанс наступает в тот момент, когда $\omega \approx \Omega$. Это требует особых мер предосторожности при проектировании мостов.

Таким образом применение дифференциальных уравнений является не только инструментом для получения информации об устойчивости конструкции во время использования, а также по итогам расчетных моделей уменьшить шанс аварийной ситуации, повысить эффективность и срок использования оборудования.

Литература:

1. Иванов И.И. Теория и практика сопротивления материалов / И.И. Иванов. — М.: Стройиздат, 2012. — 456 с.
2. Чесноков В. М. Основы теории упругости и сопротивления материалов / В. М. Чесноков. — М.: Высшая школа, 2010. — 398 с.Градин В. В.
3. Дифференциальные уравнения и их приложения в инженерных расчетах / В. В. Градин. — СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2013. — 280 с.
4. Демидова Е. Ю. Приложения дифференциальных уравнений в строительстве // Строительные материалы и конструкции. — 2017. — № 2. — С. 75–81.
5. Воронцев А. В. Модели и методы анализа колебаний мостов под движущейся нагрузкой / А. В. Воронцев // Журнал инженерной механики. — 2018. — Т. 34, № 5. — С. 123–130.

УДК 519.8:004.42.

О компьютерно-математическом моделировании в автомобильной среде

***Лапцевич Иван Андреевич**, студент 2 курса кафедры «ПОИСиТ»*
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Бадак Б.А., старший преподаватель,
зам. декана, кафедры «ПОИСиТ»

В настоящее время технологии не стоят на месте и постоянно развиваются во всех возможных направлениях деятельности человека. Одной из таких сфер, которая расширила свой производственный потенциал, стала автомобилестроение. Современный автомобиль – это не только сплошной двигатель и колёса, которые везут нас куда мы пожелаем, но и тысячи строк кода, управляющие его жизнью. Компьютерно-математическое моделирование стало ключевым инструментом, обеспечивающим безопасность, комфорт, энергоэффективность и инновационное развитие не только транспортных средств, но и всего окружения.

Программирование в автомобилях охватывает широкий спектр задач:

- **Электронные блоки управления (ECU)** – отвечают за работу двигателя, трансмиссии, тормозной системы и других узлов. Их функционирование невозможно без встроенного программного обеспечения.
- **Системы помощи водителю (ADAS)** – адаптивный круиз-контроль, автоматическое торможение, удержание в полосе. Эти функции реализуются благодаря сложным алгоритмам обработки данных с датчиков и камер.
- **Инфотейнмент и телематика** – мультимедийные системы, навигация, связь с облаком. Здесь активно применяются платформы вроде **Automotive Grade Linux** и архитектуры **AUTOSAR**, которые стандартизируют разработку ПО для автомобилей.
- **Кибербезопасность** – защита от взлома и несанкционированного доступа к системам автомобиля становится критически важной задачей.

Таким образом, программирование собирает автомобиль в интеллектуальное устройство, наподобие смартфонов, способное адаптироваться под современные требования водителей к условиям движения и взаимодействовать с окружающей средой.

Не менее важную роль играет математическое моделирование, позволяющее проектировать и оптимизировать транспортные системы ещё до их физического воплощения.

Выделяются **основные направления применения**:

- **Моделирование динамики автомобиля** – расчёт устойчивости, управляемости, тормозного пути.
- **Оптимизация конструкции** – использование методов математического программирования для выбора оптимальных параметров двигателя, подвески, аэродинамики.
- **Имитация дорожных условий** – моделирование поведения автомобиля в различных сценариях (гололёд, резкое торможение, аварийные ситуации).
- **Проектирование транспортных систем** – математические модели помогают оценить эффективность логистики, пассажиропотоков и экологических характеристик.

Математика необходима для точных расчётов механики и динамики движения авто, проверки конструктивной прочности применяемых материалов, а также непосредственной логистики перевозки и доставки ресурсов для оптимизации затрат. В свою очередь программирование позволяет провести проверку поведения виртуальной модели автомобиля в различных условиях среды без использования настоящих прототипов, что существенно экономит время и средства при разработке.

Таблица 1 – Примеры автопроизводителей и их цели применения

Автопроизводитель	Цель применения
Tesla	Реализация функции автопилота, основанной на машинном обучении
BMW, Mercedes	Оптимизация аэродинамики кузова и снижение расхода топлива
Toyota	Симуляция для проверки надёжности гибридных систем и батарей

```python
import cv2
import numpy as np

image = cv2.imread('road.jpg')
gray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
edges = cv2.Canny(gray, 50, 150)

cv2.imshow('Edges', edges)
cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()
```

Рисунок 1 – Пример обработки изображения с камеры с использованием OpenCV и Python.

Использование компьютерно-математического моделирования в автомобильной среде стало неотъемлемой частью современного автомобилестроения. Эти технологии позволяют создавать более безопасные, экономичные и интеллектуальные автомобили, а также открывают путь к полностью автономному транспорту.

Подводя итоги, можно утверждать, что будущее автомобильной отрасли напрямую связано с развитием программирования и математического моделирования, которые становятся её фундаментом.

Литература:

1. Как разработчики софта могут захватить автоиндустрию. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://habr.com/ru/companies/itelma/articles/520662/.
2. Программирование для автомобильной отрасли. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://it-vacancies.ru/blog/programmirovanie-dlia-avtomobilnoi-otrasli/.
3. Дьяков И. Ф., Дьяков В. И. «Математическое моделирование процесса проектирования транспортных средств», 2022.
4. Разработка ПО для автомобилей: как пишут код для Tesla и других авто? [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://itproger.com/news/razrabotka-po-dlya-avtomobiley-kak-pishut-kod-dlya-tesla-i-drugih-avto.

УДК 518.12

Отыскание решений одной системы линейных уравнений методом итераций

Ларионова Яна Владимировна, Колесникович Виктория Михайловна,
студенты 1 курса кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Воронова Н.П., канд. техн. наук, доцент кафедры «Математические методы в строительстве»

В настоящее время большое внимание уделяется математическому моделированию и численным методам при решении инженерных задач. Инженерные задачи имеют практическую направленность, поэтому необходимо доводить их результаты до конкретных числовых значений, на основании которых можно принимать решения [1].

Рассмотрим линейную систему уравнений вида

$$\begin{cases} x^3 + y^3 = 8xy, \\ xlny = ylnx. \end{cases} \qquad (1)$$

В одной системе координат построим графики для двух уравнений (рис.1).

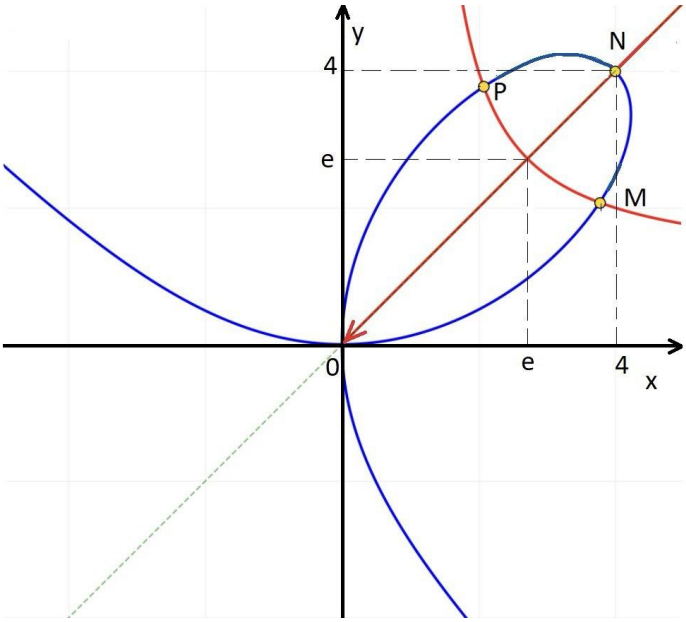


Рисунок 1 – Графики функций системы

Решения системы находятся в точках пересечения графиков. Координаты точки N легко найти x=4, y=4. Координаты точки P можно определить через координаты точки M в силу симметрии относительно прямой y=x. Из графика видно, что координаты очки M удовлетворяют неравенствам 3,5≤x≤4, 1,5≤y≤2,5. Приближения x^0≈3,8, y^0≈2 выбираем в качестве нулевого.

По теории метода простой итерации [2] приведем систему (1) к эквивалентной системе:

$$\begin{cases} x = \sqrt[3]{8xy - y^3}, \\ y = y + \frac{y}{lny} - \frac{x}{lnx}. \end{cases} \quad (2)$$

Обозначим $F_1(x,y) = \sqrt[3]{8xy - y^3}, F_2(x,y) = y + \frac{y}{lny} - \frac{x}{lnx}$ и составим матрицу

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x} & \frac{\partial F_1}{\partial y} \\ \frac{\partial F_2}{\partial x} & \frac{\partial F_2}{\partial y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{8y}{3(8xy-y^3)^{2/3}} & \frac{8y-3y^2}{3(8xy-y^3)^{2/3}} \\ \frac{1}{ln^2 x} - \frac{1}{lnx} & 1 + \frac{1}{lny} - \frac{1}{ln^2 y} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Подставим x^0и y^0в матрицу (3), получим

$$\begin{pmatrix} 0{,}379 & 0{,}436 \\ -0{,}188 & 0{,}361 \end{pmatrix}.$$

Тогда метод простой итерации будет сходиться со скоростью геометрической прогрессии со знаменателем q≈0,379+0,436=0,815. Итерации будем вести по формулам в соответствии с системой (2)

$$x^{(n+1)} = \sqrt[3]{8x^{(n)}y^{(n)} - (y^{(n)})^3},$$
$$y^{(n+1)} = y^{(n)} + \frac{y^{(n)}}{lny^{(n)}} - \frac{x^{(n)}}{lnx^{(n)}}.$$

Критерием окончания процесса выберем условие

$$\left|x^{(n)} - x^0\right| \le \frac{q}{1-q}\left|x^{(n)} - x^{(n-1)}\right|, \left|y^{(n)} - y^0\right| \le \frac{q}{1-q}\left|y^{(n)} - y^{(n-1)}\right|. \quad (4)$$

Результат девятой итерации удовлетворяет условиям (4), следовательно, координаты точки M: x≈3,774 y≈2,077. Симметричная точке M точка P тогда имеет координаты x≈2,077 y≈3,774.

Литература:

1. Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В. Вычислительные методы для инженеров: Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 1994. – 544с.
2. Крылов В.И. и др. Вычислительные методы высшей математики. Т. 1. Под ред. И.П. Мысовских. Мн., «Вышейш. школа», 1972. – 584с.

УДК 517.3

История развития интегрального исчисления. Рассмотрение вклада Ньютона, Лейбница и других учёных в формирование теории интегралов

Микула Елизавета Вячеславовна, Шилович Наталья Дмитриевна,
студентки 2 курса кафедры «Робототехнические системы»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Лебедева Г.И., канд. техн. наук, доцент кафедры «Высшая математика»

История интегрального исчисления — это путь от простых, интуитивных способов нахождения площадей и объёмов к созданию цельной математической теории. В XVII веке её основы заложили великие учёные — Исаак Ньютон и Готфрид Лейбниц. Они независимо друг от друга сформулировали главные идеи и показали связь между интегралами и производными. В этой работе показаны основные этапы становления интегрального исчисления и роль учёных, чьи идеи стали основой для создания теории интегралов.

Интегральное исчисление возникло как способ решать задачи нахождения площадей, объёмов и других величин, связанных с пределами. Исторически его появление связано с попыткой описать бесконечно малые величины и суммировать непрерывные процессы. До XVII века идеи, близкие к интегрированию, встречались у Архимеда, использовавшего метод «исчерпывания» для вычисления площадей фигур. Однако потребовалось свыше полутора тысяч лет, прежде чем эти идеи получили чёткое математическое оформление и превратились в интегральное исчисление. Через две тысячи лет метод «исчерпывания» был преобразован в метод интегрирования, с помощью которого удалось объединить самые разные задачи – от вычисления площадей, объёмов до вычисления массы тела, работы, давления, электрического заряда, светового потока и многого другого.

Основы интегрального и дифференциального исчисления связаны с операциями нахождения производной и первообразной, а также их применением к решению прикладных задач. Теоретические предпосылки этих методов начали формироваться в XVII веке, опираясь на работы Иоганна Кеплера. В книге «Стереометрия винных бочек» (1615) он предложил способ вычисления объёмов тел вращения, разрезая их на очень тонкие слои — это стало прообразом интегрирования. Ещё раньше, в «Новой астрономии» (1609), Кеплер применял приближённые интегралы при описании движения планет.

Позже его идеи развили итальянские математики Бонавентура Кавальери и Эванджелиста Торричелли, использовавшие метод неделимых для нахождения площадей и объёмов. В 1629 году Пьер Ферма предложил способ вычисления площадей под кривыми и вывел формулы для центров тяжести, что стало важным шагом к созданию теории интеграла.

Значительный вклад внёс Исаак Барроу — наставник Ньютона, который впервые чётко обозначил взаимосвязь между дифференцированием и интегрированием.

В 1680-х годах XVII века немецкий учёный Готфрид Лейбниц и английский учёный Исаак Ньютон независимо друг от друга разработали основы дифференциального и интегрального исчисления.

У Ньютона интеграл (или «флюента») трактовался как неопределённый — первообразная функции. Если x(t) — флюент, то его флюксия обозначалась как x’(t), что соответствует современной записи производной:

$$x'(t)=dx\backslash dt$$

Интегрирование рассматривалось как восстановление флюента по известной флюксии:

$$x(t)=\int x'(t)\,dt$$

Лейбниц акцентировал внимание на определённом интеграле, рассматривая его как сумму бесконечно малых дифференциалов:

$$\int_a^b f(x)\,dx = \lim_{n\to\infty}\sum_{i=1}^{n} f(xi)\Delta x$$

Он впервые ввёл понятие постоянной интегрирования C в статье 1694 года. Он осознал, что неопределённый интеграл представляет собой семейство функций, отличающихся на константу:

$$\int f(x)\,dx=F(x)+C$$

Это стало важным элементом теории, особенно при решении дифференциальных уравнений.

Символ интеграла ∫ был введён Лейбницем в 1675 году и опубликован в 1686. Термин «интеграл» впервые появился в печати у Якоба Бернулли в 1690 году, после чего вошёл в научный обиход. До этого Лейбниц называл свой метод «суммирующим исчислением».

Центральным результатом интегрального исчисления стала формула Ньютона–Лейбница, устанавливающая связь между определённым интегралом и первообразной функции:

$$\int_a^b f(x)\,dx = F(b) - F(a)$$

где F(x) — первообразная функции f(x), то есть F′(x)=f(x).

Эта формула означает, что интеграл функции на отрезке равен разности значений её первообразной на концах интервала. Геометрически формула Ньютона–Лейбница означает, что площадь под графиком функции f(x) от a до b равна изменению значения её первообразной F(x) на этом интервале.

В XVIII веке значительный вклад в развитие интегрального исчисления внесли Иоганн Бернулли и Леонард Эйлер. Труд Эйлера «Интегральное исчисление» (1768–1770) стал основным учебным пособием для учёных того времени. Эйлер различал интегралы с произвольной постоянной (полные) и с фиксированной (частные), а значение частного интеграла при конкретном аргументе рассматривал как определённый интеграл.

В развитие теории интегралов также внесли вклад русские математики: М.В. Остроградский, В.Я. Буняковский и П.Л. Чебышев. Чебышев показал, что существуют интегралы, которые нельзя выразить через элементарные функции, что стало важным результатом для анализа.

Термин «определённый интеграл» был введён П. Лапласом в 1779 году, а современная запись —$\int_a^b f(x)\,dx$ — появилась благодаря Ж. Фурье в 1819 году.

Строгая формализация интегрального исчисления началась в XIX веке с работ О. Коши, Б. Римана и Г. Дарбу. Огюстен Коши ввёл определение интеграла как предела интегральной суммы. Бернхард Риман разработал интеграл Римана, основанный на разбиении интервала и суммировании значений функции:

$$\int_a^b f(x)\,dx = \lim_{\max \Delta x_i \to 0} \sum f(x_i)\Delta x_i$$

Гастон Дарбу уточнил условия существования интеграла.

Вопросы существования площадей и объёмов были решены в рамках теории меры, разработанной К. Жорданом. В XX веке понятие интеграла было обобщено в трудах А. Лебега, А. Данжуа и А. Хинчина, что позволило применять интегрирование к более широкому классу функций.

Литература:

1. Рыбников К. А. История математики.
2. Юшкевич А. П. История математики.
3. Интеграл и его применение [Электронный ресурс]. – URL : http://xreferat.com/54/608-1-integral-i-ego-primenenie.html (Дата обращения: 02.11.2025).

УДК 624.21

Об использовании информационных технологий в подготовке инженеров-программистов

***Мосейко Роман Андреевич**, студент 3 курса*
кафедры «Программное обеспечение информационных систем и технологий»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Бадак Б.А., заместитель декана, старший преподаватель кафедры «Высшая математика»

Информационные системы и технологии (ИСИТ) сегодня являются неотъемлемой частью современного общества. Они формируют основу цифровой экономики, обеспечивают функционирование производственных предприятий, образовательных учреждений, государственных структур и даже бытовых процессов. В условиях глобальной цифровизации именно информационные технологии становятся ключевым фактором конкурентоспособности, а информационные системы – инструментом управления данными, ресурсами и процессами [1].

Для студентов специальности «Информационные системы и технологии в проектировании и производстве» в БНТУ эта тема имеет особое значение. Учебный процесс построен таким образом, чтобы будущие инженеры и программисты не только понимали теоретические основы ИСИТ, но и умели применять их на практике. Так, изучение языков программирования C++, C#, Python и Java сопровождается выполнением курсовых и лабораторных работ, направленных на разработку приложений, работу с базами данных, автоматизацию расчётов и интеграцию с инженерными пакетами. Примером может служить использование SolidWorks API, где студент получает возможность автоматизировать процесс проектирования деталей, создавая макросы и приложения, которые генерируют модели по заданным параметрам.

Таким образом, информационные системы и технологии в учебном процессе выступают не как отвлечённая теория, а как реальный инструмент, позволяющий решать задачи проектирования и производства. Но вместе с тем их развитие сопровождается множеством проблем, которые необходимо учитывать, чтобы понимать перспективы дальнейшего развития этой области.

Информационная система – это комплекс технических средств, программного обеспечения и организационных процедур, предназначенных для сбора, хранения, обработки и передачи информации [2]. Она может быть корпоративной, государственной, образовательной или специализированной для

конкретной отрасли. Информационные технологии, в свою очередь, представляют собой методы и инструменты, позволяющие эффективно использовать информационные ресурсы для решения практических задач.

Примером может служить система автоматизированного проектирования SolidWorks, которая в сочетании с API превращается в полноценную информационную технологию для инженера. Студент, изучающий эту систему в БНТУ, получает возможность не просто вручную создавать детали, но и автоматизировать процесс, используя программные макросы. Это позволяет сократить время проектирования, уменьшить вероятность ошибок и повысить эффективность работы.

Одной из ключевых проблем является обеспечение информационной безопасности. С ростом объёмов данных и усложнением систем увеличивается количество кибератак, утечек информации и случаев цифрового мошенничества. Для студентов эта проблема становится особенно актуальной, так как при работе с базами данных MS SQL или при создании приложений на C# необходимо учитывать вопросы защиты информации. Примером может служить курсовая работа, где студент разрабатывает WinForms-приложение для работы с базой данных: если не реализовать систему авторизации и разграничения прав доступа, то приложение будет уязвимо для несанкционированного использования.

Современные информационные системы требуют знаний сразу в нескольких областях: программирование, базы данных, сетевые технологии, инженерный анализ. В БНТУ эта проблема решается через комплексное обучение: студенты изучают сразу несколько языков программирования, работают с различными системами (SolidWorks, ANSYS), выполняют курсовые работы, которые интегрируют разные технологии. Однако на практике многие предприятия сталкиваются с тем, что специалистов, способных работать на стыке программирования и инженерии, недостаточно.

Технологии стремительно устаревают. То, что ещё вчера считалось передовым, сегодня может оказаться неэффективным. Например, использование устаревших алгоритмов шифрования в курсовых работах по цифровым подписям (например, DSA + MD5) уже не соответствует современным требованиям безопасности. Это показывает, что студент должен не только изучать теорию, но и понимать, какие технологии актуальны сегодня и какие будут востребованы завтра.

Современные предприятия используют сразу несколько информационных систем: системы управления производством, базы данных, CAD/CAE-пакеты, системы документооборота. Их взаимодействие далеко не всегда идеально. Студенты сталкиваются с этим при выполнении курсовых работ, когда необходимо связать приложение на C# с базой данных MS SQL или

интегрировать результаты моделирования в ANSYS с проектом в SolidWorks. Такие задачи учат понимать, что информационные технологии — это не только отдельные программы, но и сложные комплексы, требующие согласованной работы.

ИИ становится ключевым инструментом анализа больших данных, автоматизации процессов и поддержки принятия решений. Для студентов ИСиТ это открывает новые возможности: использование Python и библиотек машинного обучения позволяет создавать системы, которые анализируют данные и делают прогнозы.

Переход от локальных серверов к облачным платформам снижает затраты на инфраструктуру и повышает гибкость систем. В учебном процессе это проявляется в том, что студенты всё чаще работают с удалёнными сервисами, интегрируя данных.

Перспективным направлением является интеграция систем проектирования и анализа [1]. Программные пакеты такие, как SolidWorks API и ANSYS позволяют студенту пройти полный цикл: от создания модели до её анализа и оптимизации. Это формирует компетенции, необходимые для цифрового производства. Рассмотрим пример использование информационных технологий при выполнении лабораторных работ, предложенных студентам третьего курса специальности «Информационные системы и технологии» по дисциплине «Основы 3-D моделирования» (рис. 1-3):

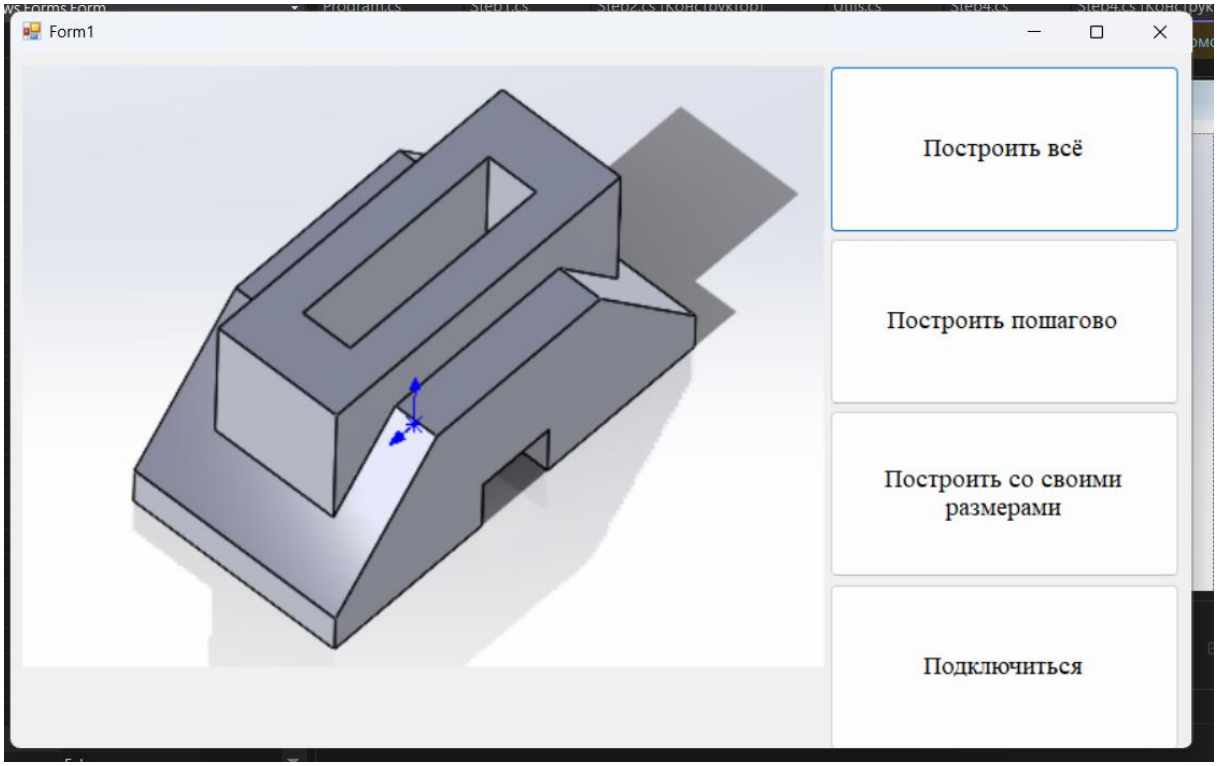


Рисунок 1 – Главное окно с выбором построения модели для пользователя

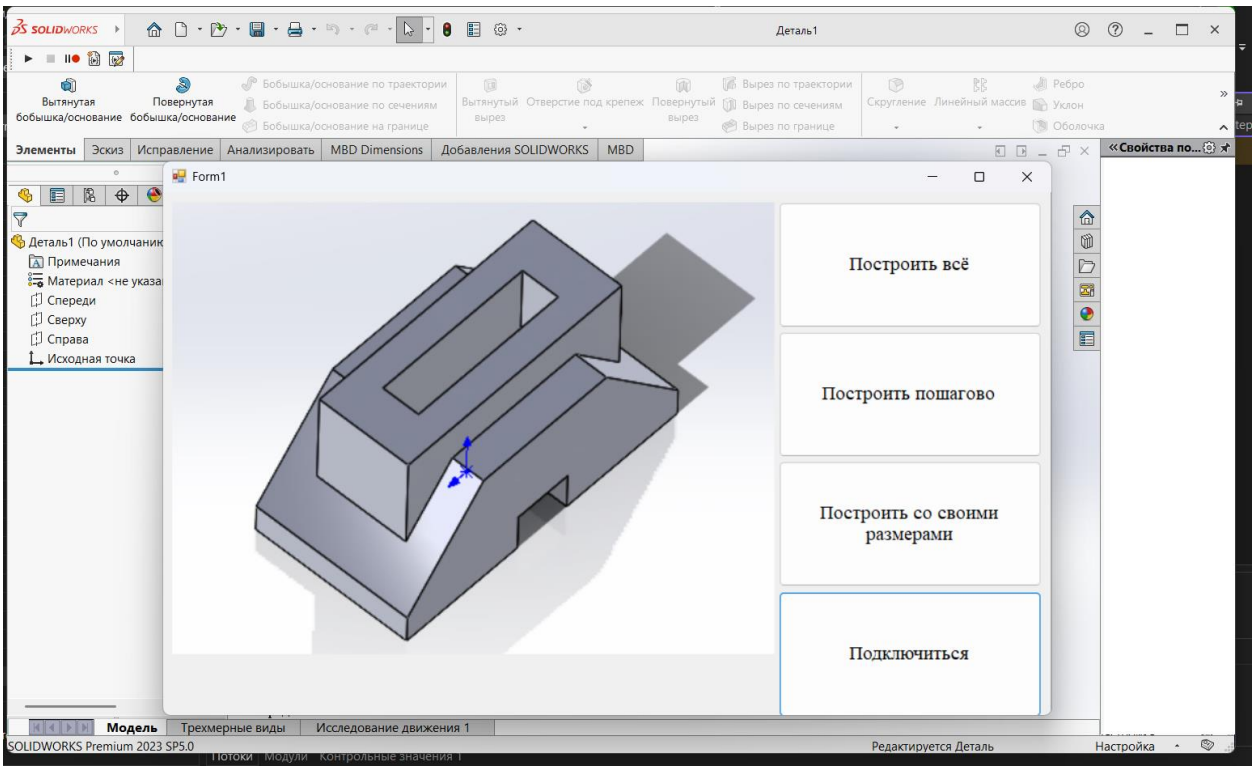


Рисунок 2 – Подключение к SolidWorks

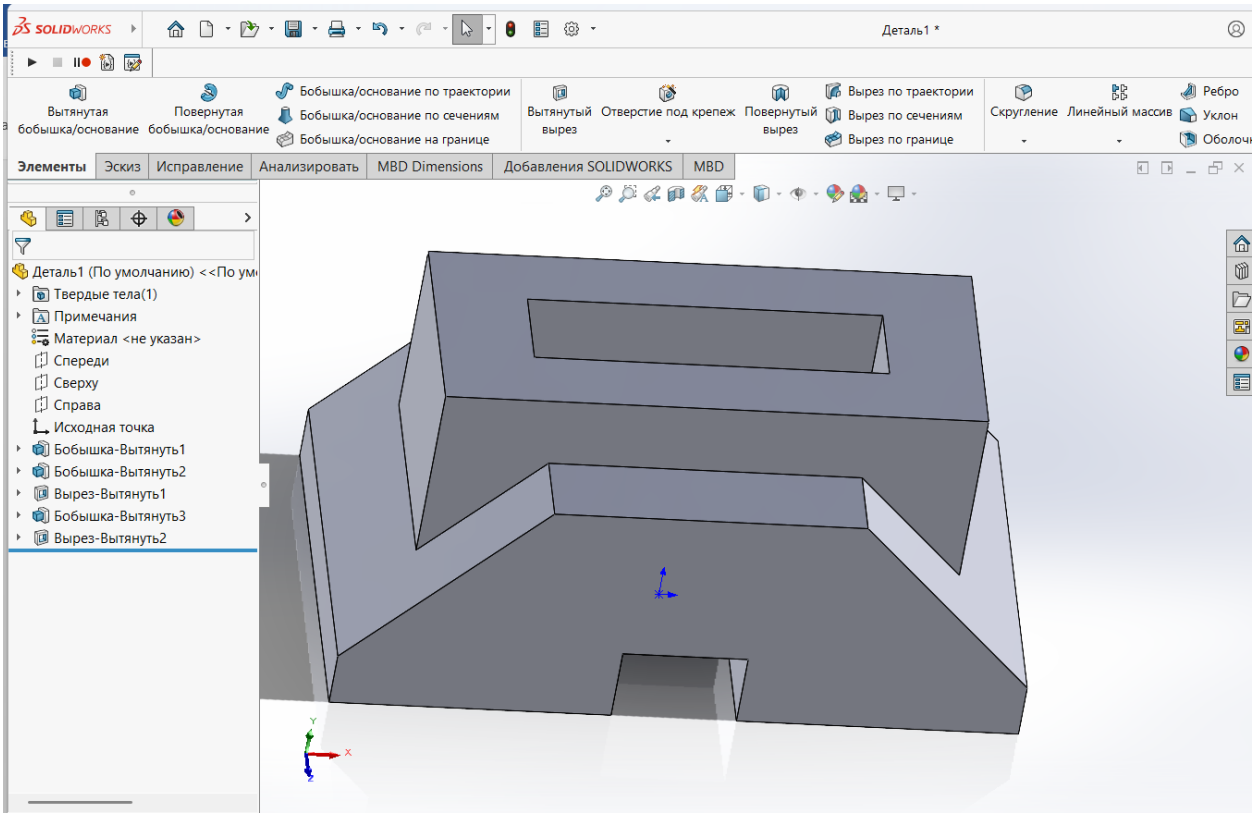


Рисунок 3 – Построение модели в SolidWorks

Концепция «Индустрия 4.0» предполагает создание полностью цифровых фабрик, где проектирование, производство и управление объединены в единую информационную систему. Для студентов специальности ИСиТ это означает, что их знания будут востребованы в самых передовых отраслях. Умение

работать с SolidWorks API и ANSYS, знание языков программирования и баз данных – всё это становится частью компетенций инженера будущего.

Работа с современным ПО, таким как SolidWorks API и ANSYS, необходима будущему инженеру для того, чтобы уметь создавать цифровые модели и проводить их анализ в единой информационной среде. Это позволяет ускорять проектирование, снижать вероятность ошибок и оптимизировать производственные процессы. Знание языков программирования и баз данных даёт возможность интегрировать такие системы в комплексные цифровые фабрики, соответствующие концепции «Индустрия 4.0». Таким образом, владение подобным инструментарием становится ключевой компетенцией инженера будущего, востребованной в самых передовых отраслях.

Литература:

1. Перспективы развития информационных систем и технологий [Электронный ресурс]. - Режим доступа : ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ – тема научной статьи по компьютерным и информационным наукам читайте бесплатно текст научно-исследовательской работы в электронной библиотеке КиберЛенинка - Дата доступа : 29.11.2025
2. Информационные технологии: теория, опыт, проблемы, перспективы [Электронный ресурс]. - Режим доступа : sbornik-it.pdf - Дата доступа : 29.11.2025

УДК 624.21

Вероятностный анализ обрушения здания из-за ошибки строительства

***Петрова Снежана Павловна, Литош Карина Юрьевна**, студентки 2 курса кафедры «Строительные материалы и технология строительства»*
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ковалёнок Н.В., старший преподаватель кафедры «Математические методы в строительстве»

Современное строительство представляет собой сложную систему, где человеческий фактор остается одним из наиболее значительных источников риска. Статистика показывает, что до 80% инцидентов на строительных площадках прямо или косвенно связаны с ошибками персонала. Применение теории вероятностей открывает возможности для системного подхода к оценке таких рисков, трансформируя субъективные оценки в строгие математические выкладки.

Ошибки делятся на виды:

1) Ошибки материалов (Pm) (Применение бетона ненадлежащей марки, использование арматуры с производственным браком)
2) Ошибки геометрии (Pg) (Смещение несущих осей, отклонение проектных толщин конструктивных элементов)
3) Технологические нарушения (Pt) - несоблюдение регламентов работ (Недостаточное уплотнение бетонной смеси, несоблюдение регламента твердения)

Для расчета совокупного риска применяются:

- Древовидные схемы отказов, показывающие цепочки событий, ведущих к аварии

- Байесовские сети, позволяющие обновлять оценки вероятностей по мере поступления новых данных

- Имитационное моделирование по методу Монте-Карло, генерирующее тысячи сценариев развития событий.

Расчеты вероятности обрушения позволяют:

1) Выявить наиболее уязвимые этапы строительного процесса
2) Рационально распределить ресурсы контроля качества
3) Обосновать выбор между альтернативными технологическими решениями
4) Формировать страховые тарифы на доказательной основе.

Вероятность обрушения из-за совокупности ошибок может быть выражена как:

P(обрушения) = Σ[P(ошибки i) × P(обрушения | ошибки i)], где i–тип ошибки.

Задача:

При возведении жилого комплекса идентифицированы три критических типа ошибок: ошибка в армировании фундамента (A) — вероятность 0.01; отклонение в составе бетонной смеси (B) — вероятность 0.02; нарушение технологии монтажа перекрытий (C) — вероятность 0.015. Здание обрушится, если произойдет хотя бы одна из этих ошибок. Вероятности обрушения здания при каждой отдельной ошибке составляют: P(обрушения|A) = 0.3; P(обрушения|B) = 0.2; P(обрушения|C) = 0.4. Какова полная вероятность обрушения здания из-за строительных ошибок?

Решение:

Используем формулу полной вероятности:

P(обрушения) = Σ[P(ошибки i) × P(обрушения | ошибки i)]

P(обрушения)=P(A)×P(обрушения|A)+P(B)×P(обрушения|B)+P(C)×P(обрушения|C)= 0.01×0.3 + 0.02×0.2 + 0.015×0.4= 0.003 + 0.004 + 0.006 = 0.013

Ответ: Вероятность обрушения здания составляет 0.013 или 1.3%.

Наибольший вклад в риск обрушения вносит нарушение технологии монтажа перекрытий (0.006), несмотря на то что это не самая вероятная ошибка. Это демонстрирует необходимость учета не только частоты возникновения дефектов, но и тяжести их возможных последствий.

Использование теории вероятностей в строительстве позволяет перевести управление рисками на качественно новый уровень. Математические методы дают возможность не только оценивать вероятность аварийных ситуаций, но и эффективно распределять ресурсы для их предотвращения. Это особенно актуально при строительстве сложных и ответственных объектов, где цена ошибки чрезвычайно высока.

УДК 69.003

Математические методы управления запасами в строительстве

***Погуляев Тимофей Михайлович**, студент 2 курса*
кафедры «Робототехнические системы»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Лебедева Г.И., канд. техн. наук, доцент
кафедры «Высшая математика»

Эффективное управление материально-техническими ресурсами является одной из ключевых задач в строительной отрасли, определяющей экономическую целесообразность проекта и сроки его реализации. Специфика строительства заключается в высокой капиталоемкости и динамичности процесса. Это создает спрос на эффективные и гибкие системы математического управления запасами, которые в современном мире опираются на широкие возможности вычислительной техники. В этой статье будут рассмотрены основные методы оптимизированного контроля запасов, а также проанализированы возможности их практического применения в современных строительных проектах.

Первый из применяющихся методов – EOQ-модель, позволяющая рассчитать оптимальный размер партии некого товара при покупке. Под оптимальным размером понимается тот, что дает минимальную издержку на хранение товара. Основой этой модели является предложенная в 1915 году американским инженером Фордом Уилсоном формула:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2CR}{H}}$$

Q^* - это и есть искомый оптимальный размер заказа, C – издержки на его размещение, R – спрос на продукт (в год), а H – издержки на хранение одной приобретенной единицы (в год). Однако, корректность полученного результата возможна только при соблюдении ряда условий: спрос постоянный и предсказуемый, а шанс дефицита полностью отсутствует; время, необходимое на поставку товара, известно и неизменно; заказчик получает товар мгновенно и имеет неограниченный бюджет; товар поставляется во всем объеме сразу, а не частями; не учитывается возможность различных скидок.

Очевидно, что в таком виде модель неприменима на практике, поскольку необходимые для корректности ее результата допущения идут вразрез с реальными условиями и динамикой рынка. Поэтому в формулу вводятся новые переменные. К примеру, за покупку партии товара в количестве >600 единиц предоставляется скидка 3%, а за >1500 единиц – 8%. На основе этих данных обозначим 3 ценовых диапазона: 1й – со стандартной ценой P_1 за единицу продукции, 2й со скидкой $P_2 = 0.97*P_1$ и 3й, где $P_3 = 0.92*P_1$. Через P_i, где i – номер ценового диапазона, можно выразить издержки на хранение единицы товара $H_i = k* P_i$, где k отражает, какой доле от стоимости единицы товара равна стоимость его годовых издержек хранения. Учтем, что не всегда покупать со скидкой, но много, выгодно, ведь существует еще и фактор издержек на хранение избытка. Поэтому целесообразно ввести расчет всех ежегодных затрат (Total Annual Cost - TAC) на данный тип товара, используя следующую формулу:

$$TAC_i = (R * P_i) + \left(\left(\frac{R}{Q_i}\right) * C\right) + \left(\left(\frac{Q_i}{2}\right) H_i\right)$$

Теперь следует произвести расчет Q^* по чуть измененной EEQ модели:

$$Q_i^* = \sqrt{\frac{2CR}{k * P_i}}$$

Расчеты выполняются для каждого ценового диапазона. Если при расчете Q_i получается количество товаров меньшее, чем нижняя граница для соответствующего P_i, то считают, что Q_i = наименьшая граница диапазона P_i. После этого рассчитывается значение TAC_i для каждого из полученных Q_i. Оптимальным будет то количество заказанных единиц Q_i, чей TAC_i наименьший. Эту формулу можно расширять и дальше, добавив учет времени поставок, непостоянства спроса, рисков дефицита и т.д.

Критическим в строительстве параметром является постоянство и предсказуемость спроса. Для их оценки применяют XYZ-анализ. В нем ресурсы делятся на 3 категории, где X – имеют максимально стабильный и постоянный во времени спрос, Y – имеют спрос предсказуемый, однако нестабильный во времени, а Z – категория ресурсов с крайне нестабильным спросом, который невозможно точно предсказать. Для примера рассчитаем коэффициент вариации ресурсов V, по которому и определяют XYZ класс материалов. Расчет произведем для материалов из таблицы 1.

Таблица 1 – Таблица затрат ресурсов за 3 месяца

Месяц	Арматура	Плитка тротуарная	Декоративный камень
Август	3458 единиц	45 тыс единиц	0 единиц
Сентябрь	3298 единиц	40 тыс единиц	520 единиц
Октябрь	3502 единиц	38 тыс единиц	160 единиц

Формула для расчета V включает в себя всего 2 параметра: среднеквадратичное отклонение σ и среднее арифметическое xcp.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - x_{\text{ср}}\right)^2}{n}}$$

$$V = \frac{\sigma}{x_{\text{ср}}} * 100\%$$

Подставив значения из таблицы в формулы получим, что $V_{\text{арматуры}}$ = 2,6% (<10% = X), $V_{\text{плитки}}$ = 21,9% (<25% = Y), а $V_{\text{камня}}$ = 96% (>25% = Z). Таким образом арматура войдет в X категорию т.к. ее коэффициент вариации ниже 10%, На практике материалы категории X всегда поддерживаются в запасе, Y — заказываются с учетом сезонных колебаний, а Z — приобретаются только по мере необходимости в нужном объеме.

Кроме того, требуется контроль ключевых ресурсов, чей дефицит мгновенно парализует стройку. Для их выявления применяют ABC-анализ, классифицируя материалы по принципу Парето: небольшая часть всех наименований (группа «A», равная 10-15% ассортимента) дает 80% финансового оборота и требует приоритетного управления с использованием продвинутых моделей. Группы «B» и «C», оказывающие меньшее влияние, контролируются по стандартным или упрощенным методам. Во многом метод ABC-анализа схож с описанным ранее XYZ-анализом.

Таким образом, эффективное управление запасами в строительстве требует комбинации различных математических моделей и аналитических методов. Для этого применяется расширенная EOQ-модель, учитывающая огромное количество параметров и активно использующая возможности современной вычислительной техники, что позволяет рассчитать самый оптимальный по всем возможным критериям размер заказа. Кроме того, проведение XYZ- и ABC-анализа является важным инструментом для классификации ресурсов по стабильности спроса и важности в финансовом обороте, что позволяет разрабатывать дифференцированные стратегии закупок,

хранения и использования для разных позиций. Совместное применение этих подходов позволяет минимизировать денежные затраты и повысить надежность обеспечения строительного объекта материалами без простоя техники и рабочей силы.

Литература:

1. Шрайбфедер Дж. Эффективное управление запасами. Москва: Альпина Бизнес Букс; 2006. 304 с.
2. Анализ складских запасов ABC/XYZ: что это и как провести [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.upr.ru. – Дата доступа : 18.10.2025.

УДК 624.21

Применение математических методов в теплоснабжении и вентиляции

Полторан Денис Александрович, Ковш Егор Викторович,
студенты 2 курса кафедры «Математические методы в строительстве»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ерошевская Е.Л., канд. пед. наук, доцент
кафедры «Математические методы в строительстве»

В работе анализируется использование математических методов при выполнении расчётов и моделировании систем теплоснабжения и вентиляции. Рассмотрены ключевые подходы, включающие дифференциальные модели теплопередачи, методы аэродинамических расчётов, численные решения уравнений Навье–Стокса, технологии CFD-моделирования, а также современные инструменты оптимизации и концепции цифровых двойников.

Современные системы теплогазоснабжения и вентиляции требуют высокоточной инженерной проработки на всех этапах — от проектирования до эксплуатации. Эффективность и безопасность таких систем обеспечиваются благодаря широкому спектру математических методов, включающих решения дифференциальных уравнений, численные методы, оптимизационные модели и методы теории вероятностей.

Тепловые процессы в ограждающих конструкциях, трубопроводах и отопительных приборах описываются трёхмерным **уравнением Фурье**:

$$\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 \mathrm{T}}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 \mathrm{T}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \mathrm{T}}{\partial z^2} \right)$$

Для многослойных конструкций используются методы конечных элементов (МКЭ), позволяющие получить распределение температур и потоков тепла в сложных геометриях. При расчёте теплообменников и отопительных приборов применяется критериальный анализ с использованием безразмерных чисел, что даёт возможность определять коэффициенты теплоотдачи в различных режимах.

Гидравлические и аэродинамические расчёты основаны на уравнении Бернулли и формуле Дарси–Вейсбаха. Сложные разветвлённые сети требуют применение сленных методов балансировки. Эти методы обеспечивают равномерное распределение воздушных потоков, корректный подбор вентиляторов и минимизацию эксплуатационных затрат.

Уравнения Навье–Стокса описывают движение вязких газов и жидкостей, однако из-за своей нелинейности требуют применения численных методов. CFD-моделирование используется для анализа:

- распределения скорости и температуры воздуха;
- эффективности воздухообмена;
- перемещения загрязнений и газов;

$$F = 6\pi r\eta\upsilon$$

CFD является незаменимым инструментом при проектировании современных вентиляционных систем и объектов с высокими требованиями к микроклимату.

Газовые сети описываются уравнениями движения сжимаемого газа:

$$\frac{dp}{dx} = -\lambda\frac{pv^2}{2D}$$

Используются различные модели для природного газа:

- стационарные изотермические,
- полизотермические,
- адиабатические.

Математические методы имеют существенное значение и в области газоснабжения. Поток природного газа в распределительных сетях описывается уравнениями для сжимаемых сред. Для расчёта коэффициента трения применяются формулы Фокина, Вейля и универсальное уравнение Колбрука–Уайта. На основе этих моделей осуществляется подбор диаметров трубопроводов, определение давления в различных участках сети, а также оценка устойчивости и пропускной способности газораспределительных систем. Для повышения экономической эффективности используют методы оптимизации, позволяющие сократить энергозатраты на транспортировку газа и выбрать оптимальные схемы работы газораспределительных станций.

Следовательно, математические методы составляют основу современной инженерной практики в сфере теплоснабжения, газоснабжения и вентиляции. Они позволяют точно моделировать физические процессы, оптимизировать работу систем, повышать их энергоэффективность и надёжность. С развитием вычислительной техники, внедрением цифровых двойников и интеллектуальных систем управления значимость математических подходов возрастает, открывая новые перспективы для проектирования и эксплуатации инженерной инфраструктуры.

Литература:

1. Есман А. К., Юркевич Н. П., Савчук Г. К. и др. Явления переноса в термодинамически неравновесных системах : пособие / сост. А. К. Есман, Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук … – Минск : БНТУ, 2022. – 52 с. – Электронный ресурс: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/112366/YAvleniya_perenosa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

УДК 528.236

Геометрические методы оценки площади строительных участков по координатам

***Рахманько Егор Сергеевич*, *Бурак Андрей Вячеславович*,**
студенты 2 курса кафедры «Робототехнические системы»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Лебедева Г.И., канд. техн. наук, доцент кафедры «Высшая математика»

В наши дни в строительстве и при работе с землей очень важно точно знать размеры участков. От этого зависит, насколько хорошо получится проект, как спланируют территорию, и насколько правильно будут оформлены документы. Обычно для измерения площади используют геодезию, но это долго и недешево.

Сейчас, когда компьютеры стали мощнее, а методы работы с координатами – проще, можно использовать математику, чтобы автоматически рассчитывать площадь. Геометрические способы, которые используют аналитическую геометрию и векторы, позволяют узнать площадь участка по координатам его углов очень точно и быстро.

В этом докладе будет рассказано, как с помощью элементарных геометрических методов можно считать площади строительных площадок, зная их координаты. Наглядно будет показано, как это можно применить практически, и объяснено, почему это целесообразно для математических расчетов в строительной отрасли.

Определение площади участка – важный момент в процессе подготовки к строительству. Когда определены координаты углов участка, то возможно вычислить площадь, применяя методы геометрии.

Самый простой способ – это формула Гаусса, или известная также как шнуровая формула. Используя её, можно узнать площадь любого многоугольника, если известны координаты всех его вершин. Формула имеет следующий вид:

$$S = \frac{1}{2}\left|\sum_{i=1}^{n}(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)\right|.$$

где (x_i, y_i)— координаты вершин, а $x_{n+1} = x_1$, $y_{n+1} = y_1$. Метод удобен тем, что не требует разбиения фигуры на треугольники и легко реализуется в программных вычислениях.

Для большей ясности рассмотрим простой пример. Пусть участок имеет форму прямоугольника с вершинами: $(0;0),(4;0),(4;3),(0;3)$. Применим формулу Гаусса:

$$S = \frac{1}{2} \cdot |0 + 12 + 12 + 0| = 12.$$

Таким образом, площадь участка составляет 12 квадратных единиц, что совпадает с результатом, полученным по классической формуле:

$$S = a \cdot b = 4 \cdot 3 = 12.$$

Перед представлением схемы заданного участка важно отметить, что визуализация координат вместе с обходом контура помогает лучше разобраться в принципе работы самой формулы.

Кроме формулы Гаусса, для вычисления площади можно применить векторные способы. Они основываются на вычислении площади треугольников, которые образуются векторами, исходящими из одной общей точки. В этом случае применяется векторное произведение:

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} |\vec{r_i} \times \overrightarrow{r_{i+1}}|.$$

Этот способ эффективен для работы с треугольными сетками, используемыми в инженерных вычислениях и моделировании.

Данные методы можно применять следующим способом:

- Кадастровые работы, когда требуется точность при определении площади земельных участков;
- Проектирование территорий, включая расчёт площадей зон застройки, озеленения и дорог;
- Автоматизация расчётов в системах CAD и GIS, где координаты объектов хранятся в цифровом виде.

Таким образом, геометрические методы позволяют эффективно решать прикладные задачи, связанные с оценкой площади, и являются важным инструментом в арсенале инженера-строителя.

Литература:

1. Баранов В.А. «Геодезия и основы кадастра» — Минск: БНТУ, 2021.
2. Гаусс К.Ф. «Об определении площадей многоугольников по координатам» — Санкт-Петербург, 1900.
3. Гаврилов В.В. «Прикладная математика в строительстве» — Минск: Вышэйшая школа, 2020.

УДК 519.688

Принцип работы сортировки с использованием двоичного дерева на языке программирования Java

***Рудая Илона Вацлавовна**, студентка 3 курса кафедры*
«Программное обеспечение информационных систем и технологий»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Бадак Б.А., старший преподаватель
кафедры «Высшая математика»

Аннотация: Статья посвящена изучению принципов работы алгоритма сортировки числовых данных с использованием двоичного дерева поиска и особенностям его реализации на языке программирования Java. Рассматриваются теоретические основы структуры бинарного дерева, включая правила вставки элементов и методы симметричного и обратного обходов, обеспечивающих сортировку по возрастанию и убыванию. Отдельное внимание уделяется практической реализации алгоритма с применением графической библиотеки Swing, что позволяет демонстрировать процесс сортировки и визуализировать построение дерева. Показано, что использование двоичного дерева как инструмента сортировки способствует глубокому пониманию структур данных, рекурсивных алгоритмов в Java. Представленные результаты демонстрируют эффективность метода для учебных целей и его значимость в формировании навыков разработки алгоритмических решений.

Ключевые слова: сортировка, бинарное дерево поиска, Java, графический интерфейс.

Сортировка данных является одной из важнейших задач в информатике и программировании. Сортировка – процесс переупорядочения последовательности объектов с целью поместить их в некотором логическом порядке [1]. Ее применение охватывает практически все области цифровой обработки информации – от систем управления и анализа данных до работы поисковых алгоритмов и методов машинного обучения. Эффективность работы любой программы, которая использует большие массивы данных, во многом зависит от того, насколько оптимально эти данные могут быть упорядочены. Именно поэтому изучение и понимание алгоритмов сортировки является фундаментальным этапом подготовки программиста.

Одним из эффективных методов сортировки является метод сортировки с использованием двоичного дерева поиска. Этот метод сочетает в себе

достоинства древовидных структур данных и рекурсивных алгоритмов, что делает его наглядным и удобным для академического изучения. Кроме того, сортировка двоичным деревом позволяет показать практическое применение структур данных, продемонстрировать принципы симметричного обхода дерева и углубить понимание рекурсии.

Двоичное дерево поиска (Binary Search Tree, BST) представляет собой древовидную структуру данных, в которой каждому узлу соответствует некоторое значение, а также два поддерева: левое и правое. Основное свойство BST заключается в следующем: все значения в левом поддереве меньше или равны значению корневого узла, а все значения в правом поддереве — строго больше. Это правило позволяет бинарному дереву естественным образом структурировать поток числовых данных.

Сортировка двоичным деревом выполняется в два основных этапа:

1. **На основании массива строим бинарное дерево поиска.** Первый элемент массива кладём в корень, остальные элементы сравниваем сначала с корнем, затем, в зависимости от сравнения, движемся вниз по левым или правым веткам.
2. **Обходим построенное бинарное дерево поиска от минимума к максимуму.** Структура дерева позволяет обычным рекурсивным способом обойти дерево и отсортировать массив по возрастанию [2].

Этап построения дерева является ключевым, поскольку именно в этот момент происходит распределение элементов по узлам дерева.

После того как дерево построено, выполняется симметричный обход, или inorder traversal. Этот обход проходит дерево в следующей последовательности: левое поддерево → корень → правое поддерево. Благодаря свойствам бинарного дерева поиска такой обход возвращает отсортированную последовательность чисел в порядке возрастания. Если требуется отсортировать данные в порядке убывания, используется обратный симметричный обход – right → root → left. Этот метод позволяет гибко управлять направлением сортировки.

Java предлагает удобные возможности для реализации бинарных деревьев благодаря объектно-ориентированному подходу. Для создания дерева используются два основных класса: TreeNode и BinaryTreeSort.

Класс TreeNode отвечает за хранение значений и связи между узлами. Он содержит поля для хранения значения, а также ссылок на левое и правое поддерево. Метод insert(int value) реализует вставку элементов согласно правилам BST.

Класс BinaryTreeSort реализует построение дерева и выполнение обходов. Метод buildTree(int[] array) формирует дерево из входного массива, а методы inorder() и reverseInorder() выполняют симметричные обходы дерева. Такой

способ сортировки на Java является не только эффективным, но и хорошо структурированным, что делает код понятным и легко расширяемым.

Для демонстрации работы алгоритма сортировки в рамках приложения используется библиотека Swing. Она позволяет разработать удобный графический интерфейс, включающий кнопки управления, текстовые поля, списки данных и элементы визуализации [3]. Программа, как показано на рис.1, предоставляет пользователю следующие возможности:

1) генерация массива случайных числовых значений произвольной длины;
2) отображение исходных данных;
3) сортировка чисел по возрастанию и убыванию;
4) визуализация процесса построения дерева;
5) сохранение отсортированного массива в текстовый файл;
6) загрузка массива данных из внешнего файла.

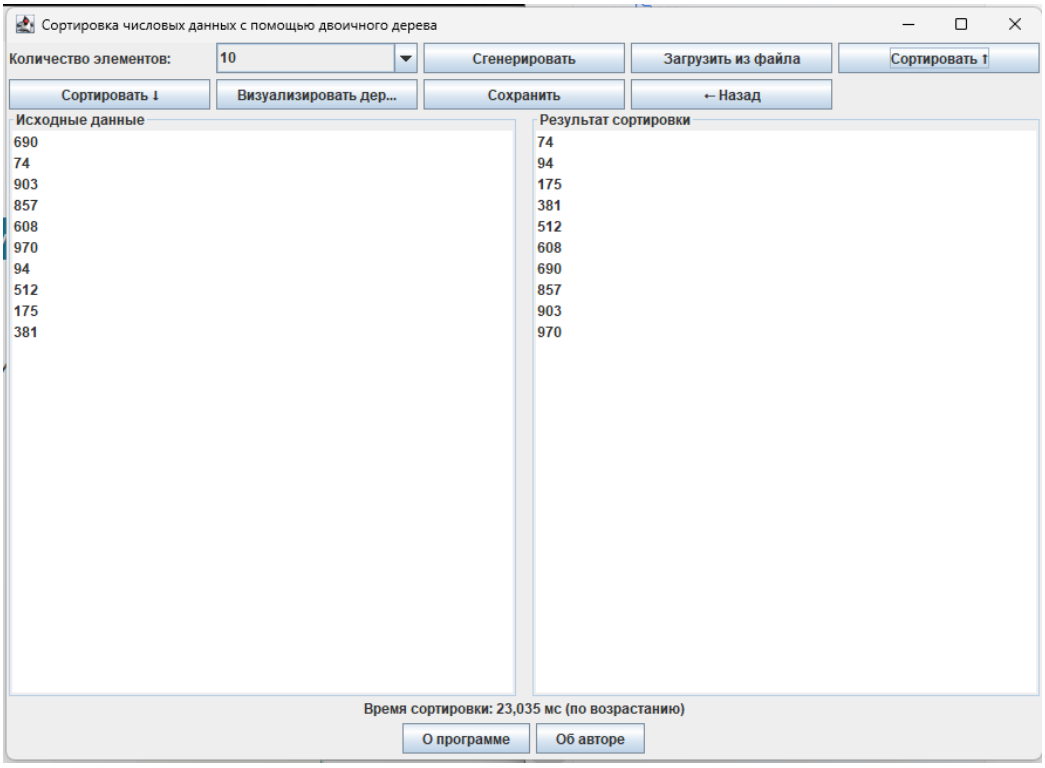


Рисунок 1 – главное окно программы

Особое внимание уделено визуализации алгоритма. В окне визуализации отображается процесс последовательного построения дерева: элементы появляются на экране с плавной задержкой (рис. 2). Это помогает лучше понять принципы работы рекурсивного алгоритма и структуру бинарного дерева поиска.

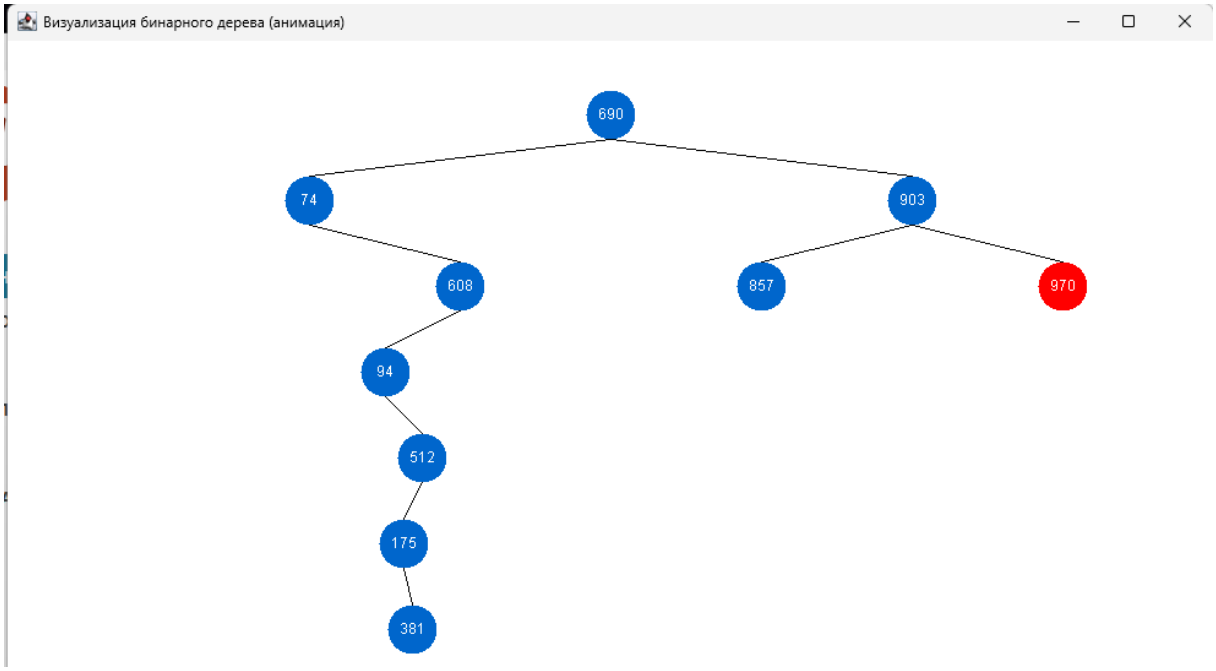


Рисунок 2 – Визуализация сортировки

Основными преимуществами сортировки двоичным деревом являются:

1) наглядность структуры данных;
2) простота симметричного обхода дерева;
3) возможность визуализации процесса сортировки;
4) рекурсивная природа алгоритма, облегчающая понимание.

Однако метод имеет и ряд недостатков. Если входной набор данных плохо сбалансирован, дерево может выродиться в линейную структуру, и тогда производительность алгоритма ухудшается. Тем не менее в среднем случае сортировка BST демонстрирует хорошую эффективность и является полезной с методической и учебной точки зрения.

Сортировка методом двоичного дерева является наглядным и важным инструментом для понимания принципов структур данных и алгоритмов. Реализация алгоритма на Java в сочетании с графическим интерфейсом Swing позволяет создать полноценное приложение, которое демонстрирует работу BST, визуализирует построение дерева и позволяет пользователю взаимодействовать с данными. Такое приложение может быть использовано как в учебных целях, так и в рамках практических лабораторных работ.

Применение бинарного дерева поиска способствует углублённому изучению программирования, развитию навыков работы с объектно-ориентированной моделью, рекурсией и графическими интерфейсами. Разработанная программа представляет собой лаконичный, удобный и демонстративный инструмент, который помогает понять один из фундаментальных алгоритмов обработки данных.

Литература:

1. Седжвик, Роберт, Уэйн, Кевин. Алгоритмы на Java, 4-е изд. : Пер. с англ. — М. : ООО «И.Д. Вильямс», 2013. — 848 с.
2. Сортировка выворачиванием [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/companies/edison/articles/504012/ – Дата доступа 28.11.2025
3. Swing (библиотека) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Swing_(библиотека) – Дата доступа 28.11.2025

УДК 51-71

Применение теории вероятностей для оценки рисков в строительных проектах

***Рябычина Василиса Евгеньевна, Рудая Анастасия Олеговна**, студентки 2 курса кафедры «Строительные материалы и технология строительства»*
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ковалёнок Н.В., старший преподаватель кафедры «Математические методы в строительстве»

Важной составляющей в экономической сфере Беларуси является строительная область. Она включает в себя множество аспектов и считается одной из сложнейших ведь в ней необходимо учитывать комплекс взаимосвязанных факторов: технологическую сложность объектов, их масштабность, а также многообразие ресурсов. В процессе планирования особенно важно учесть все риски ведь они влияют как на сроки реализации и стоимость проекта, так и на его успешное завершение. Риском считаются задержки, перерасходы, аварии и другие нежелательные события, связанные с реализацией строительного проекта. Так как риск — это еще и вероятность наступления нежелательного события – подсчитать его сложно. Однако, теория вероятности прекрасно может справиться с этим, кроме того, она позволяет не только оценить вероятность риска, но и спрогнозировать возможные последствия, а также разработать стратегии снижения рисков. Каждое событие можно охарактеризовать двумя параметрами: вероятностью возникновения и размером ущерба.

Рассмотрим вероятность возникновения аварии объекта. Пусть $\mathbf{P_ф}$ – фактическая вероятность аварии объекта. Она может возрастать из-за множества причин, например, из-за поломки или неисправности оборудования, некачественных материалов, ошибок работников, задержек поставок. Поэтому ее можно представить как $\mathbf{P_ф=P_т+P_д}$, где $\mathbf{P_д}$ – дополнительная вероятность аварии, возникающая вследствие вышеперечисленных факторов, $\mathbf{P_т}$- теоретическая вероятность. "Для определения $\mathbf{P_д}$ используется теорема Байеса, так как она позволяет пересчитать вероятность события с учетом новой информации, а в нашем случае с учетом информации о допущенных ошибках. Также вводится два события: **C** – ошибки возведения несущих каркасов зданий есть, **C*** – ошибок нет. События **C** и **C*** образуют полную группу несовместных событий, идентифицируются в процессе строительства, а до начала строительства множество C пустое. Принимаются следующие обозначения:

P(C*)=ν – вероятность, что в построенном здании ошибок нет, **P(C) = (1–ν)** – вероятность противоположного события. Априорные (до начала строительства) вероятности наступления и не наступления аварии зданий (сооружений) известны и соответственно равны $P_т$ и $(1–P_т)$. Из формулы Байеса следует соотношение

$$P_д = P_т\, P(C/A) / [P_т\, P(C/A) + (1– P_т)P(C/A^*)],$$

где **P(C/A)** – вероятность события С при условии, если авария произойдет, а **P(C/A*)** –то же самое, но если авария объекта не произойдет. Приемы нечеткой логики позволяют принять как гипотезу, что условные вероятности **P(C/A*) = ν,** а **P(C/A) = 1–ν**. Действительно, если авария объекта не произойдет, то реализуется событие **C*** , в противном случае – событие **C**. После подстановки этих равенств в байесовское соотношение с учетом, что вероятность $P_т$ имеет порядок ∼10^(–6), имеем: $P_д = P_т\, (1–ν)/ν$. Сложение $P_д$ и $P_т$ дает:

$$P_ф/ P_т = 1/ν,$$

где под параметром **ν** следует понимать уровень конструкционной надежности несущего каркаса здания. Поскольку на практике объективно всегда есть отступления от требований проекта, то в полученной формуле отношение $P_ф/P_т$ всегда больше 1. Столь малые вероятности, каковыми являются величины $P_ф$ и $P_т$, могут быть поняты практиками лишь через свое отношение, являющееся целочисленной величиной. Здесь важно то, что вероятность $P_т$ как концепт существует и гипотетически достигается в случае, если при возведении несущего каркаса ни разу не будут нарушены требования проекта. Отношение $P_ф/P_т$ принимается за величину риска аварии объекта строительства и показывает сколько раз фактическая вероятность аварии выше теоретической, закладываемой по умолчанию в объект при его проектировании." [1]

Чтобы оценить ущерб, необходимо понять, как изменение начальных параметров повлияет на итоговые показатели, то есть провести анализ чувствительности. Например, рост стоимости материалов на 20 % может привести к увеличению затрат на 8-12 %, в зависимости от доли материалов в общих расходах. Однако эффективность метода ограничена, ведь он не учитывает взаимосвязь факторов. "Другим важным инструментом является моделирование Монте-Карло, при котором используют случайные значения входных данных для выполнения множества расчетов. Такой подход используется для оценки финансовых рисков и определения сроков реализации проекта. Основная сложность связана с необходимостью точного определения исходных данных и вероятностных распределений, что при нехватке информации может привести к значительным ошибкам. Экономические методы, например, анализ ожидаемых затрат, учитывают финансовые потери, связанные с рисками. Например, если вероятность задержки строительства равна 15 %, а

дополнительные расходы — 3 миллионов рублей, то ожидаемые потери оцениваются в 1 миллион рублей. Однако данный метод не учитывает нематериальные последствия, такие как негативное влияние на репутацию или возможные юридические проблемы, что ограничивает его использование." [2]

Эффективное управление рисками в строительных проектах невозможно без учёта множества факторов неопределенности, присущих каждому этапу реализации. Количественные и качественные методы оценки рисков имеют как преимущества, так и недостатки. Ведь количественные методы требуют достоверных статистических данных, а качественные методы субъективны. Поэтому самым эффективным решением является использование и количественных, и качественных методов, то есть их комбинацию. Такой подход позволяет уменьшить неопределенность, повысить точность прогнозов рисков и обеспечивает гибкость при корректировке оценки по мере поступления новых данных.

Литература:

1. Мельчаков, А. П. Расчет и оценка риска аварии и безопасного ресурса зданий, строений и сооружений : учеб. пособие / А.П. Мельчаков. – Челябинск : ЮУрГУ, 2005. – С. 9
2. Методы количественной и качественной оценки рисков в строительных проектах: практическое применение и подходы к минимизации неопределенности [Электронный ресурс]. – URL : http://edrj.ru/article/21-04-25 (Дата обращения: 30.11.2025).

УДК 624.21

Применение интегралов в теплоснабжении и вентиляции

Савицкий Максим Вадимович, Старицкий Алексей Вячеславович,
студенты 2 курса кафедры «Математические методы в строительстве»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ерошевская Е.Л., канд. пед. наук, доцент
кафедры «Математические методы в строительстве»

Интегрирование служит при создании математических моделей систем теплоснабжения и вентиляции, поскольку позволяет описывать распределения энергии и вещества с высокой точностью. Без использования интегральных подходов невозможно корректно рассчитывать сложные инженерные системы, учитывающие реальные условия эксплуатации, динамику изменения параметров и взаимодействие различных физических процессов. Таким образом, интегралы обеспечивают научную основу для проектирования, оптимизации и анализа тепловых и вентиляционных систем, делая их более эффективными, надёжными и соответствующими современным требованиям энергосбережения.

В теплотехнических расчетах интегрирование служит ключевым инструментом для нахождения общего количества тепла, передаваемого через строительные конструкции, теплообменные аппараты и трубопроводы в условиях неоднородного температурного поля. Этот математический аппарат позволяет анализировать сложные распределения теплопроводности материалов, нелинейные температурные профили в ограждающих конструкциях, а также динамические изменения тепловой нагрузки в течение суток или всего отопительного сезона.

$$Q = \left(\frac{1}{R_{\text{общ}}}\right) \cdot \iint_S \left[T_{\text{вн}(x,y)} - T_{\text{нар}(x,y)}\right] dS$$

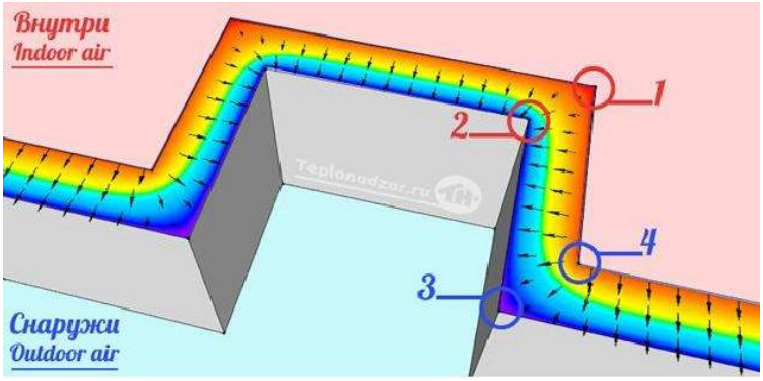


Рисунок 1 – Модель теплопередачи через ограждающую конструкцию

Методы интегрирования находят практическое применение при вычислении теплопотерь зданий, оптимизации распределения тепловой энергии по отопительным контурам, оценке аккумулированной тепловой энергии в массивных конструкциях и исследовании нестационарных тепловых режимов, характерных для процессов нагрева и охлаждения помещений. Существенно, что такие расчеты создают основу для повышения энергетической эффективности систем, их адаптации к изменяющимся эксплуатационным условиям и корректного определения требуемой мощности теплогенерирующего оборудования.

$$Q_{\text{сез}} = \int_{\{t_{\text{нач}}\}}^{\{t_{\text{кон}}\}} \left[\int_S \left(\frac{1}{R_{\text{общ}(s)}} \right) \cdot \left(T_{\text{вн}(t)} - T_{\text{нар}(s,t)} \right) dS \right] dt .$$



Рисунок 2 – Энергоэффективность и тепловые режимы

В области вентиляции интегральное исчисление является необходимым инструментом для точного определения расхода воздуха в условиях неоднородного поля скоростей в воздуховодах. С его помощью рассчитывается

полное количество теплоты и массы, переносимое воздушными потоками, а также оценивается эффективность воздухообмена — как при удалении вредных веществ, так и при подаче приточного воздуха.

$$Q = \iint_A V(x,y)dA$$

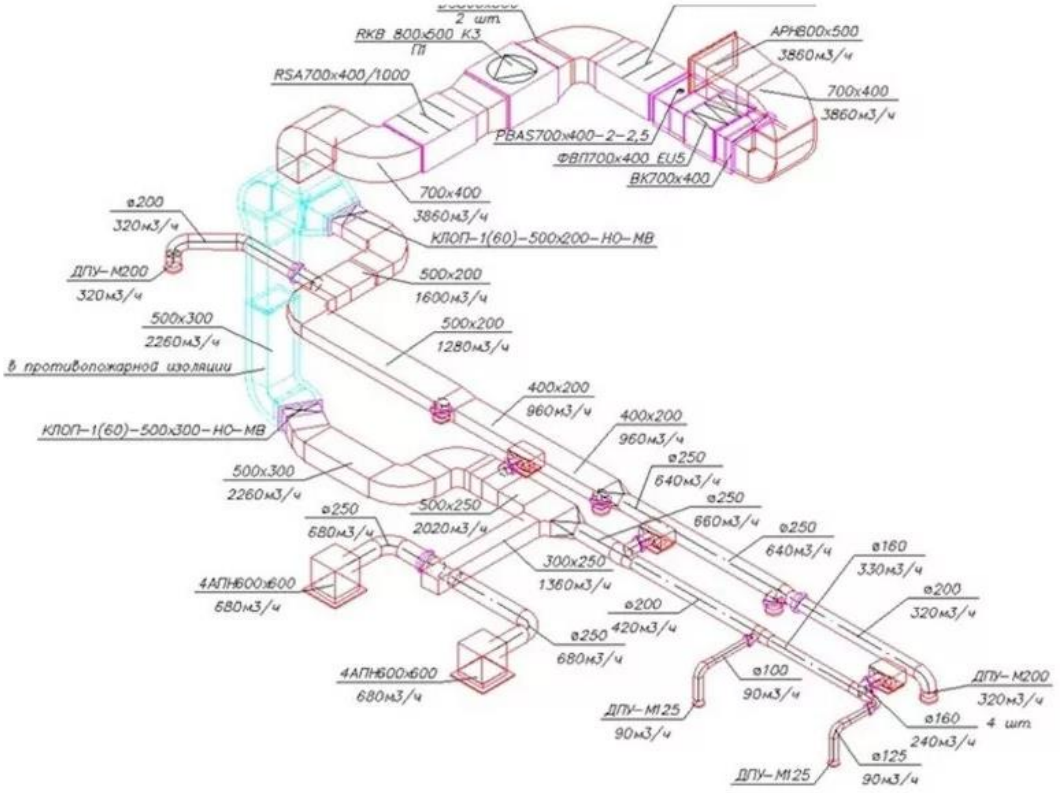


Рисунок 3 – Вентиляция и аэродинамика

Интегральные подходы незаменимы для моделирования систем вентиляции любого типа, где параметры потока изменяются под влиянием градиента высоты, перепадов температуры или местных аэродинамических сопротивлений. Кроме того, эти методы являются основой для анализа нестационарных режимов работы, таких как пуск вентиляционного оборудования, колебания климатических условий снаружи или процессы теплообмена в вентиляционных каналах.

$$\Delta P_{\text{полн}} = \int_0^H (\rho_{\text{нар}} - \rho_{\text{вн}}) g\, dh + \oint_L \frac{\lambda(L)\rho V^2}{2D} dL + \Sigma \int_A \Delta P_{\text{местн}(\xi,A)dA}$$

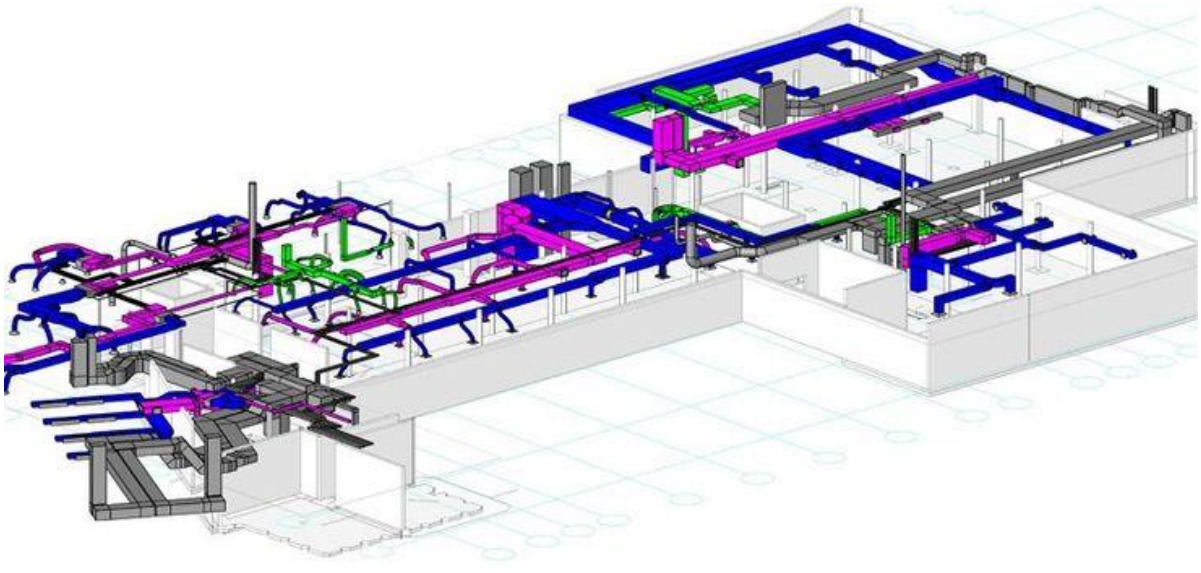


Рисунок 4 – Моделирование систем вентиляции

Интегральное исчисление составляет основу для построения точных математических моделей систем теплоснабжения и вентиляции, поскольку позволяет достоверно описывать распределение энергии и перемещение веществ. Применение интегральных методов является обязательным условием для корректного расчёта сложных инженерных систем, учитывающих реальные эксплуатационные факторы, динамическое изменение параметров и взаимовлияние различных физических процессов.

Таким образом, интегралы формируют научную базу для проектирования, совершенствования и оценки работы тепловых и вентиляционных систем, обеспечивая их эффективность, надежность и соответствие современным стандартам энергоэффективности.

УДК519-7

Применение степенных рядов в расчётах добавок вяжущих веществ для укрепления грунта

***Сазанчук Эмилия Павловна**, студент 2 курса*
кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Чернявская С.В., канд. физ.-мат. наук, доцент,
заведующая кафедры «Математические методы в строительстве»

В данной работе будет показано, как степенные ряды и дифференцирование функции могут использоваться для решения инженерной задачи об укреплении грунта.

В техническом вузе математика занимает важное место как общеобразовательная дисциплина. Она не просто является предметом, который студенты изучают в рамках своей учебной программы, но и служит основным инструментом для проведения инженерных исследований. Математика предоставляет инженерам необходимые методы и подходы для решения сложных профессиональных задач, с которыми они сталкиваются в своей деятельности. Кроме того, математические модели и теории позволяют анализировать и оптимизировать процессы, что в свою очередь способствует более эффективному проектированию и разработке новых технологий. Важно отметить, что глубокое понимание математических концепций помогает будущим инженерам развивать критическое мышление и аналитические навыки, которые необходимы для успешной работы в различных областях инженерии. Таким образом, математика не только формирует базу знаний, но и развивает умения, которые будут полезны на протяжении всей профессиональной карьеры.

Укреплением грунтов называют ряд последовательных технологических операций, обеспечивающих высокую прочность и длительную устойчивость грунтов как в сухом, так и в водонасыщенном состоянии за счёт добавок вяжущих веществ. [2] Расчёт объёма вяжущего вещества при дорожном строительстве необходим для обеспечения прочности и долговечности дорожного покрытия, а также для оптимизации состава смеси, что влияет на качество и эксплуатационные характеристики дороги. Правильный расчёт позволяет достичь необходимой прочности, особенно для дорог с высокой интенсивностью движения, и способствует повышению устойчивости покрытия к внешним воздействиям, таким как влага, температурные колебания и механические нагрузки. Кроме того, эффективный расчёт помогает избежать

избыточного использования материалов, что снижает общие затраты на строительство, и является частью контроля качества, гарантируя соответствие стандартам и требованиям.

Линеаризация и производные играют ключевую роль в упрощении сложных формул в дорожном строительстве, таких как расчёт объёма вяжущих веществ и т.д., позволяя преобразовывать нелинейные зависимости в линейные. Это значительно облегчает вычисления и помогает учитывать погрешности, возникающие из-за изменений температуры, давления и времени, что особенно важно в дорожном строительстве. Линеаризация функций позволяет преобразовать нелинейные функции в более простые линейные модели, что упрощает математические расчёты.

Известна формула для расчёта объёма вяжущего вещества:

$$V_в = V_{смеси} \cdot (1 - CB) \cdot ky, \quad (1)$$

где $V_в - объём вяжущего вещества$, $V_{смеси} - оъём смеси$, СВ – содержание вяжущего в исходных материалах (в долях единицы, т.е. если 5%, то 0,05), *ky* – коэффициент уплотнения.

С помощью линеаризации преобразуем уравнение. Уравнение уже является линейным относительно параметров СВ и *ky*. Но если параметры СВ и *ky* зависят от других переменных, таких как температура, давление, время и т.д., то уравнение становится более сложным и для его линеаризации можно разложить функции СВ и *ky* в ряд Тейлора для анализа малых изменений.

Пусть содержание вяжущих веществ СВ зависит от температуры, т.е. СВ=СВ(Т), а коэффициент уплотнения *ky* – от давления, т.е. *ky=ky(P).*

Тогда, разлагая СВ(Т) в ряд Тейлора в точке $T=T_0$ и пренебрегая производными, начиная с $\frac{d^2(CB)}{dT^2}$, получим приближённое равенство:

$$CB(T) \approx CB(T_0) + \frac{d(CB)}{d(T)} \cdot (T - T_0) \quad (2)$$

Аналогично для $ky(P)$:

$$ky(P) \approx ky(P_0) + \frac{d(ky)}{d(P)} \cdot (P - P_0) \quad (3)$$

Подставляя (2) и (3) в формулу (1), придём к выражению:

$$V_в = V_{смеси} \cdot \left(1 - CB(T_0) + \frac{d(CB)}{d(T)} \cdot \Delta T\right) \cdot \left(ky(P_0) + \frac{d(ky)}{d(P)} \cdot \Delta P\right),$$

Раскрывая скобки, пренебрегая ΔT *и* ΔP и введя обозначения:

$$A = -V_{смеси}\left(\frac{d(CB)}{d(T)}\right) \cdot \Delta T \cdot ky(P_0) - \textit{чувствительность к температуре};$$

$$B = V_{смеси} \times \left(1 - CB(T_0)\right) \times \frac{d(ky)}{d(P)} - \textit{чуствительность в давлению.}$$

$$V_{в0} = V_{смеси} \cdot \left(1 - CB(T_0)\right) \cdot ky(P_0)$$

Окончательно получим:

$$V_в = V_{в0} + (-A) \cdot \Delta T + B \cdot \Delta P \qquad (4)$$

Пример. Рассчитать изменение объёма вяжущего вещества при заданных изменениях температуры и давления.

Пусть

$$V_{смеси} = 10 м^3; CB(T_0) = 0,05; ky(P_0) = 0,9; \frac{d(CB)}{d(T)} = 0,001 град^{-1}; \frac{d(ky)}{d(P)} = 0,02\, Па^{-1};$$

$$\Delta T = 5°C, \Delta P = -100\, Па$$

$$V_в = V_{в0} + (-A) \cdot \Delta T + B \cdot \Delta P = -10,495 м^3.$$

Объём вяжущего вещества получился отрицательным, но, если взять больший объём смеси, например, 25 м^3 или увеличить давление на 75 Па, то объём вяжущего вещества будет положительным.

Использование линеаризации и производных позволяет инженерам быстро оценивать влияние различных факторов на объём вяжущих веществ, что сокращает время на расчёты и снижает вероятность ошибок.

Литература:

1. Мороз, О. А. Некоторые математические методы в дорожном строительстве / О. А. Мороз // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: материалы Международной научно-технической конференции / Белорусский национальный технический университет; редкол.: С. Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2020. – С. 291-293.

2. Бабаскин, Ю. Г. Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог : курс лекций / Ю. Г. Бабаскин ; Белорусский национальный технический университет. – Минск : БНТУ, 2002. – 197 с. : ил.

УДК 624.044 + 624.046:517.9

Упругость, ползучесть и пластичность

***Скрипко Сергей Дмитриевич**, студент 2 курса*
кафедры «Робототехнические системы»
Белорусский национальный технический университет г. Минск
Научный руководитель – Лебедева Г.И., канд. тех. наук, доцент
кафедры «Высшая математика»

Механика деформируемого твёрдого тела изучает, как материалы реагируют на внешние нагрузки. Основные режимы деформации — упругость, ползучесть и пластичность. Для их описания используются методы высшей математики: интегралы, дифференциальные уравнения, тензорный анализ.

Упругость — это способность материала возвращаться в начальное состояние после снятия нагрузки.

В рамках теории упругости рассматривается поведение материалов, способных возвращаться в начальное состояние после снятия внешней нагрузки. Основные математические модели описывают связь между напряжениями и деформациями, а также распределение энергии в теле. Ниже приведены ключевые формулы и обозначения, используемые в линейной теории упругости, включая закон Гука, тензорные зависимости и уравнения равновесия.

Закон Гука (одномерный случай) $\sigma = E \cdot \varepsilon$. Здесь связь линейная. Но в реальности материалы могут быть анизотропными, и тогда используется тензорная форма: $\sigma_{ij} = C_{ijkl} \cdot \varepsilon_{kl}$, где σ — напряжение (Па, Н/м²);ε — относительная деформация (безразмерная величина); E — модуль Юнга (Па), характеризует жёсткость материала

Энергия упругой деформации $w = \int_0^{\varepsilon} \sigma \, \mathrm{d}\varepsilon = \frac{1}{2} E \varepsilon^2$

В трёхмерном случае: $W = \frac{1}{2} \int_V \sigma ij \varepsilon ij \, dV$. Где, W — энергия упругой деформации (Дж); интеграл показывает накопление энергии при увеличении деформации

Дифференциальные Уравнения равновесия (в трёхмерном случае)

$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + F_i = 0$. Где σ_{ij} — компоненты тензора напряжений; x_j — координаты в пространстве; F_i — массовые силы (например, сила тяжести)

Обобщённый закон Гука $\sigma_{ij} = C_{ijkl} \cdot \varepsilon_{kl}$,где C_{ijkl} — тензор упругих констант (характеризует материал);ε_{kl} — компоненты тензора деформаций

Теория упругости тесно связана с методами высшей математики. Для описания напряжённо-деформированного состояния используются тензоры, дифференциальные уравнения и интегралы. Закон Гука в тензорной форме позволяет учитывать анизотропные свойства материалов, а уравнения равновесия — формулировать задачи в виде краевых задач математической физики. Энергетические выражения через интегралы дают возможность применять вариационные методы и принципы минимума потенциальной энергии.

Ползучесть — это важное физико-механическое явление, проявляющееся в постепенном увеличении деформации материала при длительном воздействии постоянной нагрузки. Особенно ярко оно выражено при высоких температурах и в металлах, используемых в энергетических установках, авиации и машиностроении. Для количественного описания ползучести применяются модели, основанные на дифференциальных и интегральных уравнениях, позволяющие учитывать временной характер деформации.

Простая (Линейная) модель (Ньютоновская вязкость) $\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\sigma}{\eta}$,где η — коэффициент вязкости материала (Па·с); t— время (с)

Решение при постоянном напряжении $\varepsilon(t) = \varepsilon_0 + \frac{\sigma}{\eta} \cdot t$,где ε_0 — начальная деформация; рост деформации линейный во времени

Обобщённая (интегральная) модель $\varepsilon(t) = \int_0^t J(t-\tau) \cdot \frac{d\sigma(\tau)}{d\tau}\, d\tau$, где J(t) — функция ползучести (характеризует материал); τ — переменная интегрирования (время действия нагрузки)

Для более сложных материалов модель ползучести имеет вид:

$$\eta \frac{d\varepsilon}{dt} + E\varepsilon = \sigma$$

Представленные математические модели описывают различные уровни сложности поведения материала при ползучести. Линейная модель, основанная на аналогии с вязкостью Ньютона, применима для простых случаев. Интегральная модель учитывает всю историю нагружения, что делает её более универсальной. Дифференциальные уравнения позволяют описывать комбинированные процессы, включая упруго-вязкое поведение. Эти зависимости лежат в основе инженерных расчётов долговечности конструкций.

Пластичность — одно из ключевых свойств конструкционных материалов, особенно металлов, определяющее их способность к необратимым деформациям без разрушения. В отличие от упругости, пластическая деформация сохраняется после снятия нагрузки, что делает её важной для процессов формовки, ковки, штамповки и анализа предельных состояний

конструкций. Математическое описание пластичности включает условия текучести, уравнения упрочнения и критерии разрушения.

Условие текучести (Мизеса)

$\sigma_{eq} = \frac{1}{2}\sqrt{[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \leq \sigma_y$,где $\sigma_{1,}\sigma_2\sigma_3 -$ главные напряжения; σ_{eq} — эквивалентное напряжение; σ_y — предел текучести материала

Уравнение упрочнения имеет вид $\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = H$, где Н — модуль упрочнения (Па), показывает рост сопротивления материала при увеличении деформации

Представленные формулы описывают поведение материала в пластической области. Условие текучести по Мизесу позволяет определить момент перехода от упругой к пластической деформации при сложном напряжённом состоянии. Уравнение упрочнения отражает рост сопротивления материала при увеличении пластической деформации, что важно для расчёта остаточных напряжений и оценки ресурса конструкции. Эти зависимости являются основой для численного моделирования и инженерных расчётов.

Объединённые модели (упруго-вязко-пластические)

В реальных условиях материалы редко проявляют чисто упругое или чисто вязкое поведение. Чаще всего наблюдается комбинированная реакция, включающая элементы упругости, вязкости и пластичности. Для описания таких сложных процессов используются объединённые модели, которые позволяют учитывать временные зависимости, остаточные деформации и релаксационные явления. Ниже представлены три классические модели, широко применяемые в механике материалов.

Модель Максвелла $\frac{D\varepsilon}{dt} = \frac{1d\sigma}{\mathrm{E}dt} + \frac{\sigma}{\eta}$,где комбинация пружины (упругость) и вязкого элемента (ползучесть)

Модель Кельвина-Фойгта $\sigma = E\varepsilon + \eta\frac{d\varepsilon}{dt}$,где модель описывает материалы, которые одновременно упругие и вязкие

Обобщённая модель $\eta\frac{d2\varepsilon}{dt2} + E\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d\sigma}{dt}$,где уравнение учитывает сложные процессы деформации

Объединённые модели деформации демонстрируют тесную связь механики материалов с высшей математикой. Дифференциальные уравнения первого и второго порядка позволяют описывать эволюцию деформации во времени, а параметры моделей — такие как модуль упругости Е и коэффициент вязкости η— задают физические свойства материала. Эти модели лежат в основе численных методов, таких как метод конечных элементов, и широко применяются в инженерных программных пакетах.

Практическое значение заключается в расчетах:

Упругости для расчетов мостов, зданий, машин.

Ползучести для турбин, двигателей, работ при высоких температурах.

Пластичность для обработки металлов, ковки, штамповки.

Мы рассмотрели три ключевых явления: упругость, ползучесть и пластичность. С помощью интегралов и дифференциальных уравнений можно описывать их количественно. Эти модели лежат в основе инженерных расчётов и позволяют предсказывать поведение материалов в реальных условиях.

Литература:

1. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. — М.: Высшая школа, 1961.
2. Коваленко А.Д. Механика деформируемого твёрдого тела. — Киев: Вища школа, 2008.
3. Варданян Г.С., Андреев В.И., Атаров Н.М., Горшков А.А. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности. — М.: Стройиздат, 1995.
4. Крейн С.Г., Петровский И.Г. Дифференциальные уравнения. — М.: Наука, 1984. — 512 с.
5. Соболев С.Л. Применения функционального анализа в математической физике. — М.: Наука, 1988.
6. Ладыженская О.А. Математические методы механики сплошных сред. — М.: Наука, 1970. — 720 с.

УДК 519.04

Применение распределения Пуассона в анализе редких событий и его потенциал для строительной отрасли

Сташевский Роман Викторович, Шелег Матвей Валериевич,
студенты 2 курса кафедры «Робототехнические системы»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Лебедева Г.И. канд. техн. наук, доцент кафедры «Высшая математика»

В современном мире, насыщенном большими данными и сложными системами, существует категория событий, характеризующихся своей редкостью и случайностью. Анализ таких событий требует применения специализированного математического аппарата. Классические биномиальные модели становятся неэффективными, когда вероятность отдельного события мала, а количество исчислений велико. В данной работе рассматривается распределение Пуассона как наиболее подходящий инструмент для моделирования подобных случайных событий. Особое внимание уделяется потенциальному применению этой функции распределения в строительной отрасли, где прогнозирование аварийных ситуаций, отказов оборудования, несчастных случаев и других маловероятных, но критически важных событий, является залогом безопасности, производственной и экономической эффективности.

Распределение Пуассона является дискретным вероятностным распределением случайной величины, которое выражает вероятность данного числа событий, произошедших за фиксированный интервал времени, при условии того, что все эти события происходили с известной постоянной средней интенсивностью и независимо от того времени, когда было предыдущее событие.

Первое упоминание данного распределения было найдено в работе французского математика Симеона Дени Пуассона «Исследования о вероятности приговоров в уголовных и гражданских делах», которая была опубликована в 1837 году.

Математическая модель распределения задается формулой:

$$p(k) \equiv P(Y = k) = \frac{\lambda^k}{k!} \mathrm{e}^{-\lambda},$$

где:

- P(Y = k) – вероятность того, что произойдет ровно k событий;

- λ – среднее количество событий в заданном интервале (параметр распределения);
- e – основание натурального логарифма (приблизительно 2.71828);
- k! – факториал числа k, где k = целому неотрицательному числу.

Ключевыми предпосылками для применимости закона Пуассона являются: стационарность процесса (интенсивность λ постоянна), ординарность (вероятность одновременного наступления двух и более событий пренебрежимо мала) и независимость событий от времени.

Наглядным примером может служить модель поступления звонков в диспетчерскую строительной компании. В течение часа в среднем поступает λ = 2 звонка. Вероятность того, что за следующий час поступит ровно 3 звонка, вычисляется как:

$$P(Y = 3) = \frac{2^3}{3!}\mathrm{e}^{-2} \approx 0.180$$

Это демонстрирует, как распределение Пуассона имитирует интуитивно маловероятные события.

Сфера строительства, несмотря на свою детерминированную проектную основу, изобилует стохастическими процессами, связанными с редкими событиями. Применение распределения Пуассона в данной области может существенно повысить точность управленческих и инженерных решений, что скажется на эффективности процессов и безопасности для сотрудников.

Крупные строительные компании могут накапливать статистику по несчастным случаям на объектах. Если в среднем на одном объекте в год происходит λ=0.5 серьезных инцидента, можно рассчитать вероятность полного отсутствия аварий за год:

$$P(Y = 0) = \frac{0.5^0}{0!}\mathrm{e}^{-0.5} \approx 0.607$$

Это означает, что примерно в 60.7% случаев объект завершит год без серьезных происшествий. Аналогично, вероятность одного инцидента составит около 30.3%, а двух – 7.6%. Такой анализ позволяет объективно оценивать риски и обосновывать инвестиции в системы безопасности.

Внезапные выходы из строя специализированного оборудования (например, башенных кранов или энергоснабжающих станций) являются довольно редкими, но крайне затратными для компании событиями. На основе данных о среднем количестве отказов определенного типа оборудования в месяц (λ) можно прогнозировать нагрузку на сервисные службы, оптимизировать графики планового технического обслуживания и формировать страховые резервы на случай поломки. При корректной подготовке данных оно переводит управление рисками из реактивной парадигмы в проактивную: улучшает

планирование технического обслуживания техники, точнее формирует страховые резервы и оптимизирует распределение ресурсов.

При контроле качества крупных партий строительных материалов (например, железобетонных плит или арматуры) или при мониторинге состояния протяженных объектов (тоннелей, мостов) распределение Пуассона может быть использовано для оценки вероятности обнаружения критических дефектов и повреждений. Если на 1 км тоннеля в среднем обнаруживается $\lambda = 0.1$ дефект, требующий немедленного вмешательства, то вероятность обнаружить более одного такого дефекта на 10-километровом участке (где $\lambda=1$) составит:

$$P(Y > 1) = 1 - P(Y = 0) - P(Y = 1) \approx 1 - 0.368 - 0.368 \approx 0.264.$$

Это дает количественную основу для планирования ремонтных кампаний, бюджета и нагрузки на персонал.

Знание распределения числа инцидентов позволяет закладывать оптимальные числа экипажей, запасов материалов и времени на устранение неисправностей, сокращая простои и излишние расходы, повышая общую эффективность.

Необходимо учитывать ограничения классической пуассоновской модели и знать возможные расширения: модель не годится при выраженной сезонности, в условиях кластеризации событий или при наличной сверхдисперсии (когда дисперсия превышает среднее).

На практике эти условия проверяют эмпирически: анализируют временные ряды, проверяют отсутствие выраженной сезонности, кластера событий и зависимостей.

Литература:

1. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика.
2. Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. Теория вероятностей и ее инженерные приложения.
3. Дмитриева А. Н. Строительная физика: риски и надежность.
4. Пуассон С. Д. Исследования о вероятности приговоров в уголовных и гражданских делах.

Секция дополнительная 1

МОСТЫ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА 2024

УДК 624.21

Проект многофункционального комплекса в России между городами Теберда и Карачаевск

***Бушило Максим Евгеньевич**, студент 5 курса*
кафедра «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

В рамках выполнения мною курсовой работы «Тоннель, сооружаемый горным способом» был разработан проект, который представляет собой сложное объёмно-планировочное решение комплекса, состоящего из двух сооружений различного функционального назначения, совмещенного с тоннелем.

Местоположение данного многофункционального комплекса выбрано в сложной горной местности, между городами в связи с увеличением пассажиропотока.

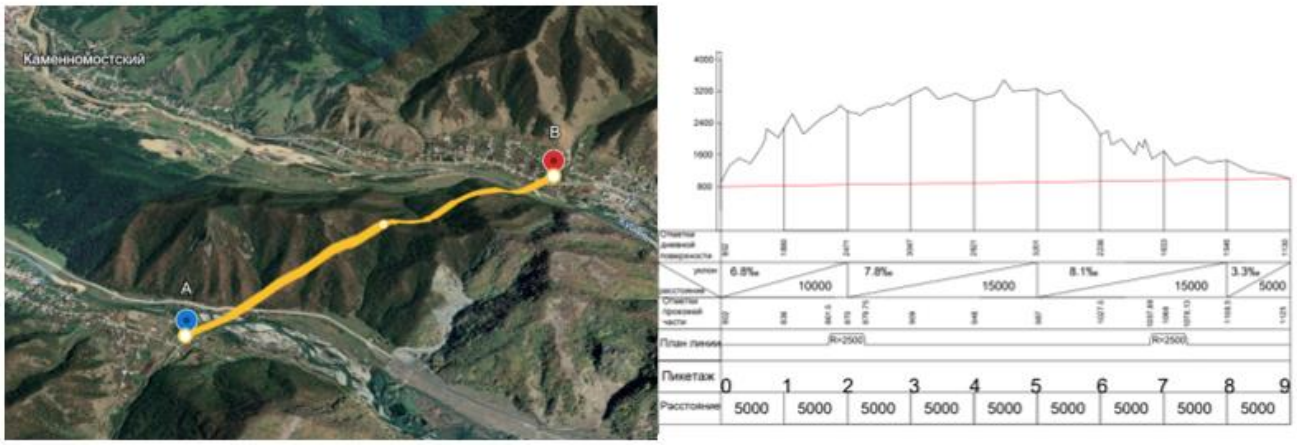


Рисунок 1 – Исходные данные для курсового проекта

Разработан календарных график строительства с визуализацией и учетом поставки материалов на объект. Для создания графика работ и визуализации поэтапного строительства использовался программный комплекс NevisWorks.

Первый этап строительства – это отель, криволинейной формы с учетом существующего рельефа местности, второй – это однопутный железнодорожный тоннель, который имеет длину пять километров. Конструкции тоннельной обделки выполнены из монолитного железобетона.

Отель имеет площадь две тысячи пятьсот квадратных метров, четыре этажа, используя каркас из монолитных конструкций, кирпич – ограждающие конструкции. Вальмовая ломаная кровля. В месте перехода железной дороги от

открытой выемки к тоннелю был возведен портал, для обеспечения устойчивости лобового откоса выемки.

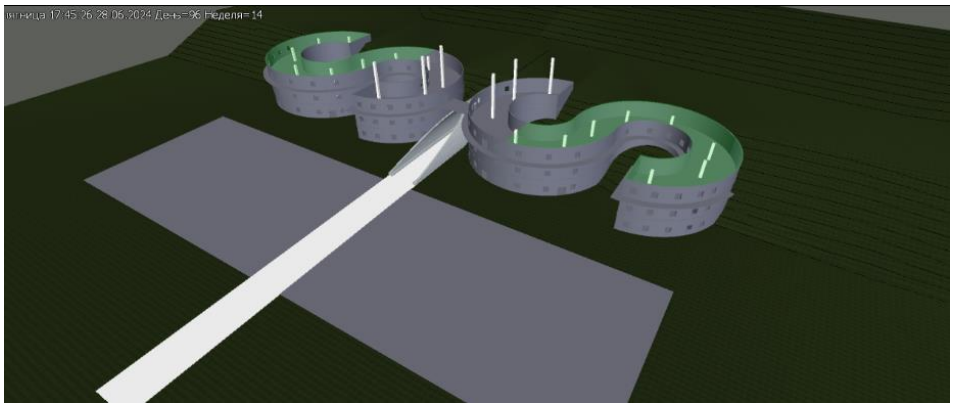


Рисунок 2 – Визуализация поэтапного строительства в NevisWorks



Рисунок 3 – Фасад в осях 1 – 8



Рисунок 4 – Фасад в осях А – Д



Рисунок 5 – Общий вид

Обделка тоннеля была рассчитана в программе SCAD. Ниже представлены расчетные схемы обделки и эпюры усилий N и Q.

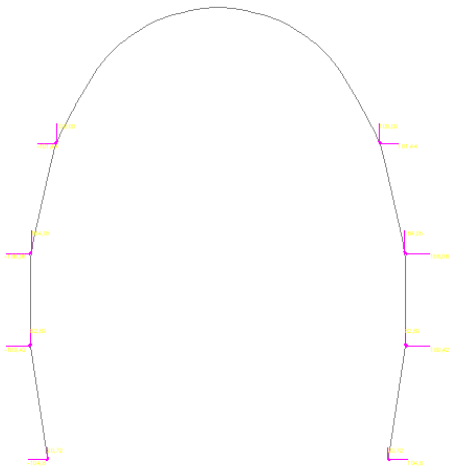


Рисунок 6 – Расчетная схема обделки тоннеля

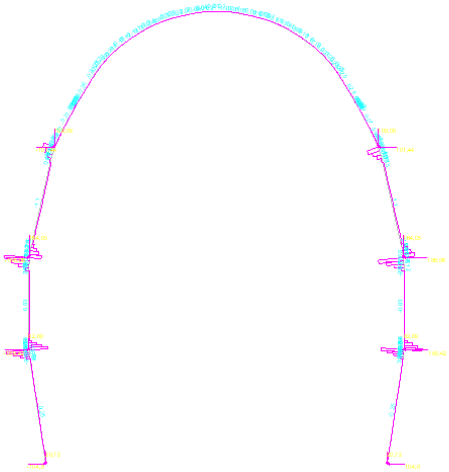


Рисунок 7 – Эпюра поперечных усилий Q

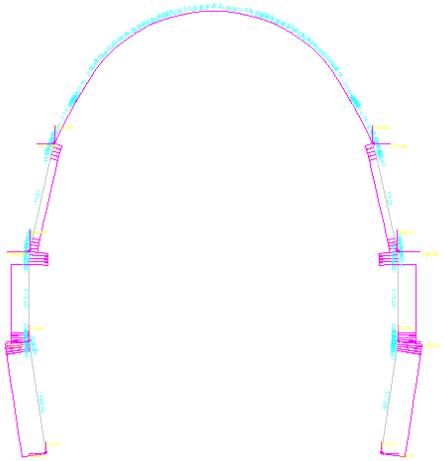


Рисунок 8 – Эпюра продольных усилий N

Основная цель реализации проекта – создание логистической структуры для уменьшения времени нахождения в пути и, объединение туристических потоков. Что будет способствовать увеличению товаропотоков и туризма.

УДК 624.21

Проект висячего моста через реку Нёман

Бушило Максим Евгеньевич, Щербо Алексей Денисович,
студенты 5 курса кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

В рамках выполнения курсового проекта «Проектирование и строительство больших мостов» мы разработали проект висячего моста, в городе Гродно, через реку Неман под теплотрассу (Рис. 1).

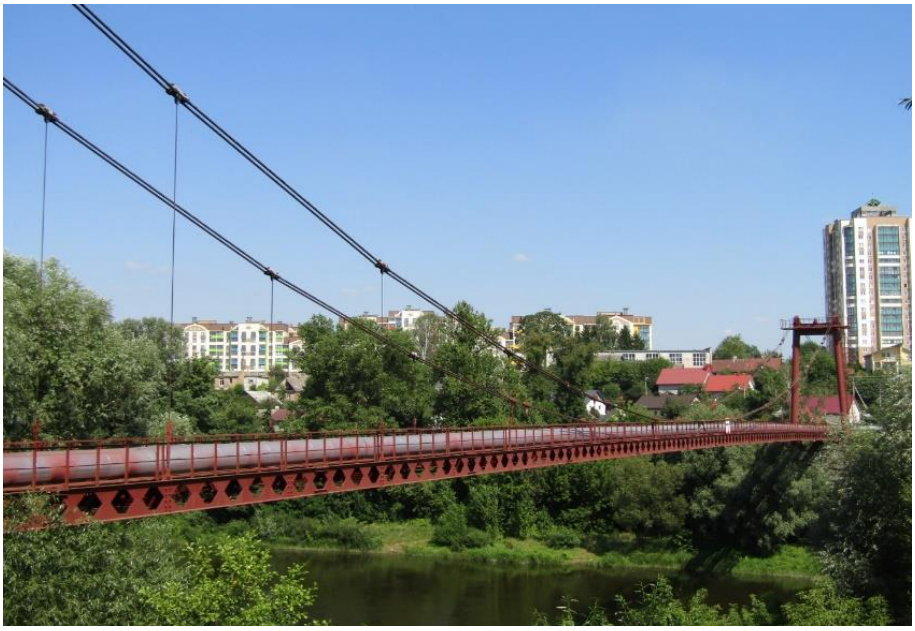


Рисунок 1 – Общий вид моста

Висячий мост – это сооружение, в котором основная несущая конструкция выполнена из гибких элементов (канатов, цепей, тросов и др.), работающих на растяжение, а проезжая часть подвешена. Мы создали 3D-модель моста по архивным чертежам 70-х годов (Рис. 2).

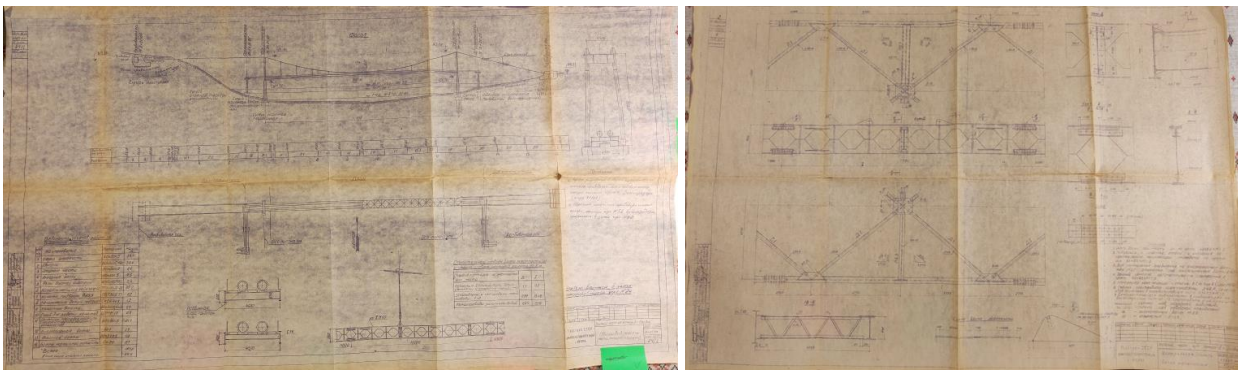


Рисунок 2 – Архивные чертежи моста

3D-моделирование помогает детально рассмотреть все узлы и высчитать объёмы использованных при строительстве материалов. Также модель позволяет выявлять отклонения от проекта и выполнять мониторинг сооружения при эксплуатации с использованием наземного лазерного сканирования, тахеометрической съёмки и нивелировки. Длина основного пролёта моста составляет 132 м., ширина – 4,5 м., высота пилонов – 15 м.

Главным конструктивным элементом пролётного строения моста являются две главные балки. Поперечное сечение балок выполнено из двутавра №60 с уклонами полок путём его продольного раскроя и сварки с увеличением высоты.

Главные балки объединены поперечными балками и горизонтальными связями в виде небольших плоских ферм (Рис. 3).

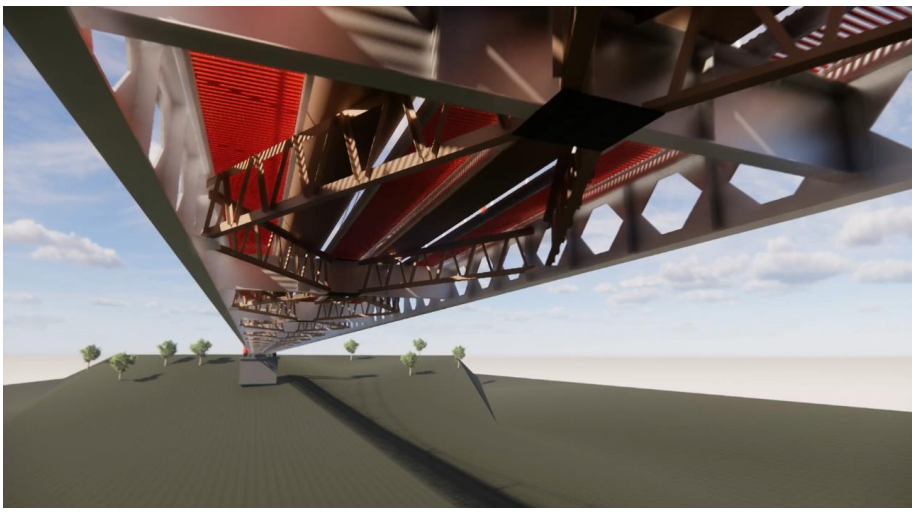


Рисунок 3 – Объемно-планировочное решение балок моста

Пролётное строение установлено на 4 шарнирно-подвижные опорные части, также в центрах крайних поперечных балок установлены горизонтальные шарнирно-подвижные опорные части для восприятия боковых нагрузок.

Пилоны, расположенные на береговых опорах, представляют собой две сходящиеся к верху круглые трубы, объединённые по верху ригелем (Рис. 4). Пилоны установлены на шарнирно-неподвижные опорные части.

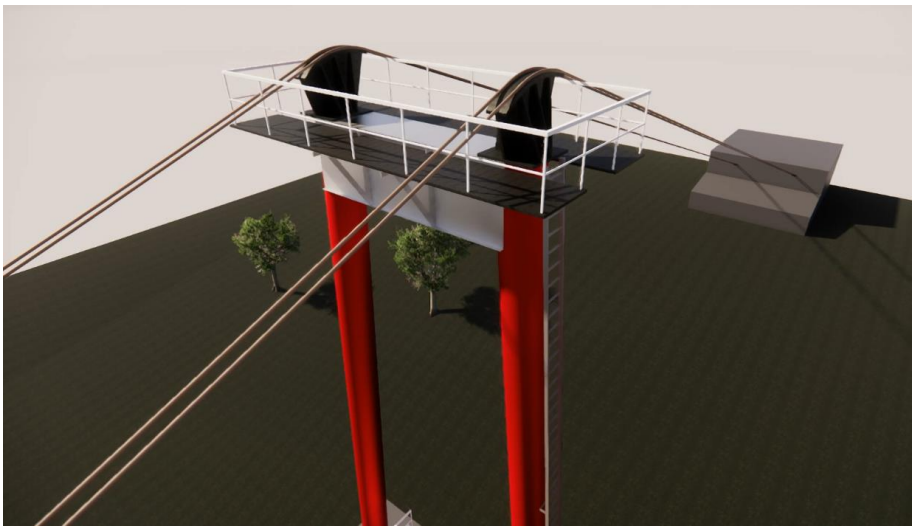


Рисунок 4 – Объемно-планировочное решение пилонов моста

Канатная система состоит из несущего каната и подвесок жёсткой и гибкой конструкции. Два спаренных несущих каната закреплены в верхних точках пилонов и на двух анкерных устройствах, расположенных на противоположных берегах реки. Каждый из спаренных несущих канатов имеет диаметр 70 мм и состоит из 190 проволок. Между парами несущих канатов с шагом 11 метров закреплены подвески (Рис. 5).

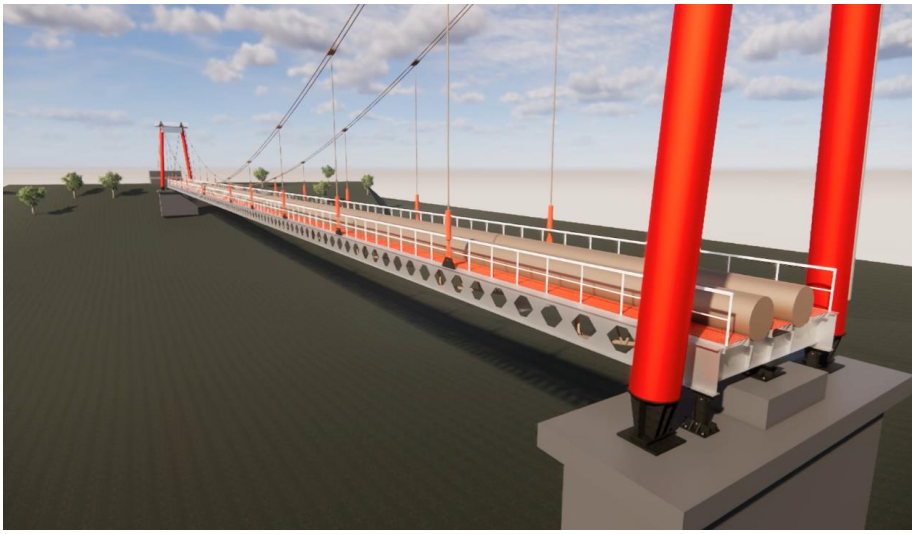


Рисунок 5 – Объемно-планировочное решение канатной системы моста

Дополнительно был выполнен расчёт конструкции моста в программном комплексе Sofistik. Расчётом проверялась несущая способность следующих элементов моста:

- балки жёсткости пролётного строения и связей;
- гибких и жёстких подвесок:
- несущего каната

Вся геометрия и сечение элементов конструкции были взяты из проектной документации (Рис. 6).

Расчёт такого моста достаточно сложная задача, так как конструкция обладает низкой жёсткостью и огромную роль в ней играет сила натяжения главных канатов и длина элементов канатной системы.

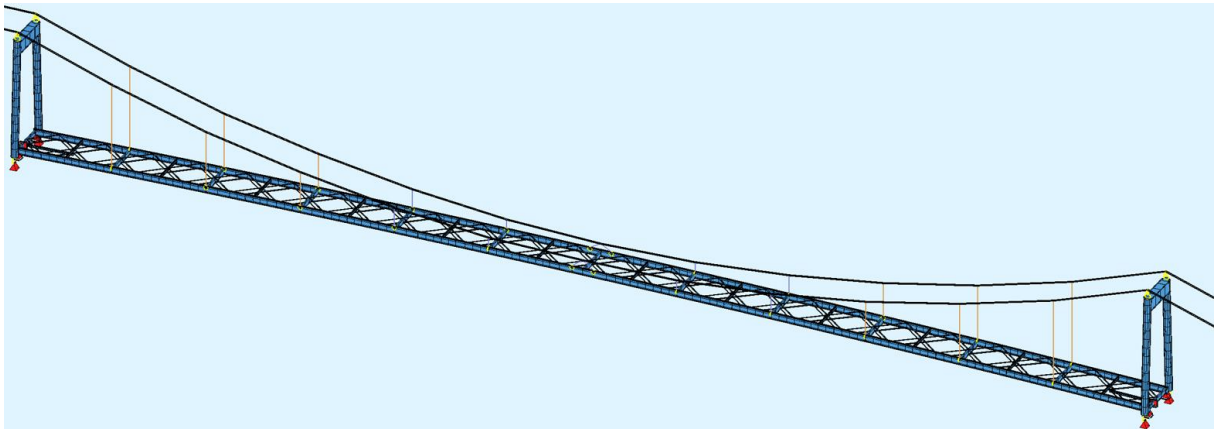


Рисунок 6 – Общий вид расчётной схемы

В процессе расчёта были подобраны натяжения несущих канатов таким образом, чтобы в результате проверки на воздействия от комбинации нормативных постоянных нагрузок прогиб главных балок был максимально близок к разности проектного строительного подъёма с фактическим строительным подъёмом, полученным в результате нивелировки.

Мост имеет очень кривую геометрию. А чтобы понять какие возникают напряжения нужно было повторить эту кривизну в расчётной схеме путём натяжения главных канатов (Рис. 7).



Рисунок 7 – Общий вид деформированной расчётной схемы

В результате расчёта конструкции по прочности при воздействии собственного веса и скопления людей были получены:

- Эпюры коэффициента использования материала (отношение возникающих напряжений к предельно допустимым) в стержневых элементах расчётной схемы (Рисунок 8-11);

- Эпюры растягивающих усилий, возникающих в несущих канатах и подвесках (Рисунок 12-13).

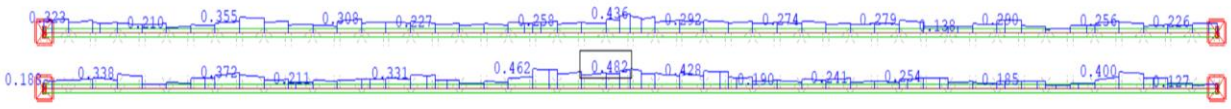


Рисунок 8 – Коэффициент использования материала в главных балках пролётного строения. Вид сверху

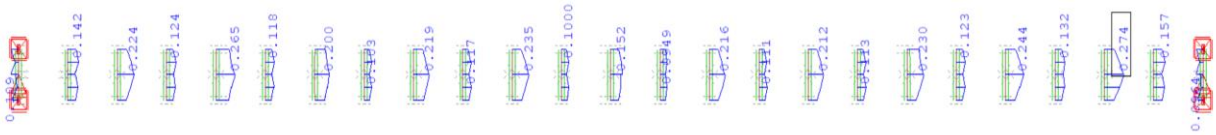


Рисунок 9 – Коэффициент использования материала в поперечных балках пролётного строения. Вид сверху

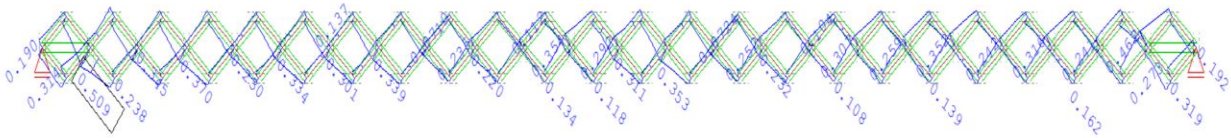


Рисунок 10 – Коэффициент использования материала в диагональных и продольных связях балок пролётного строения. Вид сверху

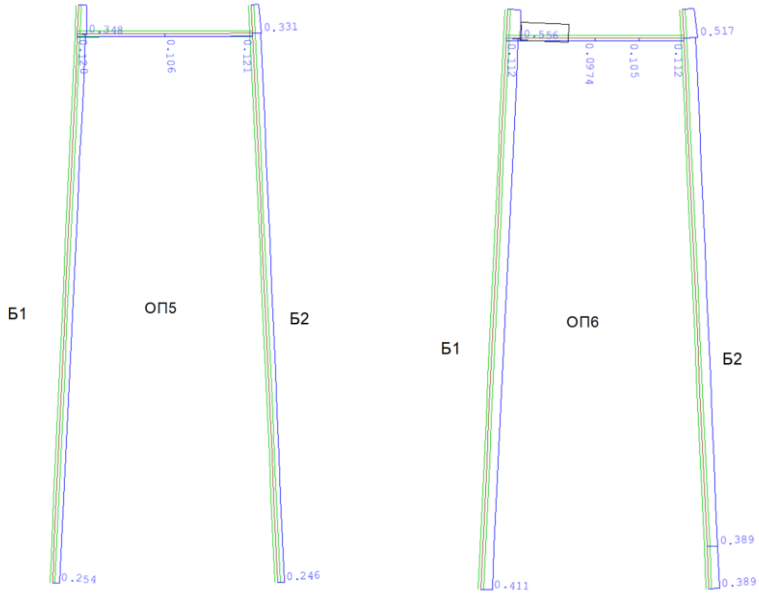


Рисунок 11 – Коэффициент использования материала в элементах пилонов

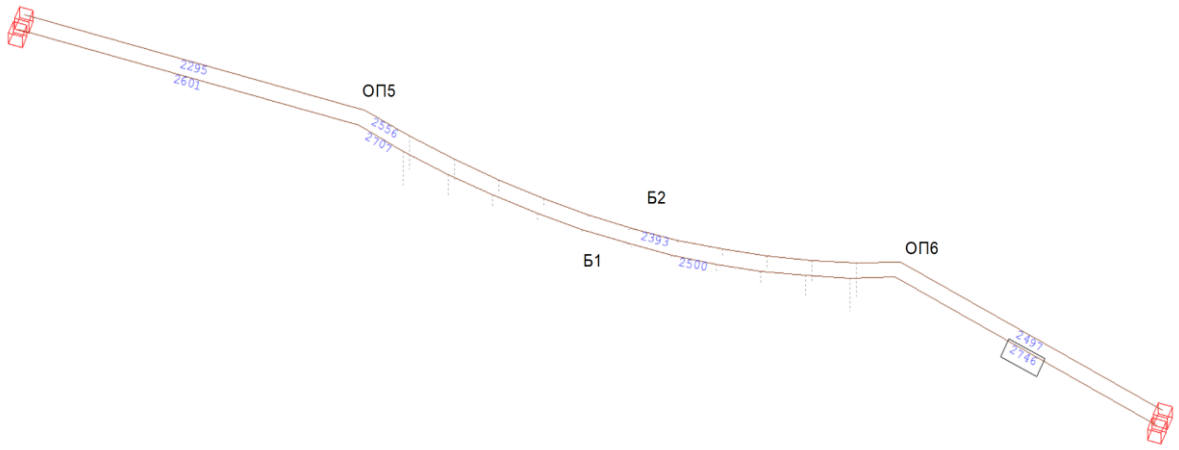


Рисунок 12 – Растягивающие усилия в несущих канатах, кН

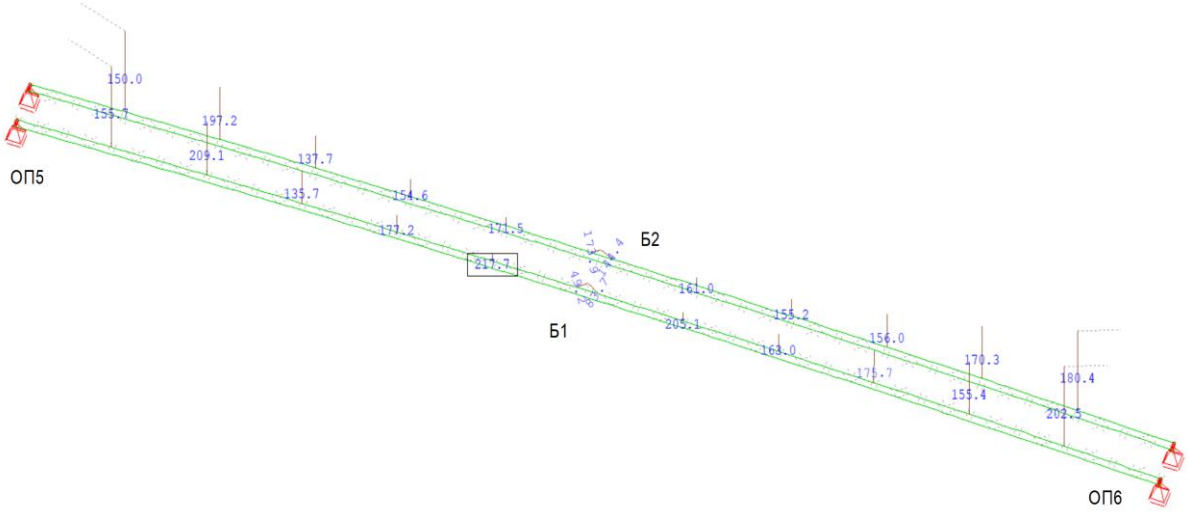


Рисунок 13 – Растягивающие усилия в подвесках, кН

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что пролётное строение, пилоны и вся канатная система имеет запас прочности не менее 40%.

УДК 624.21

БНТУ и кафедра «Мосты и тоннели» вчера и сегодня, немного цифр

Жуков Дмитрий Анатольевич, Карабнева Анна Анатольевна,
студенты 4 курса кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

История Белорусского национального технического университета началась в 1920 году, когда был образован Белорусский политехнический институт. Университет выпустил более 200 тысяч специалистов и по праву является одним из самых крупных и старейших вузов Беларуси. Сегодня это единственный вуз страны, который имеет статус национального (Рис. 1).



Рисунок 1 – Общий вид главного корпуса БНТУ

На сегодняшний день в состав БНТУ входят:

- 17 факультетов;
- 9 колледжей-филиалов;
- 7 институтов;
- 28 научно-исследовательских лабораторий;
- Научно-технологический парк;
- 20 инновационных предприятий;
- Стартап-школа и FABLAB;
- 18 общежитий;

- 34 пункта питания;
- 36 спортивных сооружений;
- Санаторий-профилакторий;
- 12 культурных центров.

За более чем 100 лет инженерно-техническое образование Беларуси без преувеличения обрело мировую известность. Официально БНТУ входит в тысячу лучших университетов мира. 35 тысяч человек в эти минуты получают образование здесь. За впечатляющими цифрами статистики стоят тысячи личных историй людей, которые не представляют, как бы сложилась их жизнь без БНТУ.

Кафедра «Мосты и тоннели» начала свою историю в 1977 году, когда потребность в развитии мостового и тоннельного строительства Беларуси достигла наибольшей остроты, в год, когда в г. Минске началось строительство метрополитена. Для форсированной подготовки инженеров-мостовиков и метростроителей со специальности «Автомобильные дороги» были переведены группы студентов различных курсов общей численностью 50 человек.

В 1983 году кафедру возглавил ученый с мировым именем Лукша Леонид Константинович, заслуженный деятель науки БССР, доктор технических наук, профессор. За 13 лет руководства кафедрой профессором было организованно обучение в аспирантуре, им было подготовлено 17 кандидатов технических наук, в том числе девять докторов философии для зарубежных стран. Существенно были расширены и укреплены международные научные связи кафедры МиТ.

Результаты научных исследований кафедры в области железобетонных мостов и тоннельных конструкций, гидроизоляции транспортных сооружений, эксплуатации и реконструкции мостов нашли признание в республике и за рубежом. Успехи разработок работников кафедры подтверждаются более чем тремя сотнями авторских свидетельств, патентами США, Канады, Франции, Италии, Германии, Японии, Швеции, Великобритании.

За период существования кафедры выпущено более 1800 инженеров в области строительства мостовых и подземных сооружений, в том числе более 200 магистров технических наук для Европы и стран Азии, Африки, Америки.

В настоящее время кафедра «Мосты и тоннели» является единственной в Беларуси специализированным подразделением по подготовке и выпуску инженерных кадров в области проектирования, строительства и эксплуатации мостов и тоннельных сооружений.

В рамках основной специальности подготовка ведется по трем специализациям:

- 01 «Мосты»;
- 02 «Подземные сооружения, тоннели и метрополитены»;
- 03 «Содержание, реконструкция и ремонт транспортных сооружений».

Окончившие университет по этой специальности могут проектировать, строить и эксплуатировать:

- Разнообразные мостовые сооружения, виадуки. Эстакады, путепроводы;
- Тоннели и станции метрополитена, подземные автостоянки и гаражи, крупные подземные транспортные и многофункциональные комплексы.

Во время обучения студенты участвуют в проектных и научно-исследовательских работах на ведущих производственных и проектных предприятиях страны. В учебном плане особое место отводиться BIM технологиям, которые изучаются начиная с первого курса.

Ежегодно на кафедре проходят две студенческие научные конференции, в которых принимает участие более половины студентов кафедры. Публикуется более 250 тезисов-докладов белорусских и иностранных студентов.

Студенты проходят технологические и преддипломные практики у наших организаций-партнеров, таких как Мостострой, Минскметрострой. Белгипродор. Минскметропроект и другие (Рис. 2).



Рисунок 2 – Студенты на технологической практике в тоннеле метрополитена

При кафедре действует научно-исследовательская лаборатория мостов и инженерных сооружений (НИЛ МИС). Лаборатория была создана в 1979 году,

как отраслевая научно-исследовательская лаборатория искусственных сооружений на автомобильных дорогах при кафедре «Мосты и тоннели».

Научно-исследовательская лаборатория мостов и инженерных сооружений располагает современной материально-технической базой (Рис. 3) для выполнения работ по обследованию сооружений:

- Оборудование для нивелиров и обмеров конструкций сооружений;
- Оборудование для неразрушающего контроля прочности бетона;
- Оборудование для определения расположения, диаметра, и толщины бетона, защитного слоя арматуры;
- Тензометрическое и виброметрическое оборудование;
- Специальные средства для обеспечения доступа к обследуемым конструкциям.

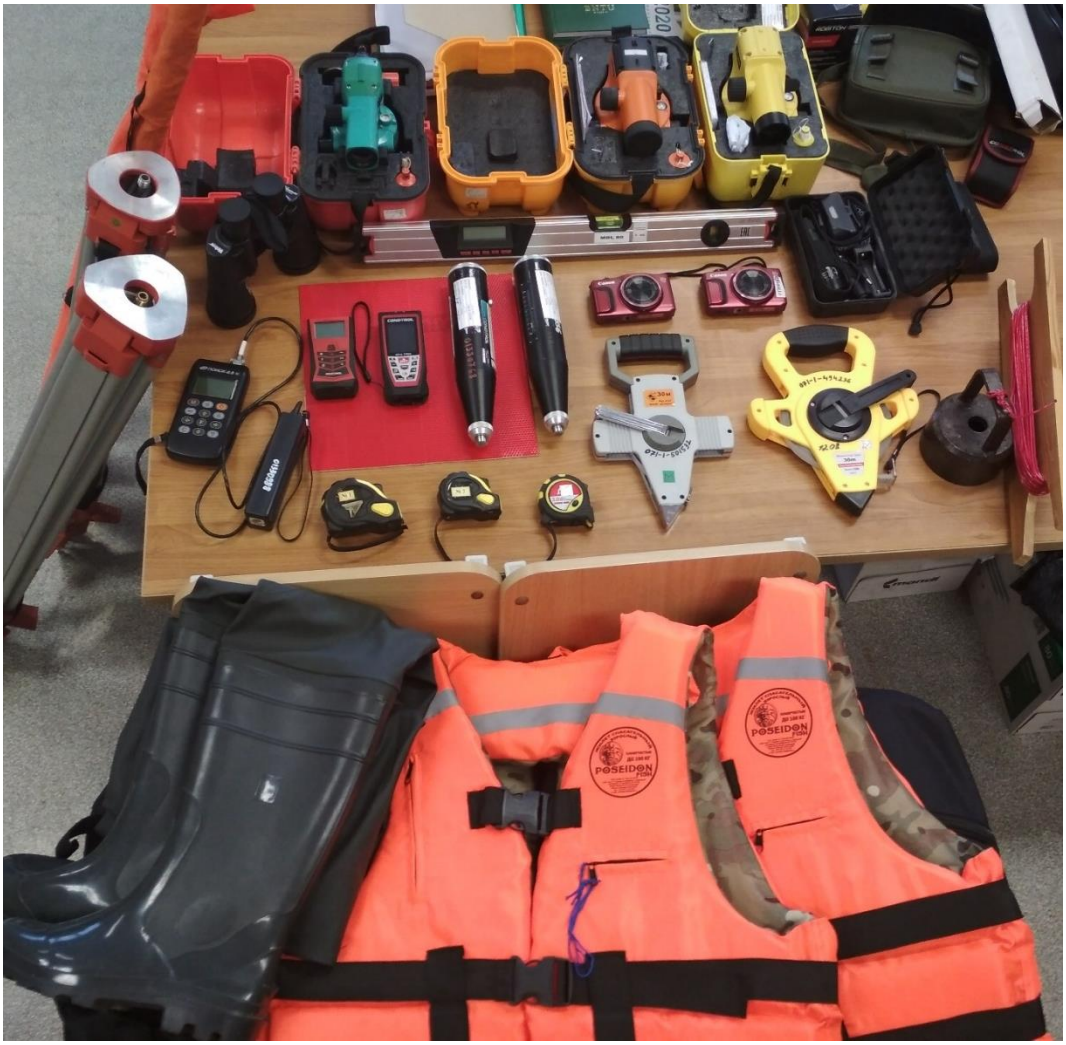


Рисунок 3 – Материально-техническая база лаборатории

НИЛ МИС проводит работы по диагностике, паспортизации и обследованию мостов, путепроводов, тоннелей, скотопрогонов, водопропускных труб на автомобильных дорогах (Рис. 4).



Рисунок 4 – Нивелировка низа пролётного строения моста с лодки в рамках обследования

Коллектив лаборатории принимал участие в специальных обследованиях больших мостов через р. Березина, р. Днепр, р. Неман, р. Березина и др. мостовых сооружений на автодорогах магистрального, республиканского и местного значения, в обследовании транспортных сооружений при вводе в эксплуатацию после реконструкции автомобильных дорог М-4 Минск-Могилев, М-5 Минск-Гомель, М-6 Минск-Гродно-граница РП и автодорог республиканского значения Р-21, Р-28, Р-23, Р-58.

УДК 624.21

Проектирование Борисоглебского моста в Tekla Structures

Ковалева Екатерина Ивановна, Гапонов Александр Сергеевич,
студенты 4 курса кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Для нашего проекта был выбран пешеходный мост, находящийся в поселке Борисоглебский, Ярославской области, Россия.

Современный мост был реконструирован в 2023 году. Пролетное строение было заменено на новое в форме неразрезной фермы, а опоры моста были реконструированы (Рис. 1). Длина пролётного строения моста составила 112 м, а центрального пролёта – 72 м, ширина – 3 м.



Рисунок 1 – Ферма моста, реконструированного в 2023 году

В определённый момент к нам в руки попали чертежи нового моста, и мы решили выполнить трёхмерную информационную модель данного сооружения. Проект мы решили реализовать в набирающей популярность программе для информационного моделирования зданий и сооружений промышленного и гражданского строительства – Tekla Structures. В число плюсов этой программы входят такие возможности, как:

- Совместимость с большим количеством программ за счёт экспорта файлов модели.

- Широкая библиотека предустановленных компонентов конструкций.

- Создание чертежей из информационной модели.

Исходя из личного опыта можно отметить, что проектирование в Tekla Structures происходит полностью в трёхмерном пространстве. В Tekla более удобно реализована система навигации, которая заметно превосходит Revit.

Это особенно ощущается во время работы в крупных моделях с множеством элементов. Вы можете в любой момент переключить вид на один из планов или фасадов удобно подстраиваясь под конкретную ситуацию, можете скрыть лишние или отобразить интересующие элементы в модели, создать сечение или по одному щелчку создать отдельный вид для конкретных элементов (Рис. 2). Имеется очень удобный инструмент фильтров вида и выбора элементов.

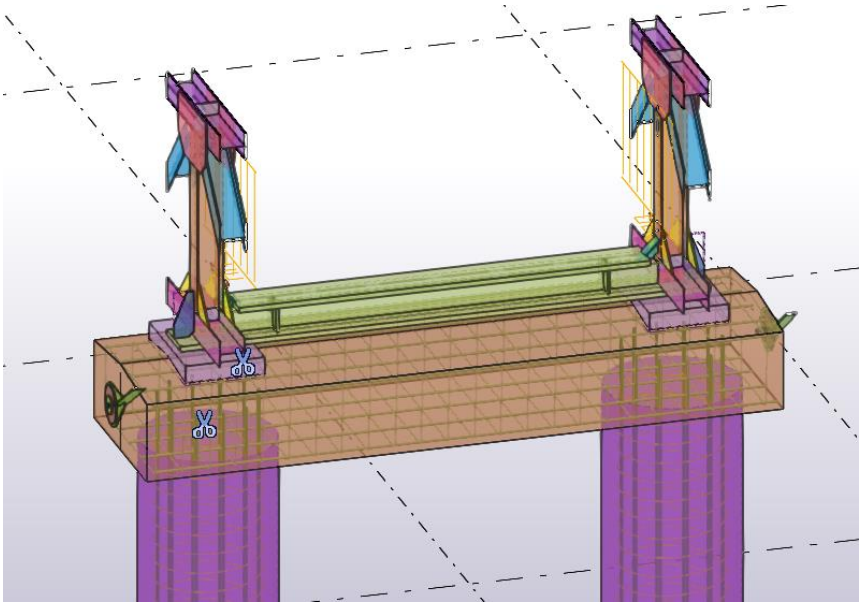


Рисунок 2 – Выделение конкретной части моста для удобной работы

Редактирование свойств элементов и их привязка к модели в Tekla реализованы более гибко. Вам не нужно думать на каком уровне и в каком виде должен располагаться объект. Вам не нужно думать каким конкретно инструментом нужно создать этот объект, чтобы без проблем взаимодействовать с ним в пространстве вашего проекта. Вы можете легко повернуть, отразить или переместить объект в необходимое вам положение.

Например, Revit вы не сможете создать покрытие мостового полотна, например, из стены, в то время как в Tekla вас ограничивает лишь ваше воображение и рациональность использования того или иного инструмента. Например, в нашем проекте закругления конусов моста были созданы с

помощью инструмента «Изогнутая стальная балка», в свойствах которой мы легко изменили материал на необходимый. (Рис. 3).

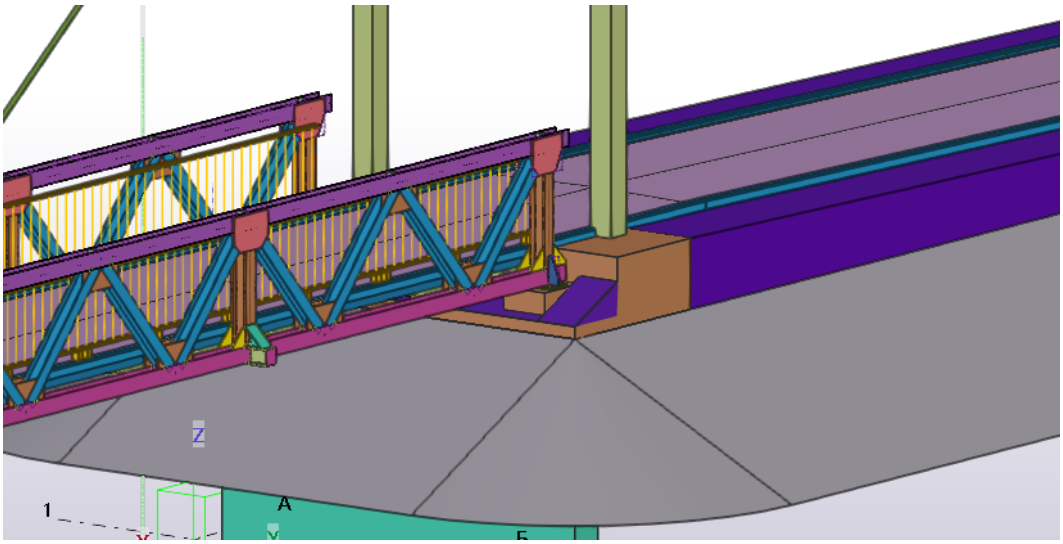


Рисунок 3 – Конус моста, воссозданный с помощью изогнутой стальной балки

Создание модели мы начали со стальной фермы. Основываясь на чертежах, были воссозданы отдельные узлы фермы, которые уже были копированы на протяжении всей фермы. Также были созданы монтажные стыки на высокопрочных болтах (Рис. 4).

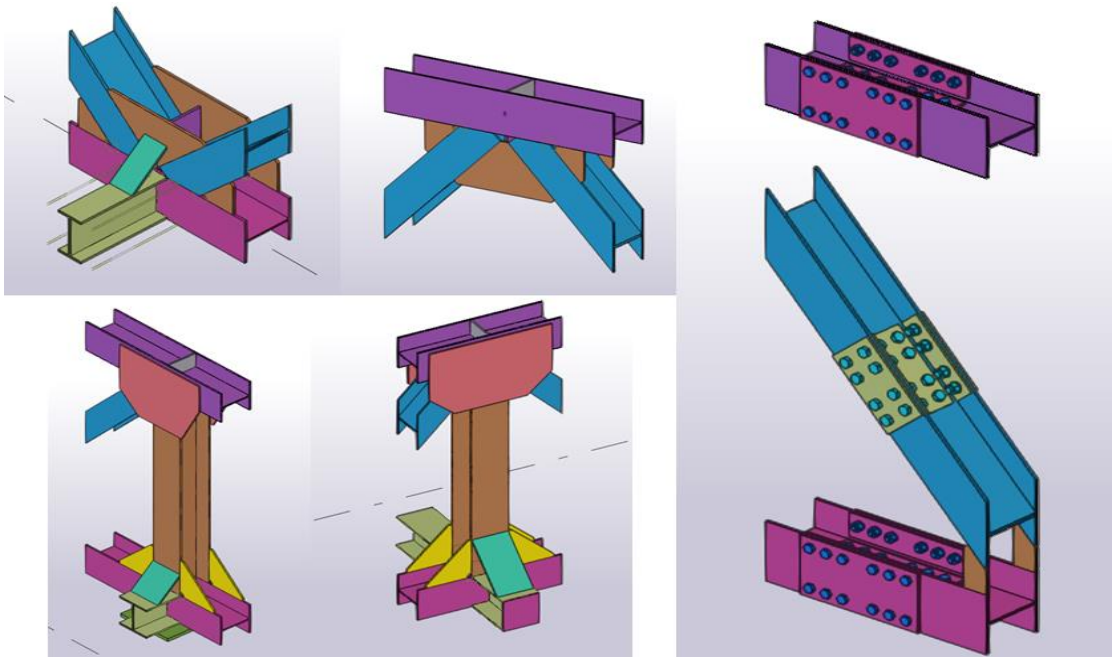


Рисунок 4 – Узлы фермы и стык на высокопрочных болтах

Для каждого отдельного элемента в свойствах мы прописывали имя, материал, класс и начальный номер. Все эти свойства важны для удобной сортировки, создания фильтров вида и выбора (Рис. 5). Особенно это важно, когда модель наполняется огромным количеством элементов. Правильная

сортировка элементов оказывается очень полезна на этапе создания чертежей и отчётов.

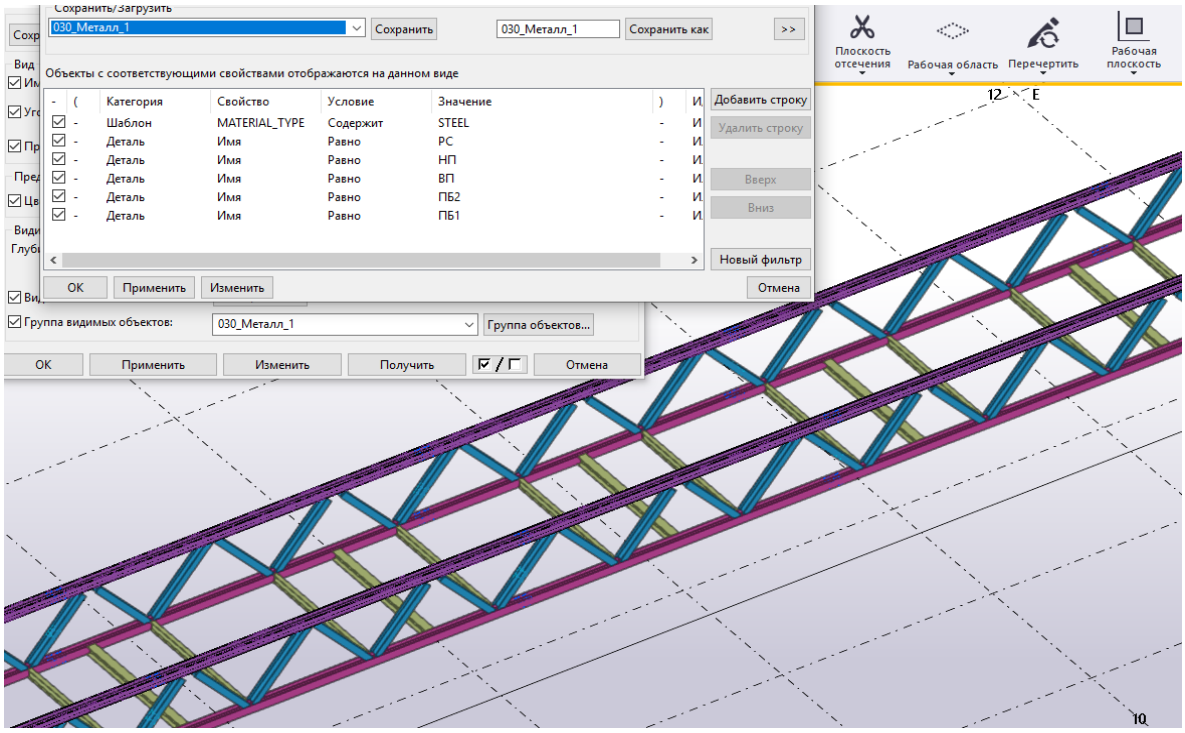


Рисунок 5 – Использование фильтра вида

В Tekla предусмотрены компоненты, сравнимые с семействами в Revit, но имеющие более удобный функционал. С помощью компонентов можно легко создать армирование любого железобетонного элемента или монтажный стык балок на высокопрочных болтах. Также вы можете создать свои собственные компоненты, в случае если вам хватает стандартных, перечень которых достаточно широк. Также вы можете скачать различные дополнительные компоненты с официального сайта.

Таким образом, с грамотным использованием всех имеющихся инструментов можно воссоздать любое сооружение. Однако мы столкнулись с проблемой создания топоплана. Программой не предусмотрено удобных инструментов для быстрого создания окружения, что является её значительным минусом. Выходом из этой ситуации служило импорт топоплана из Revit в формате IFC. Таким же образом модель из Tekla можно экспортировать в Revit, что позволяет использовать обе программы совместно. (Рис. 6).

В конце нашей работы мы получили полную 3D модель моста, построенную в соответствии с имеющимися чертежами.

При необходимости новые чертежи можно легко создать с помощью инструментов Tekla. Главной особенностью функционала программы является клонирование и шаблоны для чертежей, что значительно снижает затраты времени на большие объёмы однотипных чертежей.

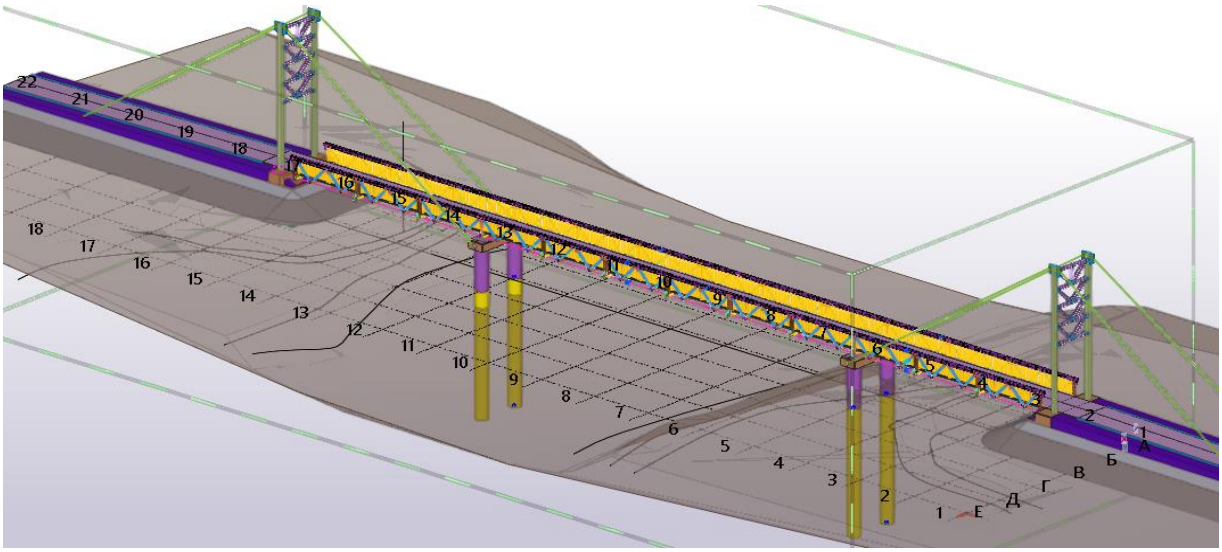


Рисунок 6 – Мост, вписанный в топоплан из Revit

Благодаря заданию свойств для каждого элемента можно быстро создать отчёт основываясь на готовых шаблонах, которые позволяют посчитать объёмы, площади, количество, отсортировать элементы по любой категории. Отчёт можно создать в блокноте и перенести в Excel, для дальнейшего анализа и удобной работы. Шаблоны отчётов также можно создавать и редактировать под каждый конкретный объект. При этом в шаблонах можно задавать формулы, для автоматического расчёта необходимых показателей.

Подытожив всё вышеописанное, исходя из личного опыта можно сказать, что Tekla Structures является очень хорошим вариантом программного обеспечения для проектирования мостов. Программа является достаточно молодым продуктом, который только набирает обороты, но уже очень удобным и практичным. Мы убедились в функциональности Tekla Structures, создав в короткие сроки информационную модель Борисоглебского моста по имеющимся чертежам.

УДК 624.21

Исследование технологии строительства надземных стальных гофрированных путепроводов при помощи аддитивной технологии

***Красноперов Захар Алексеевич**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги, мосты и тоннели»
Казанский государственный
архитектурно-строительный университет, г. Казань
Научный руководитель – Зиннуров Т.А., канд. техн. наук, доцент
кафедры «Автомобильные дороги, мосты и тоннели»

Современные инновационные технологии развиваются достаточно быстро, и все больше внедряются в различные сферы деятельности человека. В последнее время значительное внимание уделяется такой технологий, как печать объектов на 3Dпринтере, в которой используется метод послойного создания физического объекта – называемый аддитивной технологией. 3D-печать является технологией шестого технологического уклада, ее применение приведет к получению широкого положительного эффекта в экономике. Многие развивающиеся страны уже сейчас используют эти технологии в строительстве, медицине, приборостроении и т.д. Российская Федерация отстает от лидеров, но тоже старается постепенно внедряет аддитивные технологии в различные сектора экономики.

Строительство по рассматриваемой технологии целесообразно использовать при возведении монолитных конструкций на строительной площадке. Например, возведение фундаментов или пролетных конструкций мостов при помощи 3D-принтера заметно превосходят по скорости традиционные технологии, но пока не способно обеспечивать полный цикл монтажных операций.

В статьях Д.А. Лунева, Е.О. Кожевникова, Л.С. Баева и других [1, 2] выявлены основные проблемы аддитивных технологии применительно к зданиям и сооружениям. Учеными отмечается: дорогостоящие расходные материалы; невысокая точность изготовления при быстрой печати; относительно низкая прочность объектов; необходимость в отделке поверхности, но также выделены следующие положительные качества: изготовление модели объекта в рамках одного технологического процесса; возможность изготовления объекта любой формы, иногда даже непосильные другим технологиям; низкая стоимость печати строительных конструкций; применением экологически чистых

строительных процессов; снижение травматизма на строительной площадке; экономия времени [3].

В своей работе С. Бьюкенен и Л. Гарднер [4] утверждают, что не сегодняшний день аддитивное производство отлично работает в режиме низкого спроса с высокой точностью исполнения сложных изделий. При этом аддитивное производство включает широкий спектр материалов (полимеры, бетон и металл) и рассматривается в качестве жизнеспособной технологии для любых сооружений.

Конечно, ожидается, что технология 3D-печати первоначально будет стоить дороже, чем традиционные методы строительства [5]. Необходимо будет разработать и закупить новое дорогостоящее оборудование, сформировать новые технологические процессы, подобрать материалы не только с необходимыми прочностными, но и реологическими свойствами, а главное перейти к цифровой форме проектирования и дизайна конструкций. Формоизменение мышления и подходов проектировщиков может подарить миру совсем новые и инновационные конструктивные решения зданий и сооружений [6].

Потенциально технология аддитивного строительства может помочь строительной отрасли сделать качественный скачек, для этого необходимо проработать технологический процесс и правильно подобрать материалы.

Главной целью исследования выполнить оценку возможности использования аддитивной технологии строительства в реализации конструктивных решений мостовых сооружений на автомобильных дорогах. Замена дорогостоящей и материалоемкой технологии строительства надземных металлических путепроводов на более легкие в производстве гофрированные спиралевидные металлические трубы с реализацией аддитивной технологии на строительной площадке

В рамках исследования поставлены следующие задачи: разработка технологии надвижки пролетного строения из гофрированных спиралевидных металлических труб; для надземного путепровода с использованием аддитивных технологий; определение области применения аддитивных технологий с применением гофрированных спиралевидных металлических труб; развитие аддитивных технологии: в отрасли строительства с применением гофрированных спиралевидных металлических труб; адаптация конструктивных форм и решений под условия строительства при помощи аддитивных технологий.



Рисунок 1 – Экономическое процентное распределение ресурсов при производстве работ по строительству классического путепровода



Рисунок 2 – Экономическое процентное распределение ресурсов при производстве работ по строительству путепровода с использованием гофрированной спиралевидной трубы в качестве пролетного строения

На первой диаграмме представлен график распределения финансовых ресурсов по основным частям путепровода. Можно заметить, что основную долю стоимости занимает классическое материалоемкое и тяжелое пролетное строение. Ценовые показатели между первой и второй диаграммой по: цене обшивки, цене фундамента и цене опор не менялись, в связи с их типовым

исполнением. Глядя на вторую диаграмму видно, что происходит процентное перераспределение финансовых ресурсов, практически в равном соотношении по 3 из 4 основным направлениям работ, что говорит нам об экономической выгодности менее материалоемкого, более легкого и универсального метода производства пролета из гофрированных спиралевидных металлических труб. Анализируя эти диаграммы, можно заметить, что классическая технология строительства является более дорогостоящей в связи с трудностями монтажа, использованием крана, логистики, а также материалоемкости элементов.

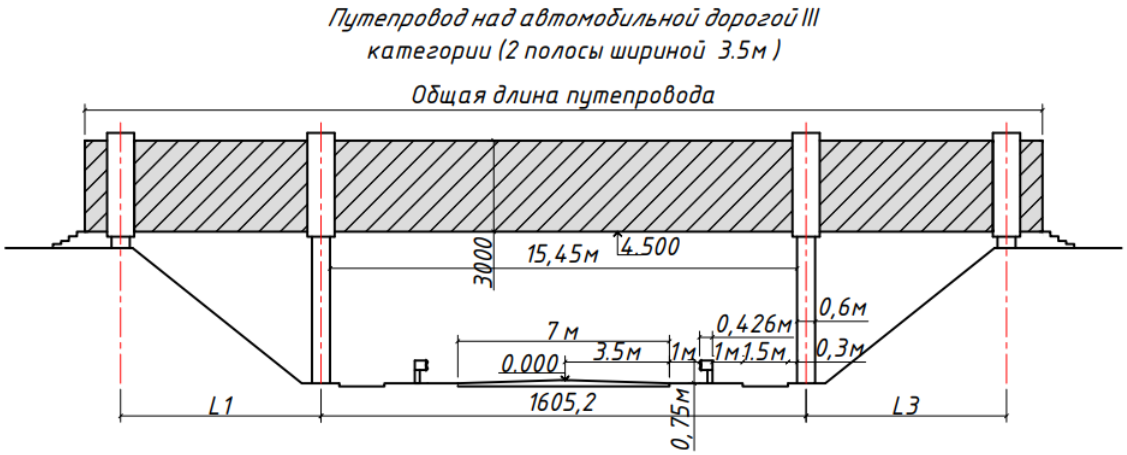


Рисунок 3 – Типовая модель путепровода над автомобильной дорогой III категории

Типовая модель представляет собой путепровод, который исполнен с использованием технологии производства работ с производством гофрированной спиралевидной металлической трубы на строительной площадке, вращательным, поступательным движением, надвигающимся на опорные конструкции, с последующим закреплением на опорах. Данный процесс происходит до полного перекрытия пролетов самим пролетным строением, с последующей фиксацией во всех опорных и потенциально опасных точках.

Данный подход к решению классической задачи по возведению путепровода можно считать инновационным по ряду следующих причин:

Применение 3D-печати и других аддитивных процессов, тесно связанных с производством работ, а также с изготовлением как отдельных закладных деталей, так и крупногабаритных цельных конструкций, позволяет существенно упростить и ускорить процессы изготовление и монтажа сложных конструкций. Данные показатели помогают значительно снижать как общее время производства работ по реализации объекта, так и экономической составляющую.

Гофрированная структура представляет собой инновационное решение в области материаловедения, которое позволяет достичь высокой прочности и жесткости при значительно уменьшенном весе. Благодаря уникальной геометрии, которая обладает определенной степенью упругости, такие

конструкции способны эффективно распределять нагрузки и противостоять деформациям. Это свойство делает гофрированные материалы особенно привлекательными для применения в строительстве, промышленности и других отраслях, где важна надежность и долговечность. Уменьшение нагрузки на опорные конструкции способствует более рациональному использованию ресурсов и снижению затрат при строительстве. Более того, облегченные элементы проще обрабатывать и устанавливать, что ускоряет весь процесс монтажа и сокращает временные затраты. Таким образом, гофрированные структуры представляют собой эффективное решение, объединяющее в себе прочность, легкость и экономическую выгоду.

Аддитивное производство, революционизирует подход к разработке и производству объектов, предоставляя возможность легко и быстро модифицировать конструкции. Этот процесс основан на поступательном - послойном выходе готовой продукции, что позволяет вносить изменения на любом этапе разработки, будь то изменение геометрии, интеграция новых функциональных элементов или переключение. Возможность быстрой прототипизации и тестирования различных дизайнерских решений в краткие сроки существенно снижает время разработки и затраты, а также открывает новые горизонты для инноваций. Таким образом, аддитивное производство способствует созданию более адаптивных и индивидуализированных решений, что особенно важно в условиях быстро меняющегося рынка. Осуществляя проектирование, производство и установку, можно создать более эффективные логистические цепочки, что дополнительно снижает сроки и затраты.

Таким образом, проект по разработке технологии строительства надземных стальных гофрированных путепроводов с применением аддитивных технологий представляет собой значительный шаг вперед в области строительства, предлагая новые решения для современных требований и вызовов. Технология имеет большой потенциал для улучшения процесса строительства надземных стальных гофрированных путепроводов. Ее применение может привести к значительным улучшениям в эффективности и экономичности строительства инфраструктурных объектов и стать перспективным направлением для развития строительной отрасли.

Литература:

1. Баева Л.С., Маринин А.А. Современные технологии аддитивного изготовления объектов // Вестник МГТУ. 2014. №1. С. 7-12.
2. Лунева Д.А., Кожевникова Е.О., Калошина С.В. Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2017. № 1. С. 90-101.

3. P. Wu, J. Wang, X. Wang, A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry // Autom. Constr. 2016.Vol. 68. P. 21-31.
4. Зиннуров Т.А., Красноперов З.А., Мусонго Мервель Оценка возможности применения аддитивных технологий при строительстве мостов // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. 2024. № 1 (5). С. 16-24. EDN: LNXHKK.

УДК 624.21

Эстетика мостовых сооружений Санкт-Петербурга

Крыкова Лада Львовна, Витущенко Владимир Александрович,
студенты СГТУ имени Гагарина
Научный руководитель – Овчинников И.И., доцент
кафедры «Транспортное строительство» СГТУ имени Гагарина

16 мая 1703 года был заложен город на Неве. Для того, чтобы строить транспортные сооружения в довольно сложных условиях, требовались постоянные укрепления грунтов и создание крепких и надежных опор. Изначально мостов в городе и вовсе не планировалось. Петр Первый хотел создать русскую Венецию, где жители переплавлялись бы на лодках, паромах и плавучих переправах, а также стремился приучить свой народ к морскому делу, а потому запрещал строить мосты. Однако первые мосты, деревянные – появились еще в петровские времена, а позже мостовые переходы стали неотъемлемой частью города.

Строительство первых жилых домов на правом берегу началось одновременно с заложением Петропавловской крепости на Заячьем острове. Петровский наплавной деревянный мост, первый в Санкт-Петербурге, был построен для соединения крепости с домами. Для поддержания настила моста использовались специальные деревянные барки - плашкоуты. Историки Бунин и Степнов считали, что такое решение могло иметь важное оборонительное значение, так как в случае военной угрозы мост можно было бы поджечь [1]. В 1706 году был отремонтирован мостовой переход к Петропавловской крепости, требовавший более прочной конструкции из-за развития строительства. Несмотря на то, что сам настил оставался деревянным, он уже опирался на свайно-подкосную конструкцию. В дальнейшем, в 1738 году, мост снова был перестроен, с оборудованием каменными арками по берегам. Эти арки до сих пор служат устоями для современного Иоанновского моста (рис.1), соединяющего Иоанновские ворота Петропавловской крепости с Петроградской стороной. Пять пролётов со стороны крепости и три с Петроградской стороны были перекрыты арками из бутовой плиты. Восемь средних пролётов были деревянными на каменных опорах. Сейчас от первоначального образа осталось мало – на опорах покоятся уже стальные балки, однако сами опоры держатся до сих пор, а мостом и по сей день пользуются туристы, желающие посетить Петропавловскую крепость. В 1953 году, когда велась подготовка к празднованию 250-летия города, Иоанновский мост не обошли стороной – на нем были установлены

новые металлические фонари и ограда, выполненные по чертежам архитектора А.Л.Ротача. (рис.2). Позже, в 2001-2003 и в 2016-2017 годах проводились ремонты моста, включающие замену настила, облицовку устоев и аркад, реставрацию перильных ограждений и фонарей, а также усиление и защиту полукруглого свода химическим составом.



Рисунок 1 – Прибрежные каменные устои Иоанновского моста (https://stranabolgariya.ru/foto/ioannovskij-most-petropavlovskoj-kreposti.html)



Рисунок 2 – Украшение Иоанновского моста фонарями и перильными ограждениями (https://picsy.ru/photo/ioannovskij-most-fonar-42807611)

Чуть позже Иоанновского началось строительство **Исаакиевского моста**, так же имевшего наплавную конструкцию (рис.3). Он был построен в 1727 году из 26 деревянных барок-плашкоутов, позже был разобран в сентябре того же года для улучшения судоходства. В 1732 году появился новый мост, который, однако, был утоплен во время шторма из-за слабых барок. Мастера Соловьев и Стеклов навели мост на специальных плашкоутах в 1733 году, и он прослужил до 1820-х годов. Для создания ансамбля Сенатской площади потребовалось перестроить мост, и в 1821 году был открыт новый мост, облицованный каменными устоями, продолжающий набережную.

В 1824 году наводнение уничтожило мост, а в то время уже готовились планы по строительству знаменитого Дворцового моста чуть ниже по Неве. Пока строился новый мост, Исаакиевская переправа была восстановлена. 11 июля 1916 года наплавной мост прекратил свое существование из-за пожара, который возник от искры, попавшей в плашкоут с керосином на проходящем мимо буксире. И так закончилась история этого моста.

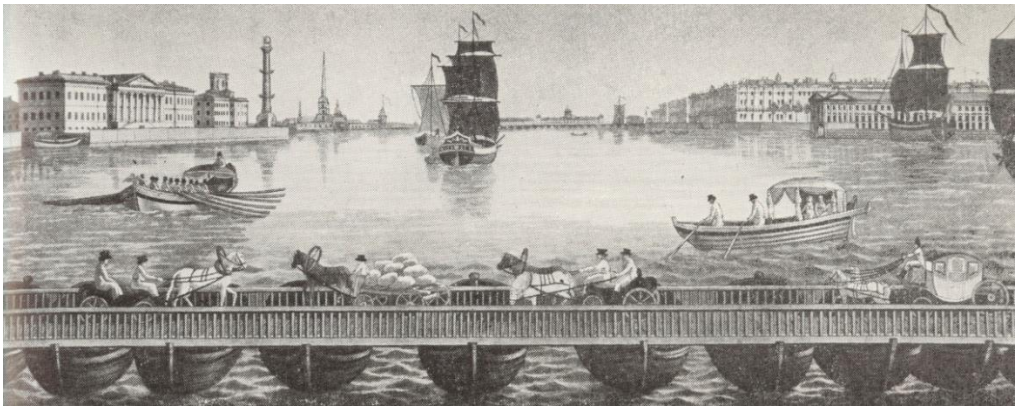


Рисунок 3 – Исаакиевский наплавной мост
(https://catalog-photo.ru/исаакиевский-мост-фото/)

Позднее появившийся на месте Исаакиевского – **Дворцовый мост**, является самым узнаваемым и любимым среди туристов, как визитная карточка Санкт-Петербурга, он красуется на большинстве открыток, магнитов и фотографий города.

История легендарного моста началась еще в 1856 году, когда инженер И.К. Герард занялся перемещением Исаакиевской наплавной переправы. Новый мост пролег от Дворцового проезда до Биржевой площади (рис.4) На тот момент он был уже с чугунными торшерами, с фонарями в виде шестигранных пирамид, а также деревянными береговыми опорами и перилами. Вскоре, в честь близлежащего Зимнего дворца, мост был назван Дворцовым. Прочностью первый мост не отличался, поэтому его постоянно разбирали во время ледоходов, от чего со временем он начал все сильнее и сильнее разрушаться, а потом и вовсе затонул.

Конкурс на создание новой (рис.5), более существенной переправы, продолжался с 1901 по 1911 год, целых десять лет. Андрей (Анджей) Пшеницкий, заслуживший победу, приступил к воплощению своих идей. В начале проекта было решено поручить Р. Ф. Мельцеру выполнение архитектурного оформления по указанию президента Академии художеств. Его концепция включала в себя уникальные детали: роскошные перила с изысканным узором и двусторонними украшениями из массивного листового железа, декоративные карнизы с изысканными элементами, а также восемь

фонарей со сложной ковкой. Кроме того, на широких опорах предполагалось установить четыре огромных фонаря-маяка высотой 14 саженей, оборудованных подъемными механизмами для посетителей и балконами вокруг. После долгих лет строительства мост был торжественно открыт 23 декабря 1916 года.

На данный момент мост имеет 5 пролетов с центральным двукрылым разводным. Центральный пролет оснащен электромеханикой и системой противовесов. Длина моста 255,05 метров, в разведенном состоянии он способен пропускать суда до 30 метров в высоту, при том, что постоянна высота сводов - 6 метров. Общий вес металлоконструкций составляет 7 700 тонн. С правого берега Невы устой моста держится на сваях из дерева, а с левого – на кессонах. Его спуск к воде, украшенный львами - одна из самых известных достопримечательностей города (рис.6).

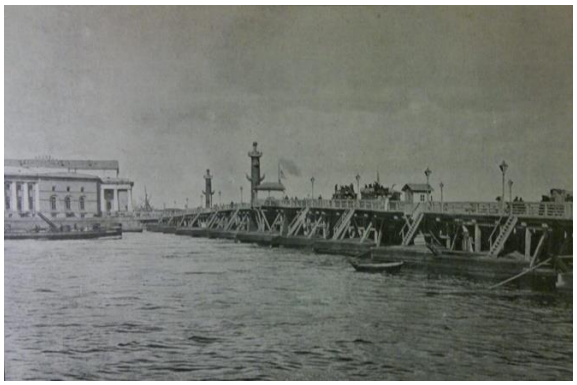


Рисунок 4 – Исаакиевская переправа 1856 года (https://dzen.ru/a/X4impjLPAxRi8bi9)



Рисунок 5 – Дворцовый мост в наше время (https://fotosharm.ru/turizm/samyy-shirokiy-most-v-mire)



Рисунок 6 – Скульптура льва на Дворцовом мосту (https://fotosharm.ru/turizm/samyy-shirokiy-most-v-mire)

Именно мосты стали самой узнаваемой и примечательной особенностью эстетики Санкт-Петербурга. Благодаря разработкам и проектам архитекторов, инженеров и скульпторов переправы гармонично дополняют образ города.

Некоторые из мостов настолько хорошо вписаны во внешний облик Северной столицы, что бывает сложно их заметить. Речь идет о широких мостах, которые на первый взгляд могут показаться частью улицы или площади.

Самым широким в городе является **Синий мост** (рис.7). Его ширина составляет 97,3 метра при длине всего в 29,4 метра, перекрытых однопролетным чугунным сводом. В 1929-1930 годах чугунные арки с низовой стороны были заменены на железобетонные, а устои моста сохранены старые. Мост на ансамбле Исаакиевской площади, построенный в 1842 году, представляет собой двухшарнирную арку с сохранившейся чугунной частью. Его устои облицованы гранитом и служат продолжением набережной, а перильные ограждения повторяют узор решетки на берегу. В конце 19 века гранитные обелиски Гесте были заменены, и мост был украшен фонарями, которые точно копируют фонари Моста Александра 3 в Париже (рис.8).

С 1737 года на Исаакиевской площади был построен маленький подъемный деревянный мост. В 1805 году началась реконструкция моста под руководством Гесте, но из-за войны завершение работ задержалось до 1818 года. К тому времени мост уже был вдвое уже, чем сейчас. В 1845 году дочь Николая 1 переехала в Мариинский дворец, и перед его строительством мост был расширен до современных размеров. Задуманную работу выполнили инженеры Е. А. Адам и А. Д. Готман. Сегодня ширина моста позволяет использовать противоположный памятнику Николаю I участок для парковки, что. К сожалению, не соответствует идеалам сохранения архитектурного облика города.



Рисунок 7 – Синий мост (https://fotosharm.ru/turizm/samyy-shirokiy-most-v-mire)



Рисунок 8 – Фонарные столбы Парижского моста (https://domdecor74.ru/catalog/fotooboi/20413/)

Примечательно, что не только Синий мост получил «цветное» название. Изначально в Санкт-Петербурге было 4 таких моста – Красный, Зеленый, появившийся раньше всех и получивший свой окрас самым первым, в 1735 году, и Желтый мост, который уже в наше время называется Певческим. Все 4 переправы пересекают реку Мойка и находятся довольно близко друг к другу. Поначалу жителям было тяжело различать довольно схожие внешне мосты, и именно поэтому было принято решение об их покраске.

Зеленый мост (рис.9) был одним из первых деревянных мостов Санкт-Петербурга. В 1806 году было принято решение о его перестройке в однопролетный арочный мост. Это был первый транспортный мост в городе, построенный из чугуна. Разработанный на его основе типовой проект металлического моста в 1807 году стал первым в истории мостостроения [2], и именно по его примеру были построены другие цветные мосты города (рис.10). В начале 19 века были проведены работы по расширению моста, что привело к увеличению количества полос движения до 8. Пешеходные зоны были вынесены на специальные консоли по проекту А. Д. Готтана, а гранитные обелиски были заменены на более скромные фонарные столбы. Опоры были расширены при последующем расширении моста под трамвайные пути, и к ним было добавлено по пять рядов коробчатых арок с каждой стороны. Фасады были украшены орнаментами, а вместо чугунных фонарных столбов были установлены позолоченные железные канделябры с шестигранными фонарями. Работы по проекту были завершены в период с 1904 по 1907 годы инженерами В.А. Берсом, А.Л. Становым, А.П. Пшеницким и архитектором Л.А.

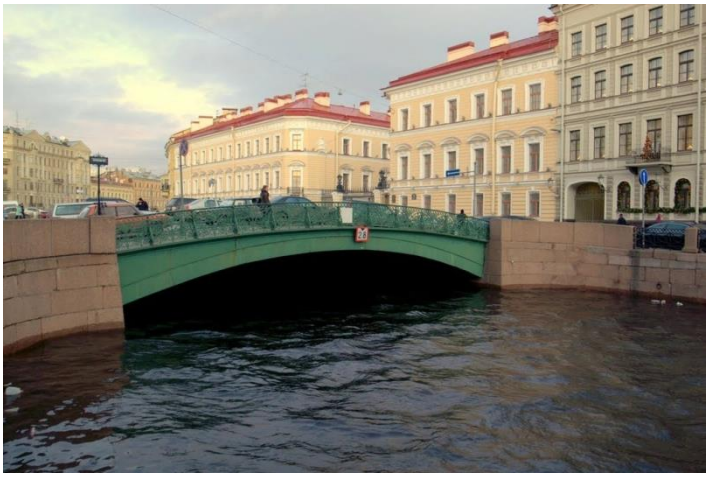


Рисунок 9 – Зеленый мост
(https://bangkokbook.ru/foto/blagoveschenskij-most-staroe.html)

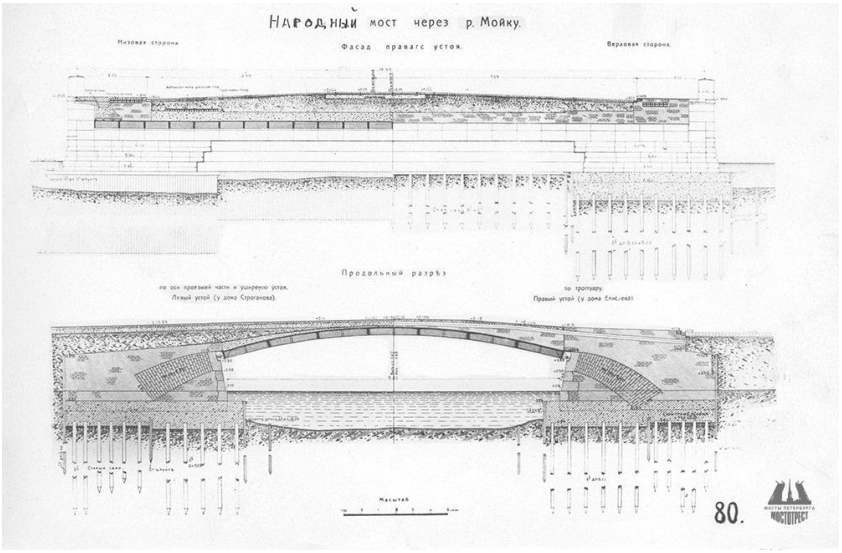


Рисунок 10 – Проект Зеленого моста
(https://mostotrest-spb.ru/bridges/zelenyj)

Из-за наличия многочисленных водоемов, мосты обязаны не только обладать высокими архитектурными достоинствами, иметь красивый внешний облик и эстетично вписываться в окружающую среду, но и быть надлежащего качества и отвечать всем необходимым требованиям по прочности и надежности. Важнейшая задача для инженера – создать такое архитектурное решение, при котором несущая конструкция станет еще и уникальным элементом украшения.

Примером такого решения можно смело назвать проект российского инженера Станислава Валериановича Кербедза – **Благовещенский мост** [7], первый в истории России разводной мост (его первоначальный облик можно увидеть на рисунке 11, а то, как выглядит мост в наши дни – на рисунке 12). В 1842 году было решено начать строительство первой в Санкт-Петербурге постоянной переправы, которая соединяла бы Васильевский остров и нынешний Адмиралтейский район. Ось моста проходит по границе река-море, по водоразделу между Финским заливом и Большой Невой. С залива в город приходили крупные суда с высокими мачтами, в связи с чем и было принято решение о создании двукрылой разводной конструкции в одном из пролетов, тогда впервые в мире использовали раскосные фермы для строения крыльев моста. Мост имеет восемь пролетов, семь из которых являются постоянными и перекрыты двухшарнирными чугунными арками. Длина разводного пролёта 51,2 м. Максимальный проектный угол раскрытия крыла 72º. Общая длина переправы – 349,8 метров, ширина – 38,07 метров. Масса крыльев разводного пролета составляет 597 тонн каждое. Общий вес металлоконструкций — 4360 тонн. Все металлические конструкции изготовили в Петербурге на заводе Чарльза Берда. В 2005-2007 году прошла реконструкция моста – крылья были

оперты на концы ферм постоянных пролетов, что позволило снять часть веса с разводного пролета, после чего пропала необходимость перестройки его опор.

Арочные конструкции моста прекрасно гармонируют с окружающей городской средой и близлежащей архитектурой, а также обеспечивают возможность высокой нагрузки, так как являются несущими конструкциями данного сооружения. Еще одним украшением Благовещенского моста являются перильные ограждения, разработанные по уникальному проекту архитектора Александра Брюллова, основным элементом их рисунка являются гиппокампы - мифологические морские лошади с рыбьими хвостами, что так же хорошо подчеркивает морскую тему и соседство с финским заливом (рис.13).



Рисунок 11 – Благовещенский мост в первые годы эксплуатации (https://bangkokbook.ru/foto/blagoveschenskij-most-staroe.html)



Рисунок 12 – Благовещенский мост в наши дни (https://photocentra.ru/work.php?id_photo=649103&id_auth_photo=28256)



Рисунок 13 – Гиппокамы на перильных ограждениях Благовещенского моста (https://bangkokbook.ru/foto/blagoveschenskij-most-staroe.html)

Количество мостов в городе на Неве постоянно растет, в данный момент в Санкт-Петербурге насчитывается около 437 мостов, из которых половина – пешеходные. Пешеходные мосты, как правило, подвергаются меньшей нагрузке, не являются столь длинными, как аналогичные транспортные сооружения и, следовательно, при их создании можно больше внимания уделить внешнему виду и эстетике.

Одними из самых узнаваемых пешеходных мостов Санкт-Петербурга можно назвать Львиный и Банковский мосты, украшенные в устоях скульптурами животных.

Львиный мост (рис.14) был построен в 1826 году внутри старого Петербургского квартала. Небольшого размера, длиной 27,8 метров, с деревянным настилом и литыми чугунными перилами, он был предназначен для пешеходов, и жители пользуются им до сих пор. Изначально, конструкция состояла из цепей и скульптур, обеспечивая не только дополнительную прочность переправы, но и эстетическое украшение. Однако в 1948 году в ходе реконструкции деревянные балки моста были заменены на металлические двутавры, при этом цепи остались лишь декоративным элементом. В 1838 году немецкий архитектор Л. Ф. Гессе представил проект первого висячего мостового сооружения в Берлине - уменьшенной копии Львиного моста. (рис.15)

Главное украшение моста - скульптуры львов, над ними в 1825 году работал академик П.П.Соколов. Теперь чугунные скульптуры являются частью городской легенды – жители верят, что, если коснуться лап двух рядом сидящих львов, загадав желание, оно обязательно исполнится.



Рисунок 14 – Львиный мост (https://catalog-photo.ru/львиный-мост-в-санкт-петербурге-фото/)

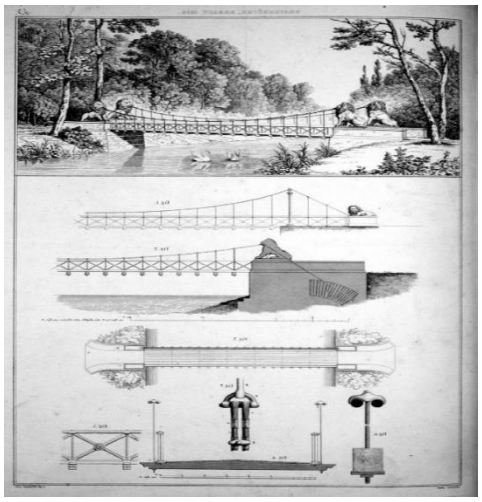


Рисунок 15 – Чертёж моста «Лёвенбрюкке» Людвига Гессе (https://ru.wikipedia.org/wiki/Львиный_мост_(Санкт-Петербург)#/media/Файл:Berlin_Loewenbruecke_Hesse_AA.jpg)

Параллельно с возведением Львиного, велись работы по строительству **Банковского моста** (рис.16). Идею подвесных мостов активно продвигал главный инженер и автор моста Вильгельм фон Треттер. Небольшая пешеходная переправа получилась всего с одним балочным пролетом длиной 28 метров. Две коробчатые балки составляют пролетное строение, а чугунные рамы,

выполняющие функцию пилонов, украшены скульптурами, разработанными П.П. Соколовым по настоянию Треттера. Крылатые львы, являющиеся мифическими существами, были задуманы хранителями Государственного банка ассигнаций, где когда-то хранился золотой резерв страны.

Вокруг львов с позолоченными крыльями ходят легенды о том, что, прикоснувшись к ним, можно привлечь удачу. Жители часто вкладывают в пасть львам записки с желаниями, уверенные в их исполнении. Реставрация львов проводилась в 1988 году из-за стирания золотого покрытия, но следующая позолота, сделанная в 2019 году, была почти мгновенно соскоблена после окончания работ.

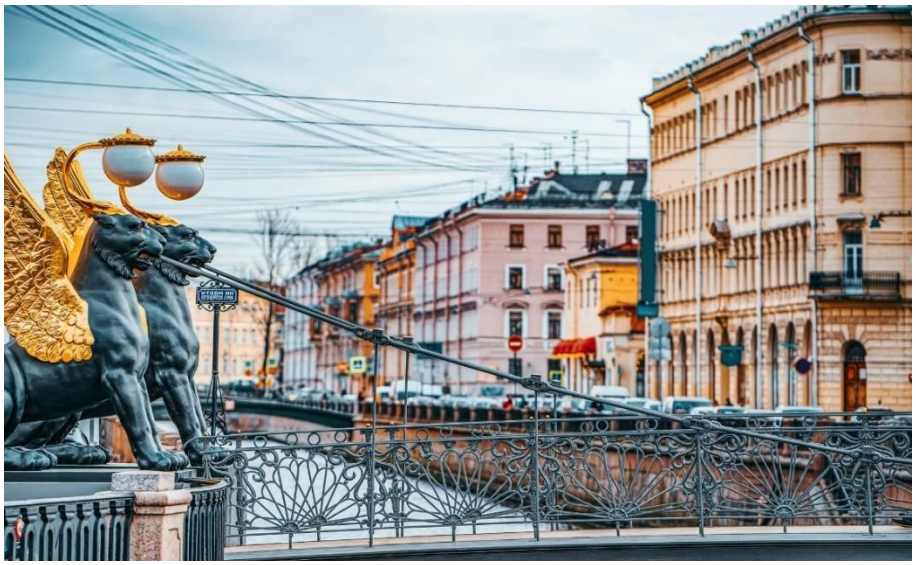


Рисунок 16 – Банковский мост
(https://29palms.ru/index.php?link=bank-bridge&start=1&page=1)

Скульптуры на устоях можно увидеть на многих мостах Петербурга. Одним из самых живописных и узнаваемых можно назвать **Аничков мост** (рис.17). Это один из старейших мостов города, так хорошо сохранившихся. Он был построен к маю 1716 года. На тот момент Фонтанка была гораздо шире, чем в наши дни, еще и имел болотистую пойму внушительных размеров, и все это было необходимо перекрыть переправой для пешеходов и транспорта, поэтому длина моста составила около 200 метров. Первоначально мост был деревянным и состоял из трех пролетов.

Современный Аничков мост был построен в период с 1784 по 1785 год по проекту архитектора Василия Баженова. В это место был размещен строительный отряд, который подчинялся подполковнику Михаилу Аничкову. Именно в его честь и был назван мост. Считается, что мост был одним из типовых деревянных мостов того времени - с обшивкой из досок, украшенных под старинные каменные арки. Позднее, по плану Баженова, мост был расширен

и краевые пролеты были облицованы камнем, а раздвижной пролет был заменен на обычный, так как Фонтанка обмельчала, и больше не нужно было пропускать по ней большие суда.

С начала XIX века и в течение двух лет проводились работы по переустройству старого моста, который до сих пор стоит непоколебимо. Была проведена разборка узкого старого моста, замененного трехпролетной каменной переправой, перекрытой кирпичными сводами. Арочные конструкции обеспечивают высокую прочность и позволяют проходить большому количеству пешеходов и автотранспорта, а также способны пропустить небольшие прогулочные лодки. Отделка моста выполнена из качественного розового гранита. Узор на перилах, изображающий морских коней и русалок, разработал известный архитектор Брюллов, вдохновленный работой Карла Шинкеля над перилами Дворцового моста в Берлине. (рис. 19)

Самая главная особенность переправы – это композиция укрощения коней человеком (рис.18). По задумке композиция состоит из 4х этапов усмирения человеком дикого коня. Если приглядеться, двое животных изображены неподкованными, а другие два уже подкованными. Это тоже было задумано их скульптором Клодтом, так как в конце Литейного переулка в те времена была кузница.



Рисунок 17 – Аничков мост
(https://photo.gradpetra.net/views/33535.html)



Рисунок 18 – Скульптуры на Аничковом мосту
(https://dzen.ru/a/YrHrbTCBnhH-z6CN)

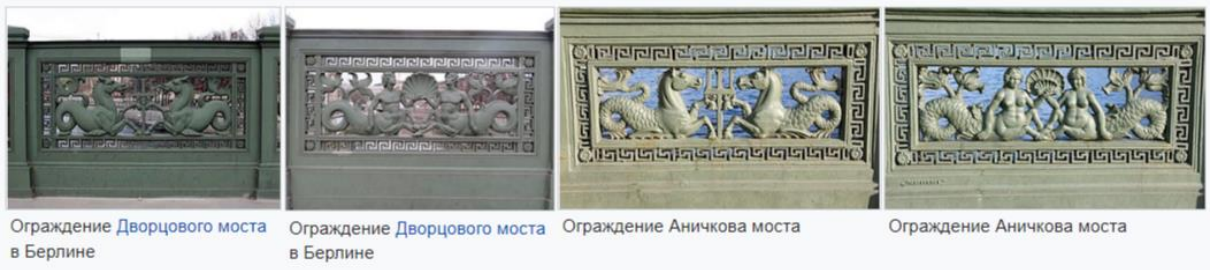


Рисунок 19 – Перильное ограждение Аничкова и Дворцового моста
(https://ru.wikipedia.org/wiki/Аничков_мост)

Вывод: мостовые переправы начали возводиться в Санкт-Петербурге практически с самого основания города, они оказались неотъемлемой его частью, прекрасно влились в облицовку всех набережных города и помогли создать неповторимый и всем знакомый образ северной столицы. Конструктивные решения Кербедеза, Брюллова, Баженова, Ротача, Готмана и других архитекторов и инженеров до сих пор способны выдерживать современный поток людей и транспорта, и, можно надеяться, что они еще надолго останутся в истории и будут узнаваемы далеко за пределами города.

Литература:

1. Щусев П. В. Мосты и их архитектура. — М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1953. — С. 267. — 360 с.
2. А. Л. Пунин. Архитектура отечественных мостов. — Л.: Стройиздат, 1982. — С. 10. — 152 с.
3. Неустроева, Ю. Д. Эстетика мостового сооружения как один из способов повышения его качества / Ю. Д. Неустроева, И. Г. Овчинников // Транспортные сооружения. — 2020. — Т 7. — № 1. — URL: https://t-s.today/PDF/18SATS120.pdf. — DOI: 10.15862/18SATS120. (дата обращения: 18.03.2024).
4. Овчинников, И. И. Влияние инноваций на эстетику мостовых сооружений / И. И. Овчинников, И. А. Горбачева, И. Г. Овчинников // Транспортные сооружения. — 2019. — Т 6. — № 1. — URL: https://t-s.today/PDF/01SATS119.pdf. — DOI: 10.15862/01SATS119. (дата обращения: 18.03.2024).
5. Пульников, В. А. Развитие эстетики мостов на востоке / В. А. Пульников, И. Г. Овчинников // Вестник Евразийской науки. — 2023. — Т 15. — № 3. — URL: https://esj.today/PDF/59SAVN323.pdf (дата обращения: 18.03.2024).
6. Распоряжение №07.19-382/17 Комитета по государственному контролю, использованию и охране памятников истории и культуры: «Об утверждении охранного обязательства Собственника или иного законного владельца объекта культурного наследия федерального значения «Мост Львиный», включенного в единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации»
7. Благовещенский мост (мост Лейтенанта Шмидта). НПП «Промтрансавтоматика». Архивировано 7 ноября 2017 года.

УДК 691.175

Отечественный опыт применения современных полимерных композиционных материалов в мостостроении

Крыкова Лада Львовна, Витущенко Владимир Александрович,
студенты СГТУ имени Гагарина

Полимерные композитные материалы (ПКМ) становятся все более актуальными в области мостостроения благодаря своим выдающимся свойствам, таким как высокая прочность, легкость, коррозионная стойкость и долговечность. Эти характеристики делают ПКМ идеальными для создания современных мостовых конструкций, способных выдерживать значительные нагрузки и экстремальные климатические условия.

В последние годы отечественная промышленность активно внедряет полимерные композиты в строительство мостов, что позволяет не только улучшить эксплуатационные характеристики объектов, но и сократить сроки их возведения. В данном докладе мы рассмотрим отечественный опыт применения ПКМ в мостостроении, проанализируем успешные проекты и технологии.

1. 1980-е годы: Первые эксперименты

- В это время начались первые эксперименты с использованием стеклопластиков и углепластиков в мостах. Исследователи отмечали их легкость, высокую прочность и устойчивость к коррозии.

- Первые прототипы мостов из ПКМ были построены в Европе и США, но их применение было ограничено из-за недостатка знаний о долговечности и поведении этих материалов в условиях эксплуатации.

2. 1990-е годы: Увеличение интереса

- В 1990-х годах интерес к ПКМ в мостостроении начал расти. Исследования показали, что композиты могут значительно снизить вес конструкций, что позволяет уменьшить нагрузки на опоры и фундаменты.

- Появились первые мосты, полностью выполненные из ПКМ, такие как мосты с использованием углеродных волокон, которые продемонстрировали высокую прочность и устойчивость к воздействию окружающей среды.

3. 2000-е годы: Коммерческое применение

- В начале 2000-х годов полимерные композиты начали активно внедряться в практику мостостроения. Разработаны стандарты и рекомендации по проектированию и строительству мостов из ПКМ.

- Примеры успешных проектов включают мосты с композитными балками и плитами, которые обеспечивают высокую прочность при меньшем весе по сравнению с традиционными материалами.

4. 2010-е годы: Инновации и технологии

- В этот период наблюдается активное развитие технологий производства ПКМ, включая методы 3D-печати и автоматизированного производства, что делает их более доступными для широкого применения.

- Мосты из ПКМ начали использоваться не только для пешеходного и велосипедного движения, но и для автомобильного транспорта, благодаря улучшению механических свойств и долговечности.

Преимущества ПКМ

- Высокая прочность и несущая способность при относительно небольшом весе конструкций.
- Повышенная коррозионная стойкость. Долговечность композитных материалов значительно выше, чем у стали и бетона.
- Технологичность и гибкость. Из композитов можно изготавливать конструкции практически любой формы и размеров.
- Сокращение сроков и стоимости строительства за счёт модульности возведения конструкций из композитных материалов.
- Экологичность и безопасность. Композитные материалы инертны к воздействию окружающей среды.
- Широкие возможности вторичной переработки и утилизации отходов композитных материалов по окончании срока службы конструкций.

Материал	Плотность, кг/м^3	Прочность при растяжении, МПа	Модуль Юнга, ГПа	Удельная прочность, $e\cdot10^3$, км	Удельный модуль, $E\cdot10^6$, км
Углепластик	1450–1600	780–1800	120–130	53–112	9–20
Стеклопластик	2120	1920	69	91	3,2
Высокопрочная сталь	7800	1400	210	18	2,7
Алюминиевый сплав	2700	500	75	18	2,7
Титановый сплав	4400	1000	110	28	2,5
Полиамид 6,6	1140	82,6	28	7,24	0,24
Полиамид 6,6+40 мас. % стекловолокна	1460	217	112	8,87	0,77
Полиамид 6,6+40 мас. % углеродного волокна	1340	280	238	21,0	1,92

Рисунок 1 – Свойства некоторых конструкционных материалов

Из рис.1 можно подчеркнуть, что современные ПКМ не уступают традиционной стали.

Опыт применения

В 2004 году в районе платформы «Чертаново» в Москве был построен первый в России пешеходный мост с цельнокомпозитным пролётным строением. 1 Проект реализовала компания НПП «АпАТэК» по заказу ОАО «РЖД».

Пешеходный мост через платформу «Косино» в Москве, установленный в 2005 году, — первый в России цельнокомпозитный мост со сходами. Его разработали и установили в рамках реконструкции казанского направления Московской железной дороги.

Применение при реконструкции

В 2016 году ООО «Автодор-Инжиниринг» совместно с Филиалом АО ЦНИИС «НИЦ Мосты» предложил Государственной компании «Автодор» применить композитную арматуру в плите усиления проезжей части правого моста через р. Аюта на км 1009+279 автомобильной дороги М-4 «Дон» при выполнении ремонтно-восстановительных работ на сооружении.

Сооружение построено в 1996 г. Движение осуществляется по двум полосам в сторону г. Ростов-на-Дону. Габарит проезжей части 11,5м, два тротуара по 1м. Балки пролетных строений длиной 15,0 м (пролеты №1,2,5) и 18,0 м (пролеты №3,4) выполнены в соответствии с типовым проектом 3.503.1-73 (Союздорпроект). Балки длиной 18,0 м армированы стержневой рабочей арматурой класса АIII 10хØ28; длиной 15,0 м - 8хØ28 и 2хØ16. Продольная схема сооружения /15,0х2+18,0х2+15,0/м, статическая схема работы – температурно-неразрезная. Полная длина моста составляет 84,50 м. В поперечном сечении каждого пролёта установлено 8 балок с расстоянием 1,67м.

В мае 2016 года в ходе осмотра моста на балках пролётных строений длиной 18,0 м в нижней части рёбер обнаружены свежие сколы бетона длиной 15…20 см вдоль пролёта, и отходящие от сколов трещины раскрытием 0,5-1,0мм; провисы балок по результатам съёмки составили 50…60мм. В балках длиной 15,0 м обнаружены трещины аналогичного раскрытия, без сколов; провисы – 40…50мм.

При вскрытии бетона балок в зоне сколов и трещин обнаружены обрывы рабочей стержневой арматуры Ø28 мм (см. таблицу).

Все обрывы находятся в местах сварки, выполненной для объединения арматуры в жесткий каркас на стадии его формирования, или при объединении арматуры «встык». При этом некоторые оборванные стержни по месту обрыва покрыты коррозией по всей площади сечения, следовательно, обрыв произошёл

довольно давно. В других местах – обрывы свежие. Соотношение обрывов обоих типов в каждой повреждённой балке примерно 50/50.

Результаты обследования позволяют предположить, что арматурные стержни обрывались в сечениях постепенно в течение длительного периода времени. При этом провисы балок постепенно нарастали до значений 20…30 мм; в рёбрах балок образовывались единичные вертикальные трещины раскрытием до 0,2мм (что было отмечено в паспортах на сооружения за прошлые годы).

Можно также предположить, что обнаруженные в мае 2016 года и описанные выше сколы бетона и трещины раскрытием 0,5…1мм появились в результате новых обрывов арматурных стержней.

По результатам обследования движение на мосту было прекращено.

Для восстановления несущей способности и усиления балок пролетных строений длиной 15,0 м применён комбинированный способ усиления: углепластиковыми ламелями и плитой усиления, функции которой отведены армированному выравнивающему слою, включённому в совместную работу с балками посредством установки анкеров.

Принятая конструкция мостового полотна в пролётах длиной 15м:

- плита усиления из гидрофобного бетона водонепроницаемостью W10, толщиной 50-200 мм, армированный стеклопластиковой арматурой АКС-10 (над пролетами №1,2,5; ГОСТ 31938-2012; производство ХК «Композит») шаг сетки 150х150 мм;
- мелкозернистый асфальтобетон I марки тип Б по ГОСТ 9128-2013– 40 мм;
- ЩМА-15 по ГОСТ 31015-2002– 40 мм.

Включённая в совместную работу с балками пролётного строения плита усиления обеспечивает увеличение несущей способности за счёт увеличения высоты сечения балки, а также перераспределения усилий от воздействия временных нагрузок между балками.

Выбор в пользу применения композитной арматуры в плите усиления обусловлен стремлением повысить долговечность мостового полотна и нижележащих конструкций. Низкий модуль упругости композитной арматуры не является препятствием для её применения в составе плиты усиления, поскольку вклад арматуры в несущую способность сечения ограничивается обеспечением включения плиты усиления в совместную работу с балками, и перераспределение усилий между ними.

Ремонтно-восстановительные работы на сооружении были завершены в июле 2016 года. Анализ результатов приёмочных испытаний показал, что армированная композитной арматурой плита усиления включилась в работу; произошло перераспределение усилий в балках. Результаты мониторинга в 2016-

2017 годах показали: провис балок не увеличился; новых и раскрывшихся трещин в рёбрах балок не обнаружено.

По итогам усиления пролётных строений плитой, армированной стеклокомпозитными стержнями, можно сделать вывод об эффективности данного решения.

В целом применение полимерных композитных материалов является успешным, однако назревает ряд следующих проблем:

1. Проблема утилизации конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) имеет как экономический, так и экологический характер

Сложности утилизации заключаются в увеличивающихся объёмах и темпах накопления отходов, токсичности продуктов их разложения и горения, а также длительных сроках разложения в естественных условиях. Особую сложность представляет собой утилизация ПКМ, армированных непрерывными волокнистыми наполнителями, из-за их высоких прочностных характеристик и проблем вторичного использования утилизированных отходов.

Основной путь решения проблемы утилизации ПКМ — это их вторичная переработка. При этом получается дополнительное количество полезных продуктов для различных отраслей промышленности и не происходит повторного загрязнения окружающей среды.

3. Высокая стоимость конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) — один из их недостатков. В настоящее время она превышает стоимость изделий из таких традиционных материалов, как металлы.

Некоторые причины высокой стоимости ПКМ:ограниченные объёмы исходного российского химического сырья для производства; отсутствие отечественного технологического оборудования для получения исходных компонентов композиционных материалов; сложный и длительный процесс сертификации отечественных разработок (три года и более). Также высокая стоимость размерной механической обработки ПКМ обусловлена низкой технологичностью резания этих материалов.

4. Недостаточная развитость нормативной базы в области полимерных композитных материалов в мостостроении связана с рядом проблем: Отсутствие полноценной базы нормативно-технических документов. Они должны регламентировать свойства композитов и правила их применения, а также общие и частные вопросы проектирования конструкций с учётом особенностей этих материалов. Отсутствие единого подхода при проектировании и строительстве мостов с цельнокомпозитными пролётными строениями.

Ограниченный опыт эксплуатации мостов с цельнокомпозитными пролётными строениями.

УДК 624.21

Дипломное проектирование. Опыт

***Кулаго Юлия Владимировна**, магистрант 1 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Гречухин В.А., канд. техн. наук, доцент
кафедры «Мосты и тоннели»

Дипломное проектирование — это процесс разработки и выполнения итогового научного или практического проекта студентом на заключительном этапе обучения в высшем учебном заведении. Цель — применить полученные знания для решения конкретных профессиональных задач. Включает исследование, анализ, проектирование и защиту работы перед комиссией.

Мостовые сооружения и тоннели должны быть запроектированы и возведены таким образом, чтобы обеспечить необходимый уровень долговечности и надёжности на всём протяжении срока их эксплуатации. Конструкции рассчитываются по методу предельных состояний, основные положения которых направлены на обеспечение безотказной работы конструкций и их оснований с учётом изменчивости свойств материалов и грунтов, нагрузок и воздействий, условий работы конструкций, а также степени ответственности, определяемой материальным и социальным ущербом при нарушении их работоспособности.

В рамках дипломного проектирования студентами разрабатываются следующие разделы:

- Архитектурно-планировочные решения;
- Вариантное проектирование;
- Конструктивные решения;
- Технология и организация строительства;
- Сметно-финансовая часть;
- Автоматизация проектирования;
- Охрана труда и охрана окружающей среды.

При выполнении дипломного проекта студенты используют программные комплексы такие как AutoCAD, Revit и SOFiSTiK.

При работе в программном комплексе Revit имеется возможность с разных ракурсов рассмотреть интересующий элемент, и в случае необходимости внести изменения. Так же программа позволяет уменьшить время, затраченное на

оформление чертежей. Существенным преимуществом является, возможность демонстрации в перспективе различных видов и узлов.

Для окончательного оформления чертежей и их доработку часто необходимо использовать AutoCAD, для более детальной проработки различных узлов конструкций. Расчетный комплекс SOFiSTiK представляет собой мощное программное обеспечение для расчета и проектирования строительных конструкций, особенно востребованное в мостостроении, проектировании зданий и других инженерных сооружений. Основные возможности SOFiSTiK включают:

- Статический и динамический анализ конструкций;
- Моделирование сложных 3D конструкций (мостов, зданий, туннелей);
- Расчет железобетонных и стальных конструкций с учётом широкого перечная нагрузок и воздействий (Рис. 1);
- Анализ взаимодействия с грунтом и проектирование фундаментов;
- Проектирование мостов и других инженерных сооружений;
- Интеграция с BIM для проектирования.

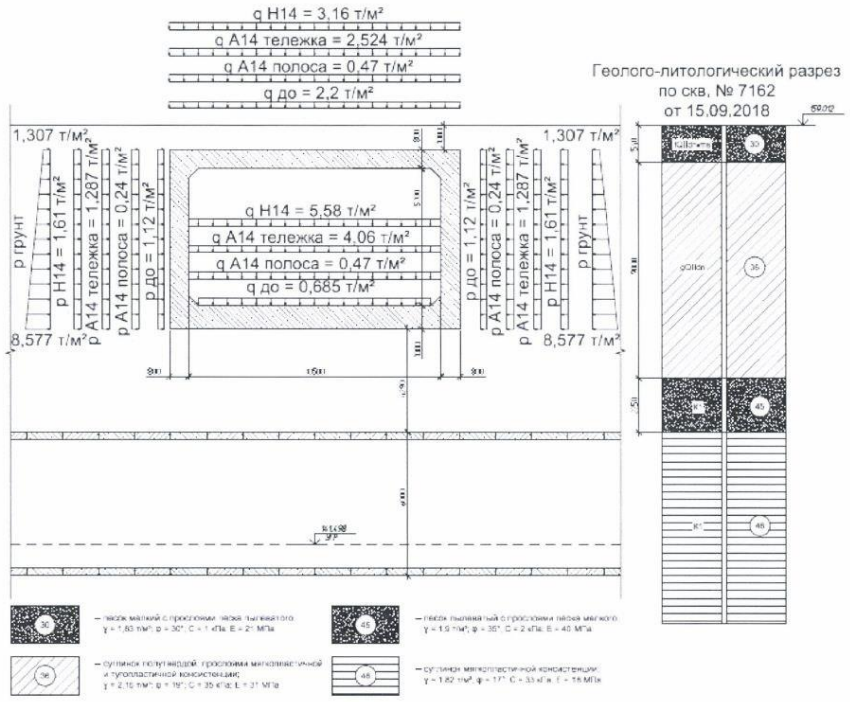


Рисунок 1 – Нагрузки и воздействия на подземное сооружение

Перед дипломным проектированием студенты проходят преддипломную практику. Во время преддипломной практики студенты получают материалы реальных проектов для дальнейшей самостоятельной работы над ними в рамках дипломного проектирования.

В некоторых случаях уверенные в себе студенты берутся за полностью самостоятельное проектирование сооружения. Такой дипломный проект часто

выглядит не таким проработанным, однако его исполнитель всегда может похвастаться тем, что все проектные решения приняты им самостоятельно.

Основные объекты, которые студенты проектируют в рамках своих дипломных работ, охватывают широкий спектр сложных и ответственных инженерных сооружений. К ним относятся:

- Станции метрополитена (Рис. 2, 3) — ключевые элементы транспортной инфраструктуры крупных городов;
- Мостовые сооружения — важные транспортные объекты, обеспечивающие пропуск дорог через реки и другие препятствия;
- Перегонные тоннели (Рис. 4) — это подземные конструкции, соединяющие станции и обеспечивающие безопасное движение поездов;
- Вентиляционные камеры (Рис. 5) — это системы, поддерживающие безопасный микроклимат в подземных сооружениях;
- Пешеходные мосты — это сооружения, обеспечивающие удобные и безопасные маршруты для пешеходов через транспортные артерии или природные преграды;
- Реконструкция мостов — это важные работы по обновлению и усилению существующих мостовых конструкций для повышения их безопасности и долговечности;
- Другие инженерные сооружения — это разнообразные объекты, требующие глубоких знаний и инновационных решений в области строительства и проектирования.

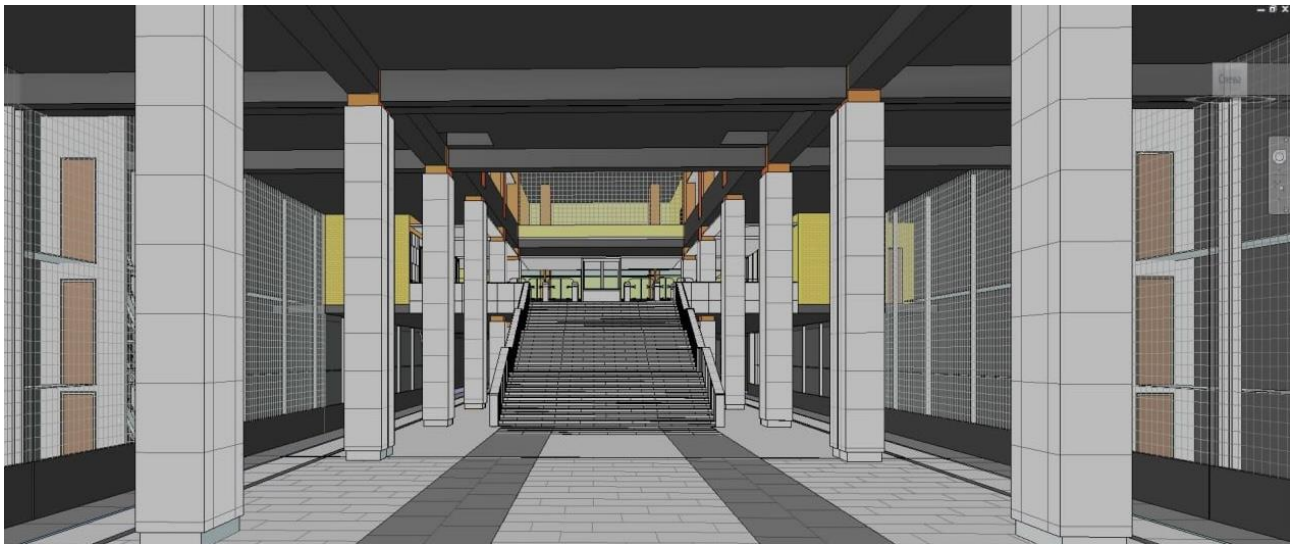


Рисунок 2 – Модель станции метрополитена



Рисунок 3 – Визуализация проекта станции метрополитена

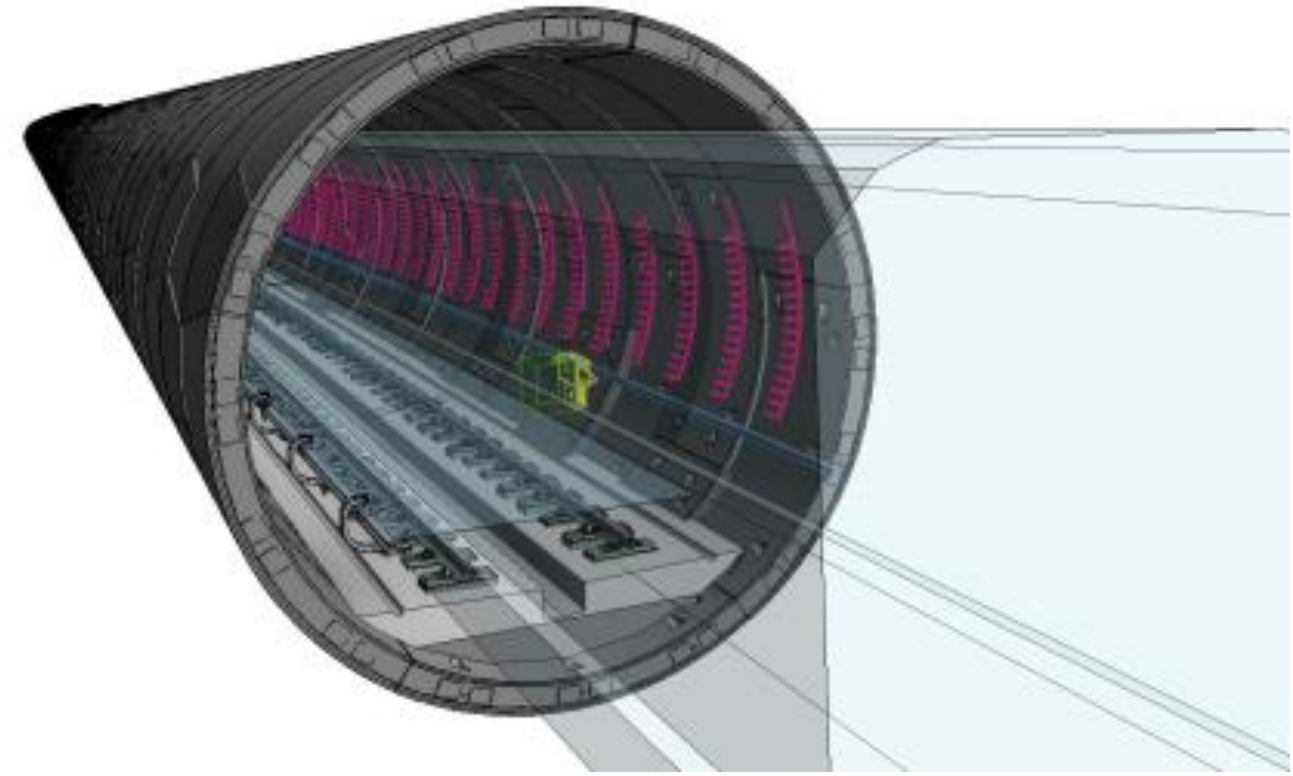


Рисунок 4 – Модель перегонного тоннеля

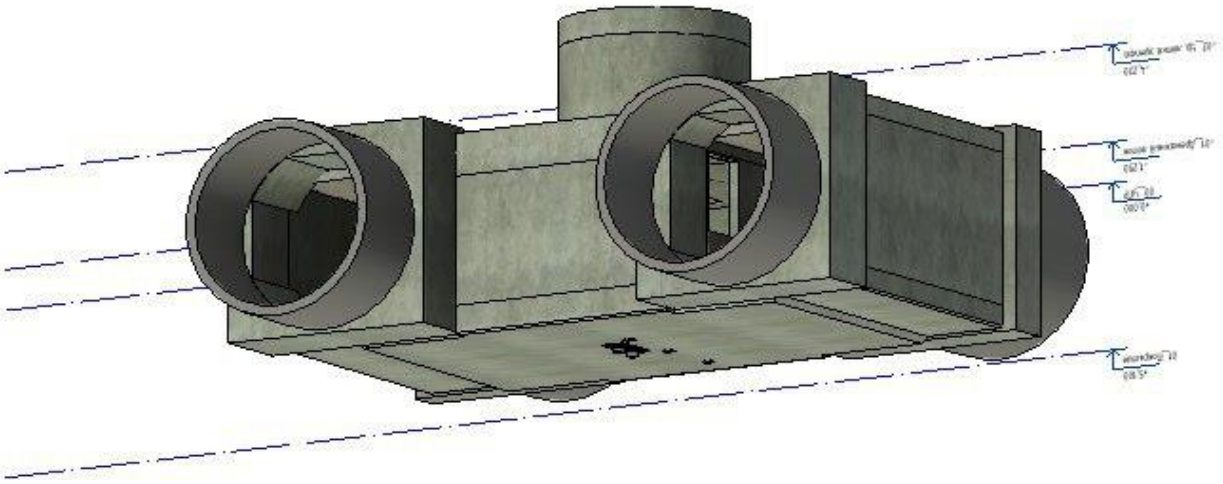


Рисунок 5 – Модель вентиляционной камеры

Выполнение дипломного проекта имеет важное значение для профессионального становления будущих инженеров. Важность выполнения дипломного проектирования и чему учится студент:

- Применение теоретических знаний на практике;
- Развитие навыков комплексного проектирования: учёт множества факторов при проектировании (нагрузки, материалы, безопасность и т. д.);
- Формирование ответственности и профессионализма: работа с точностью, внимательностью и осознанием последствий ошибок;
- Овладение навыками работы с нормативными документами: применение СН, СП, ГОСТов и других строительных нормативных документов;
- Развитие навыков командной работы и управления проектами: взаимодействие с другими специалистами и планирование рабочего процесса.

УДК 624.21

Курсовое проектирование в Revit

Леган Александра Дмитриевна, Данчиков Александр Владимирович,
студенты 5 курса кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Основными задачами курсового проекта являются: проектирование и расчет обделки тоннеля, а также визуализация объемно-планировочного решения зоны портала.

Исходными данными для проектирования выступают: инженерно-геологические условия местности, территория строительства, план и продольный профиль трассы (Рис. 1).

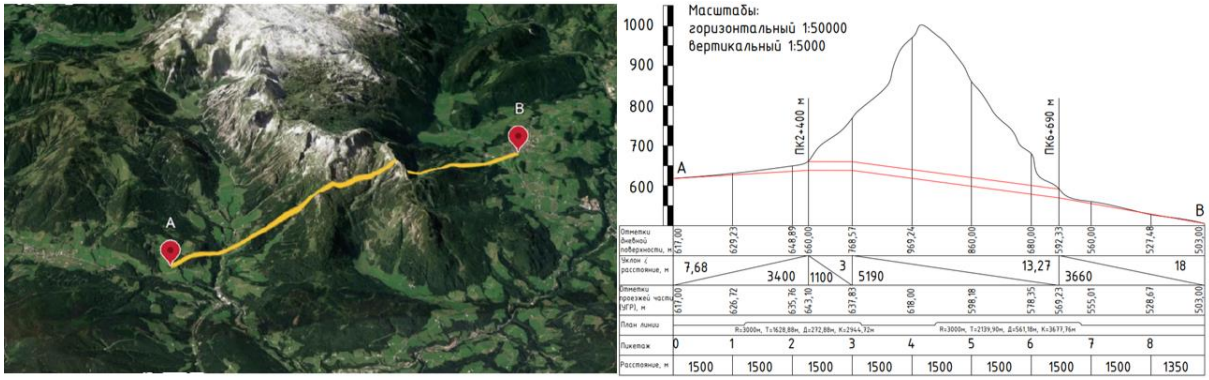


Рисунок 1 – Исходные данные для курсового проекта

Данный тоннель был запроектирован в горной местности, где преобладает глинистый песчаник. Характеристики грунта определяют нагрузку на обделку и влияют на её конструктивное решение, а также определяют способ проходки тоннеля. При проходке тоннеля использовался способ нижнего уступа, при котором проходка колотты (верхняя часть тоннеля) опережает проходку штроссы (нижняя часть тоннеля). Разработку грунта ведут буровзрывным способом. Обделка имеет подковообразное очертание, и возведена из набрызг-бетона поверх анкерной крепи для предотвращения осыпания грунта.

Расчет обделки проводился вручную, а также с применением программного комплекса SOFiSTiK. (Рис. 2).

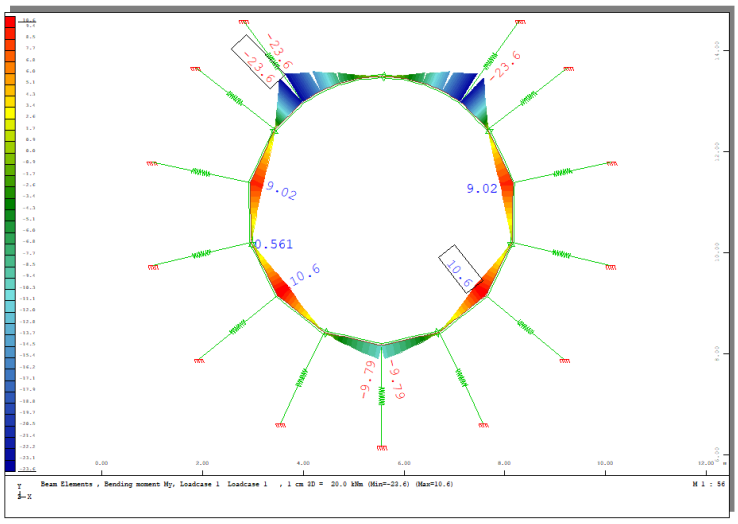


Рисунок 2 – Расчет обделки тоннеля в SOFiSTiK

После выполнения всех расчетов и проверок, создается 3Д-модель в Revit с применением следующего объемно-планировочного решения: портал, совмещенный со зданием вокзала, в котором находится зал ожидания, зона отдыха, а также на крыше отель с зеленой зоной (Рис. 3).



Рисунок 3 – Объемно-планировочное решение портала тоннеля

Для создания модели горного массива и прокладывания трассы тоннеля использовался программный комплекс AutoCAD, где были построены горизонтали с учетом их высот. Далее файл был выгружен в Revit, где был воспроизведен достаточно точный рельеф местности в реальных размерах. Имея рельеф, габариты и трассу тоннеля создается тело обделки. Материал обделки – железобетонные тюбинги. Тоннель – железнодорожный, двупутный.

Портал тоннеля совмещен с многофункциональным комплексом. Конструкция здания представляет собой монолитный железобетонный каркас из

перекрытий на железобетонных колоннах с диафрагмами. Использование монолита позволяет принимать уникальные конструктивные решения, создавая при этом широкие возможности для планировки помещений, при этом экономя материалы. Помещения в здании могут иметь различное назначение (Рис. 4).

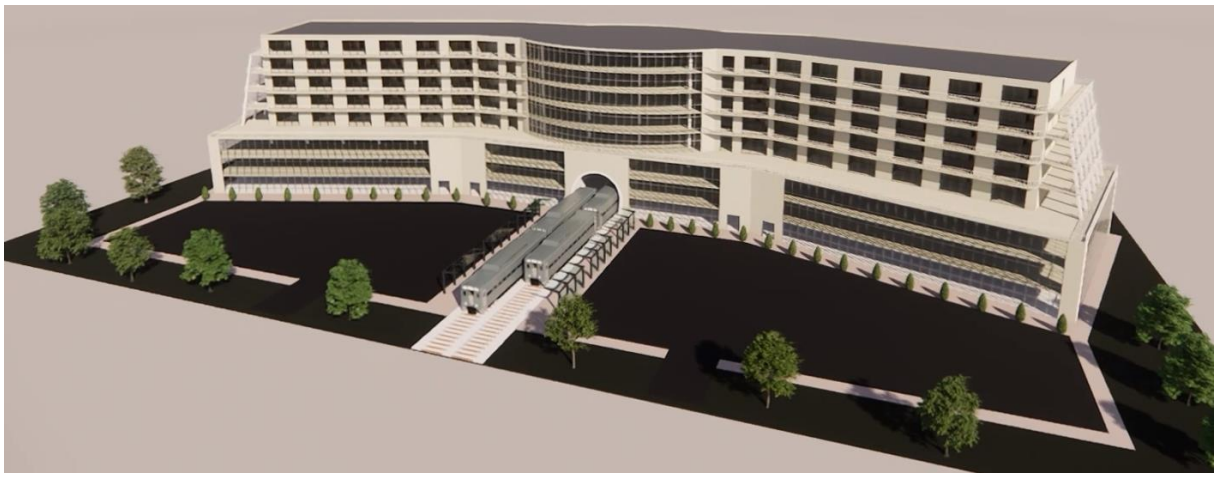


Рисунок 4 – Многофункциональный комплекс

Для создания графика работ и визуализации поэтапного строительства использовался программный комплекс NevisWorks. Для этого в модели Revit каждому элементу присваивалась уникальная марка с комментарием. Данные сводились в таблицу и вместе с файлом модели импортировались в NevisWorks. (Рис. 5).

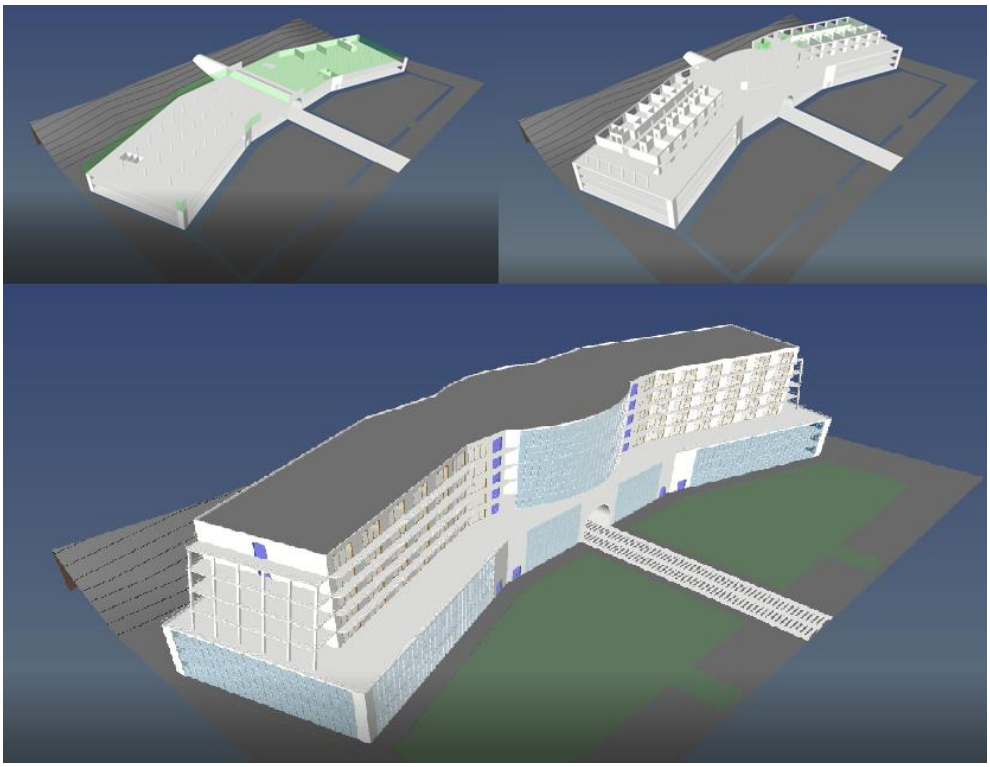


Рисунок 5 – Визуализация поэтапного строительства в NevisWorks

Опыт использования Revit в курсовом проектировании тоннелей показывает хорошие возможности автоматизации процесса проектирования. Значительно облегчается процесс редактирования чертежей, за счёт того, что после корректировки основной модели все чертежи автоматически подправляются, а ведомости и спецификации пересчитываются. Ведомости и спецификации также создаются быстро и удобно, можно группировать элементы именно так, как нужно для конкретной задачи.

При поиске и исправлении ошибок нет необходимости делать это отдельно на каждом уровне, виде или разрезе. Часто программа сама указывает на ошибки, например, в случае неправильного пересечения или соединения элементов (коллизий).

Удобно производится адаптация проекта под существующий рельеф местности, что облегчает работу при выполнении курсового по созданию проекта мостового сооружения.

Проект представляет собой железобетонный мост. Габарит – Г-8+2·0,75. Мост выполнен по схеме 9+3x12+9 м. Пролетное строение балочное с ребристой плитой. Фундаменты опор – забивные сваи, объединённые ростверками. Стойки опор круглого сечения с монолитными ригелями.

Визуализация выполнялась при помощи плагина Enscape для Revit. Данный плагин позволяет быстро получить хорошую визуализацию, не затрачивая на это больших усилий. Также в нём есть возможность добавления элементов декора и антуража. Имеется возможность обхода сооружения от первого лица (Рис. 6).



Рисунок 6 – Визуализация проекта моста

Было выполнено армирование элементов моста. Армирование в Revit выполняется относительно быстро и просто, поскольку арматура привязывается к элементам, сразу устанавливается согласно стандартным размерам, а если стандартное решение не подходит, то это легко корректируется. Весьма удобно то, что в программе уже имеется стандартный сортамент стержней (Рис. 7).

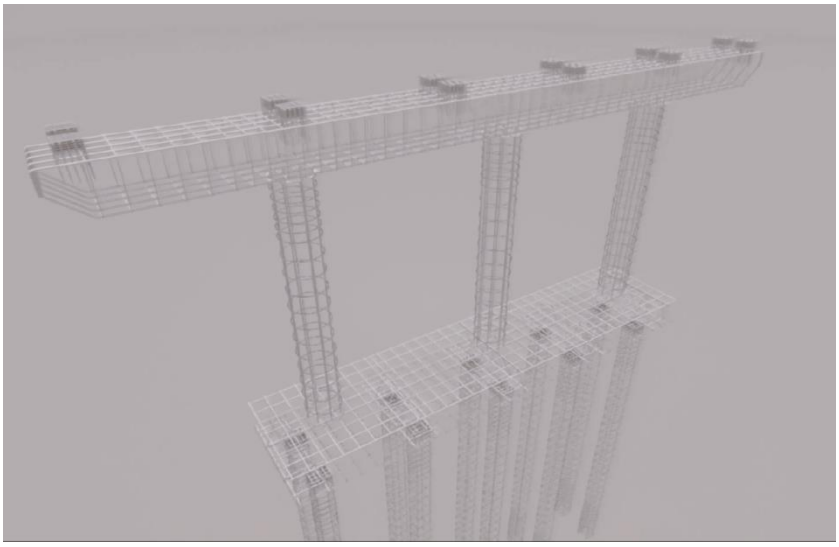


Рисунок 7 – Армирование опоры моста

Еще одним плюсом стоит отметить отсутствие необходимости считать арматуру вручную. Программа сама составляет спецификации и делает все подсчеты. Нужно лишь выбрать те элементы, которые должны выводиться в спецификацию.

Легко осуществляется вывод чертежей железобетонных изделий. Во избежание путаницы, стержни арматуры можно разнести в разные слои, покрасить в разные цвета исходя из их ориентации в пространстве, размера или назначения.

Подводя итоги, Revit отлично подходит для выполнения курсового проектирования порталов тоннелей и мостовых конструкций. Программа позволяет детальнее ознакомиться с конструкцией сооружения, более тщательно и наглядно проработать узлы конструкций. За счёт высокой автоматизации значительно облегчается процесс проектирования.

УДК 624.21/.8

Применение БПЛА в мостостроении

Лепустин Александр Евгеньевич, Туяков Бауржан Дэуренович,
студенты 5 курса кафедры «Мосты и тоннели»
Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, г. Омск

С каждым годом новые современные технологии играют всё более важную роль в строительной сфере, предлагая новые возможности и оптимизируя рабочие процессы. Среди наиболее актуальных направлений развития цифровых технологий в строительстве выделяется использование дронов и беспилотных летательных аппаратов.

Использование дронов и квадрокоптеров в мостостроительной отрасли обладает несколькими преимуществами. Они помогают экономить время и ресурсы, ускоряя процессы работы и заменяя услуги по инспекции, мониторингу и геодезии объектов. Кроме того, применение дронов повышает безопасность на строительных площадках, автоматизируя множество рутинных задач, которые ранее выполнялись вручную. Например, они могут использоваться для транспортировки строительного оборудования и материалов. Кроме того, дроны обеспечивают более точное и надежное собирание данных о состоянии объектов благодаря возможности съемки высокого качества. Все эти факторы в совокупности способствуют повышению качества работ и снижению вероятности ошибок в рамках строительного проекта.

Мы рассмотрим различные аспекты использования дронов и беспилотных летательных аппаратов, включая инспекцию, мониторинг, геодезию, а также их применение для транспортировки материалов и оборудования. Также будут рассмотрены примеры успешного использования БПЛА в нашем опыте работы на строительных участках и их потенциал для улучшения эффективности и результативности строительных работ.

Одной из ключевых областей применения дронов и БПЛА в строительстве является инспекция и мониторинг объектов. Благодаря возможности получать высококачественные фото- и видеоматериалы с воздуха, дроны значительно упрощают процесс проверки хода работ и их качества. Так, беспилотники позволяют оперативно выявлять возможные проблемы и недостатки при строительстве мостов, что значительно повышает качество и безопасность строительства (Рис.1).

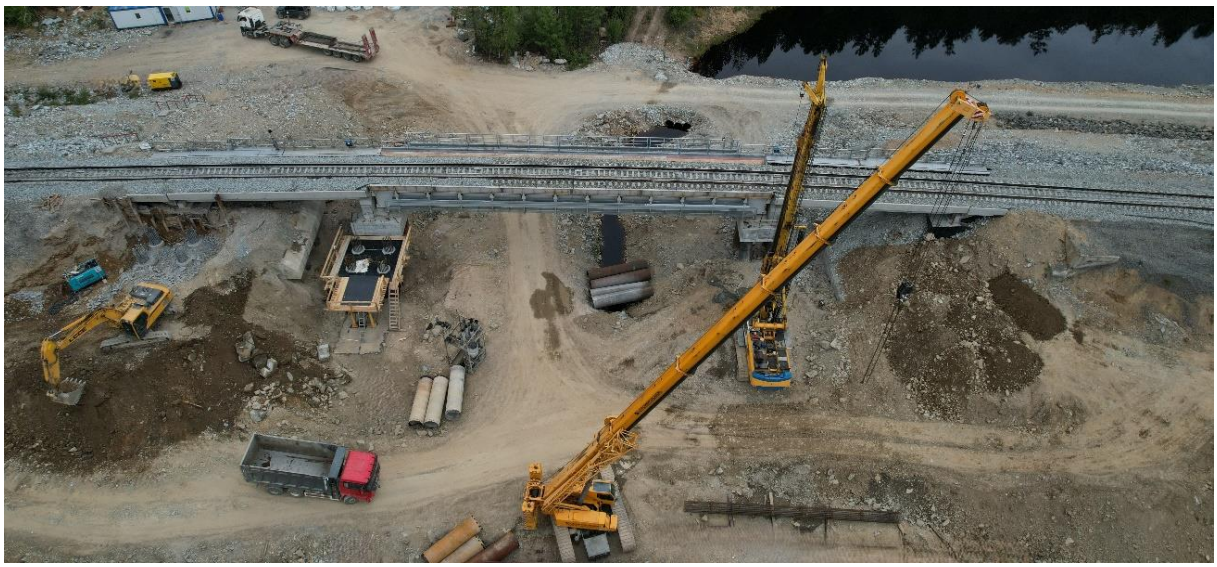


Рисунок 1 – Мониторинг участка строительства Байкало-Амурской магистрали

К примеру. принимая участие в строительстве трехуровневой развязки на пересечении улиц Мельникайте-Дружбы г. Тюмени, я был свидетелем, того, как моего напарника по работе оштрафовали за курение на участке, после видео съемки объекта с БПЛА. Этот случай показывает нам как можно снизить производственные риски.

Еще один пример. Работая на участке строительства Байкало-Амурской магистрали (БАМ-2), строилось 11 мостов и 2 трубы. Один раз в неделю техник строительно-монтажного участка посещал каждый из строящихся объектов и делал аэрофотосъемку для показа выполнения работ.

Геодезические измерения играют важную роль в строительном процессе, предоставляя информацию о рельефе участка, русла реки, растительности. Традиционные методы геодезии и составления карт могут быть трудоемкими и дорогостоящими. Однако съемка территории с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) может занять всего несколько дней. Полученная информация может быть использована для создания модели участка с такой же эффективностью, как и данные, полученные при традиционных геодезических изысканиях. Беспилотные аппараты также пригодны для разработки планов местности, позволяя быстро и точно выполнять различные геодезические измерения, для более качественного сопровождения строительства. Это включает создание цифровых моделей местности, определение высотных отметок и проведение контрольных измерений. Использование дронов позволяет значительно сократить время и затраты на геодезические работы в строительстве, а также повысить точность и надежность получаемых данных и созданных моделей, необходимых для реализации проекта.

Например, на одной из моих летних практик в г. Салехарде, мне приходилось вместе с геодезистами несколько раз измерять и перепроверять

объемы щебня, используемого для укрепления откосов насыпи. А с помощью БПЛА мы могли бы сделать это за несколько минут.

Дроны могут быстро и эффективно доставлять небольшие инструменты и материалы, такие как шурупы, гвозди и болты, на строительные площадки. Это снижает потребность рабочих в поездках туда и обратно на склад снабжения, экономя время и повышая производительность. Доставляя инструменты и материалы непосредственно на строительную площадку, дроны могут сократить время простоя и трудозатраты, связанные с поездками рабочих на склады снабжения и обратно. Это может привести к значительной экономии средств и повышению эффективности проекта.

Можно сделать следующие выводы:

– При изучении применения дрон-технологий в строительстве мостов становится ясно, что благодаря беспилотным летательным аппаратам, строительная отрасль становится идеальной платформой для демонстрации результатов научно-технического прогресса.

– Международный опыт, включая использование дронов для проектирования и строительства, показывает, что полностью автоматизированная система может существенно сократить затраты и усилия на процессы мониторинга и отчетности во время возведения объектов. Кроме того, контроль за стройплощадками при помощи беспилотных летательных аппаратов позволяет проверять правильность хранения и транспортировки материалов.

– Благодаря технологии беспилотных летательных аппаратов инвесторы могут контролировать деятельность подрядчиков и получать полную, достоверную документацию, которая может быть использована в качестве доказательства при разрешении споров.

– Если ранее работа геодезистов включала сложные процессы работы с инструментами, то в будущем большинство этих задач могут быть успешно выполнены с использованием дрон-технологий.

Таким образом, использование дрон-технологий в мостостроении становится неотъемлемой частью будущего отрасли как в мире, так и в России.

Литература:

1. Тлепов, Д. К. Применение беспилотных летательных аппаратов в строительстве: современные решения и возможности / Д. К. Тлепов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2024. — № 20 (519). — С. 77-80. — URL: https://moluch.ru/archive/519/114339/.

УДК 620.19; 624.21

Комплексный подход к повышению безопасности и эксплуатационной пригодности надземных пешеходных переходов (антикоррозионная защита и борьба с зимней скользкостью)

Марков Виталий Иванович,
Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия
Базовая кафедра АО «Мостострой-11»

Введение

Интенсивный рост количества автотранспортных средств на дорогах нашей страны привёл к строительству окружных и внутригородских широкополосных магистралей, а также к уплотнению улично-дорожной сети.

В последнее время при развитии городов намечается тенденция усовершенствования пешеходной инфраструктуры, которая из-за стесненных условий городской застройки идет по пути строительства многофункциональных надземных пешеходных переходов.

Металлические надземные пешеходные переходы - сложные инженерные сооружения, срок службы которых зависит от вида подобранной гидроизоляции, от эффективности конструкций самого перехода и проведения мероприятий, направленных на его содержание. Ненадлежащее состояние мостового полотна приводит к снижению срока службы конструктивных элементов и вызывает коррозию металлических элементов сооружения, а также повышение травматизма населения.

Одной из глобальных проблем, влияющих на срок эксплуатации стальных элементов мостовых сооружений различного назначения, является коррозионное воздействие агрессивной внешней эксплуатационной среды, так как она влияет на структурную целостность мостовых сооружений, снижая прочностные и геометрические показатели элементов.

Металлические элементы надземных пешеходных переходов чаще всего подвержены разрушению под действием атмосферной коррозии. На мостовые конструкции в процессе эксплуатации оказывают влияние следующие факторы: колебание температуры, влажность, наличие в атмосфере вредных газов, осадки в виде снега, дождя и т.д.

В последние несколько лет в зимний период времени на улицах населенных пунктов наблюдается увеличение случаев травматизма, связанного с гололёдом. Непосредственно травмы негативно влияют на моральное состояние общества, качество жизни и затраты конкретных людей, а косвенно –

на экономические показатели различных организаций и фондов, к которым имеют отношение пострадавшие.

Проблема удаления гололёда с закрытых неотапливаемых надземных пешеходных переходов, является весьма актуальной, о чем свидетельствуют различные исследования, в том числе зарубежные [1-12].

Так, только за последний год при движении по улицам города, например, Тюмени, число пострадавших измерялось сотнями. Основными травмами являются ушибы и переломы, полученные в результате падения. Сотрудники сферы ЖКХ ведут работы по борьбе с гололедом. Смесью соли с песком засыпаются проезжие части улиц города. На посыпку дорог в день в Тюмени расходуется около двенадцати тонн противогололедных материалов.

Рассмотрим более детально применяемый для борьбы с зимней скользкостью противогололёдный материал: смесь соли и песка. Песок не является активным материалом, а вот соль содержит в себе хлориды - активные вещества, вызывающие хлоридную коррозию и металла, и бетона. Она приводит к коррозионным повреждениям конструктивных элементов транспортных сооружений, автомобилей, вызывает аллергию, повреждает обувь, одежду, не говоря уже о загрязнении окружающей среды.

За рубежом, во многих Европейских странах, практически полностью отказалась от применения химических реагентов для плавления снега и льда. В столице Германии - Берлине, закон разрешает применять соль только на опасных участках автомобильных дорог.

Метод посыпки дорог песком или другим абразивным материалом, (гравием, мелкой щебенкой) известен как абразивный метод или метод трения, он экологически безопасен и экономичен. Данное противогололёдное мероприятие не удаляет лед полностью, а улучшает сцепление с дорогой. Главное условие использования этого метода - очистка дороги почти до асфальта сразу после или во время снегопада.

В некоторых европейских городах устанавливают специальные гравийные ящики для пешеходов и разрешают жителям самим разбрасывать сыпучий материал в случае необходимости.

С 2004 года в Швеции внедрен новый метод борьбы с гололедом, разработанный шведским ученым Торгейром Ваа: в соотношении 7:3 мелкий песок смешивается с горячей водой температурой 90-95°С и рассыпается по дороге. Горячий песок растворяется в снегу, делая поверхность шероховатой. Такой обработки хватает на период от 3 до 7 дней.

Также актуально стоит вопрос дальнейшей судьбы химических реагентов, выбрасываемых с дорог. Соль попадает в систему канализации и фильтруется на очистных сооружениях. Осадок после фильтрации сжигается на очистных

сооружениях. Когда хлор, содержащийся в соли, сжигается, идет выделение очень опасных веществ - диоксидов, полициклических ароматических углеводородов и других соединений, попадающих в атмосферу и загрязняющих ее.

Как известно, еще в СССР был разработан целый ряд нормативных документов, относящихся к проблеме антикоррозионной защиты, однако эти документы уже устарели и не учитывают новые тенденции и материалы антикоррозионной защиты. В настоящее время различными учеными ведётся исследовательская и практическая деятельность [13-18], направленная на защиту конструкций от коррозии, для увеличения срока службы всего сооружения в целом.

Проблемы повреждения антикоррозионной защиты металлических надземных переходов

В данной статье приведены результаты сравнительного анализа способов защиты металлоконструкций надземных пешеходных переходов от внешних воздействий агрессивных сред, которые будут выполнять роль дополнительной защиты от гололёда (обледенения).

Для обеспечения антикоррозионной защиты мостовых металлических конструкций от коррозии применяются первичная, вторичная защита, а также специальные меры, направленные на повышение долговечности конструкций.

Первичная защита мостовых металлических конструкций закладывается при проектировании, а также изготовлении и заключается в подборе конструктивных решений, направленных на снижение воздействия агрессивных сред и подбору материалов, стойких к воздействию источников коррозии.

В случае, если недостаточно мер первичной защиты, применяют вторичную защиту мостовых конструкций. Меры вторичной защиты направлены на применение защитных лакокрасочных покрытий, пропиток и других способов изоляции конструкций от воздействия агрессивной среды. Общий смысл вторичной защиты состоит в формировании защитного барьера между конструкцией и внешней агрессивной эксплуатационной средой.

Специальные виды защиты мостовых металлических сооружений состоят из способов, которые не входят в состав первичной и вторичной защиты, а представляют различные физические и физико-химические методы, мероприятия, понижающие агрессивное воздействие среды:

-местная и общая вентиляция;

-мероприятия по исключению возможности образования конденсата на строительных конструкциях;

- организация стоков;

- дренаж;

- электрохимическая защита и др.

По данным Всероссийского НИИ по защите от коррозии наиболее эффективным в настоящий момент является способом защиты конструкции с помощью высокоэффективных защитных изолирующих лакокрасочных покрытий.

В весенне-осенний период времени, при переходе людей через надземные пешеходные переходы, на обуви переносится вода, снег и химические реагенты, которыми были обработаны покрытия. При резком наступлении отрицательной температуры вода, которая скопилась на ступеньках, других горизонтальных поверхностях, заполнив все шероховатости, замерзает и образовывает твердую ледяную корку (рисунок 1). Ледяная или снежная корка является одной из причин травм пешеходов. При удалении механическим способом льда и снега есть вероятность повреждения целостности покрытия надземных пешеходных переходов, нарушения гидроизоляции, что может привести к началу коррозионных процессов в материале пролетного строения, и в итоге к снижению его долговечности и эксплуатационной пригодности.

При единовременном выпадении обильных снеговых осадков возможно образование слоя спрессованного снега на ступенях (рисунки 2 и 3), что существенно затрудняет передвижение пешеходов и непосредственно влияет на безопасность. Выпавшие осадки в совокупности с солью, которая попадает на конструкции при движении пешеходов, в теплый период тают, тем самым образую агрессивную среду, что впоследствии вызывает коррозию металлов.



Рисунок 1 – Общий вид надземного пешеходного перехода.
Образование гололеда в месте прохода пешеходов [фото авторов]

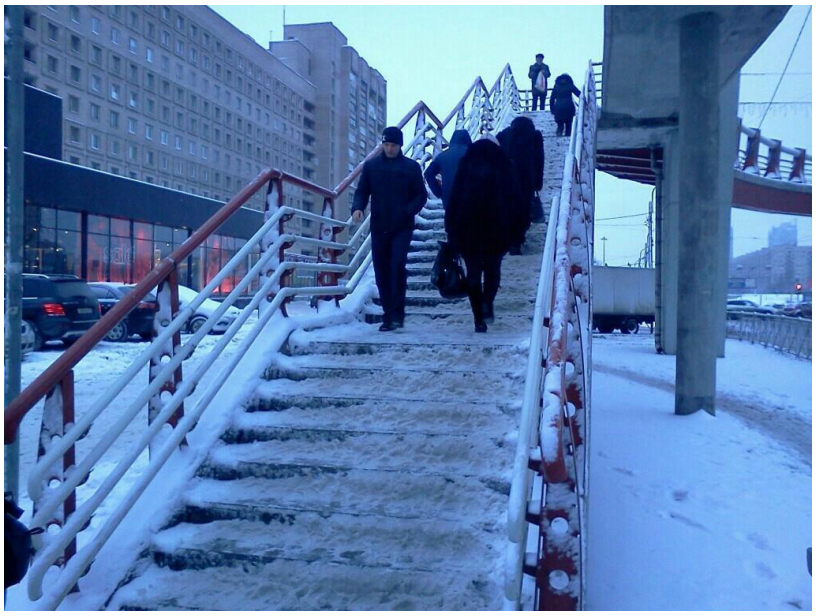


Рисунок 2 – Образование гололеда на лестничных сходах надземного мостового пешеходного перехода [19]



Рисунок 3 – Образование гололеда на лестничных сходах надземного мостового пешеходного перехода [фото авторов]

Методы вторичной защиты металлоконструкций от коррозии, препятствующие образованию гололёда на надземных пешеходных переходах

1. Использование гофрированной поперечной решетки из оцинкованной стали.

Катодная защита реализуется, когда к стальной конструкции прикрепляется металл, обладающий более электроположительными свойствами, и именно он разрушается в первую очередь.

Цинк активно защищает изделие от коррозии, «принося себя в жертву», но этот процесс длится очень долго, сохраняя конструкцию десятилетиями.

Применение оцинкованных решеток (рисунки 4 и 5) на лестничных сходах будет выполнять следующие дополнительные задачи:

- снег, накапливающийся на подошве обуви пешеходов, будет естественным образом удаляться через обрешетку покрытия при перемещении людей по лестничным сходам;

- снег не будет скапливаться на ступенях при выпадении сверхнормативных осадков, так как он будет естественным способом удаляться через обрешетку.

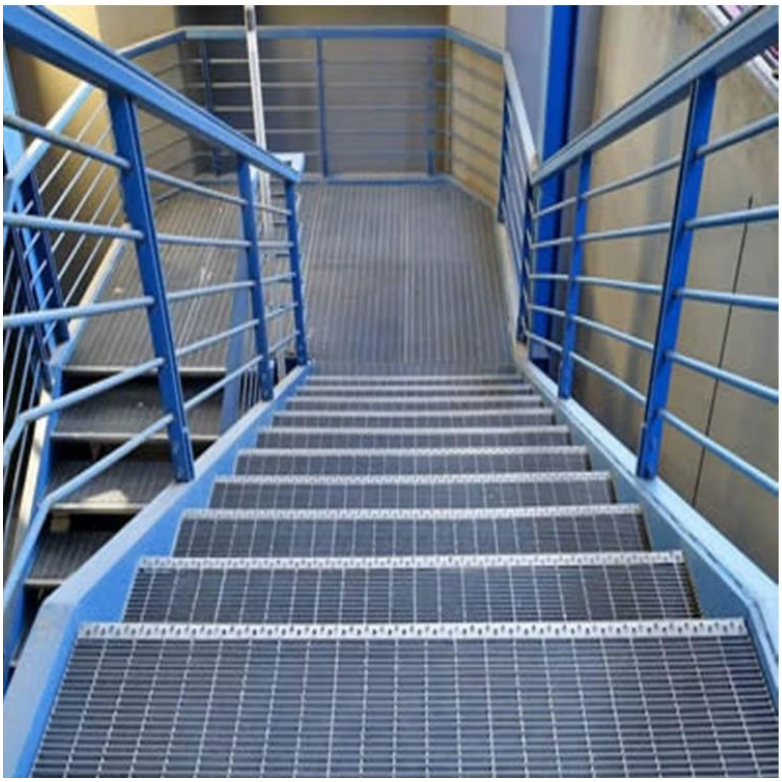


Рисунок 4 – Общий вид составной гофрированной поперечной решетки из оцинкованной стали [20]

Также стоит обратить внимание на то, что есть и недостатки данного способа защиты конструкции от гололеда, а именно в летний период времени

есть вероятность попадания отдельных элементов женской обуви в ячейку решетки и тем самым есть вероятность повреждения обуви и травматизма. Для решения данной проблемы предлагается в теплый период времени использовать полимерные накладки с противоскользящим покрытием.



Рисунок 5 – Общий вид ступеней из решетчатого и сварного настила из оцинкованной стали [21]

Специальные методы защиты конструкций, от коррозии, которые препятствуют образованию гололёда на надземных пешеходных переходах

1. Применение системы мониторинга с использованием типов машинного обучения на основе полученных регрессионных графиков позволит, опираясь на температуру окружающего воздуха и прогнозном количестве выпавших осадков в виде снега, сделать вывод о привлечении дополнительного персонала и оборудования для очистки надземных пешеходных переходов.

Своевременная уборка снега значительно снизит получение травм населения от гололёда в данный период времени и повысит срок службы конструкции путем исключения агрессивной среды с объекта эксплуатации.

2. Применение видео съёмки надземного пешеходного перехода и использования машинного зрения для распознавания изображений на примере Open CV. Путем сопоставления двух изображений со снегом, льдом и поверхностью без гололёда можно вычислить объём предполагаемых работ по очистке от снега, наледи. Созданная система мониторинга позволит в режиме реального времени передавать информацию на диспетчерский пульт информацию о необходимости проведения противогололедных мероприятий на конкретном объекте инфраструктуры. Вовремя проведенные работы

значительно сократят случаи получения травм на участках дорог с использованием данной системы. Также использование на постоянной основе данной системы позволит перераспределить трудовые ресурсы на другие объекты в случае, если будет выявлено отсутствие необходимости в уборке на конкретном надземном пешеходном переходе, тем самым, в долгосрочной перспективе, система будет приносить экономическую выгоду и позволит рационально использовать трудовые ресурсы и повысить срок службы конструкции.

3. Использование двухслойных покрытий из резиновой крошки, к примеру, Мастерфайбр (рисунок 6), выполняет несколько функций:

-обеспечивает защиту конструкций от агрессивного воздействия внешних сред;

-за счет свойства первого слоя пропускать через себя влагу и отводить ее в дренажную систему предотвращает образование гололеда.

Мастерфайбр состоит из двух слоев: первый слой выполняет функцию гидроизоляции (защищает конструкции от агрессивного воздействия внешних сред), второй слой, который является водонепроницаемым, отводит воду, а также защищает первый слой от механических повреждений.

При выборе данных покрытий есть определенные плюсы применения бесшовных покрытий из резиновой крошки:

Резиновое покрытие способно смягчать удар при падении пешеходов, а также защищать само покрытие от механических воздействий, что дает данному типу покрытия преимущества при сравнении с другими типами гидроизоляции для надземных пешеходных переходов (рис. 7).

Резиновые покрытия по типу Мастерфайбр имеют большой коэффициент трения, что обеспечивает пешеходам хорошее сцепление с поверхностью.



Рисунок 6 – Покрытие для площадок с гидроизоляцией МАСТЕРМАРИН [22]



Рисунок 7 – Общий вид надземного пешеходного перехода с применением резинового покрытия, выполняющего, в том числе, и функцию гидроизоляции [23]

Данные покрытия могут выдерживать значительные статические и динамические нагрузки, что позволяет применять их для мест с большим потоком людей. Кроме того, покрытие обладает ремонтопригодностью, имеют хорошую морозостойкость и не теряет своих эксплуатационных свойств даже после длительного срока службы.

Недостатком данных бесшовных резиновых покрытий является относительно высокая цена, что отчасти компенсируется длительным сроком службы.

Возможно применение резинового покрытия из резиновой крошки типа Мастерфайбр на открытых надземных переходах.

4. Использование в зимний период времени модульных резиновых плиток (рисунок 8)

Применение плитки из резиновой крошки позволяет защитить пешеходную зону от механических воздействий при уборке от снега и наледи и, таким образом, защитить поверхность от коррозии. Покрытие способно смягчать удар при падении пешеходов. Возможно применение обширной цветовой гаммы, что позволит создавать различные рисунки, повышая тем самым эстетический вид надземного пешеходного перехода.

При повреждении небольшого участка покрытия его легко можно восстановить путем замены отдельных плиток.

К недостаткам можно отнести ее стоимость, которая также может быть скомпенсирована длительным сроком эксплуатации.

5. Использование в зимний период времени резиновых рулонных материалов.

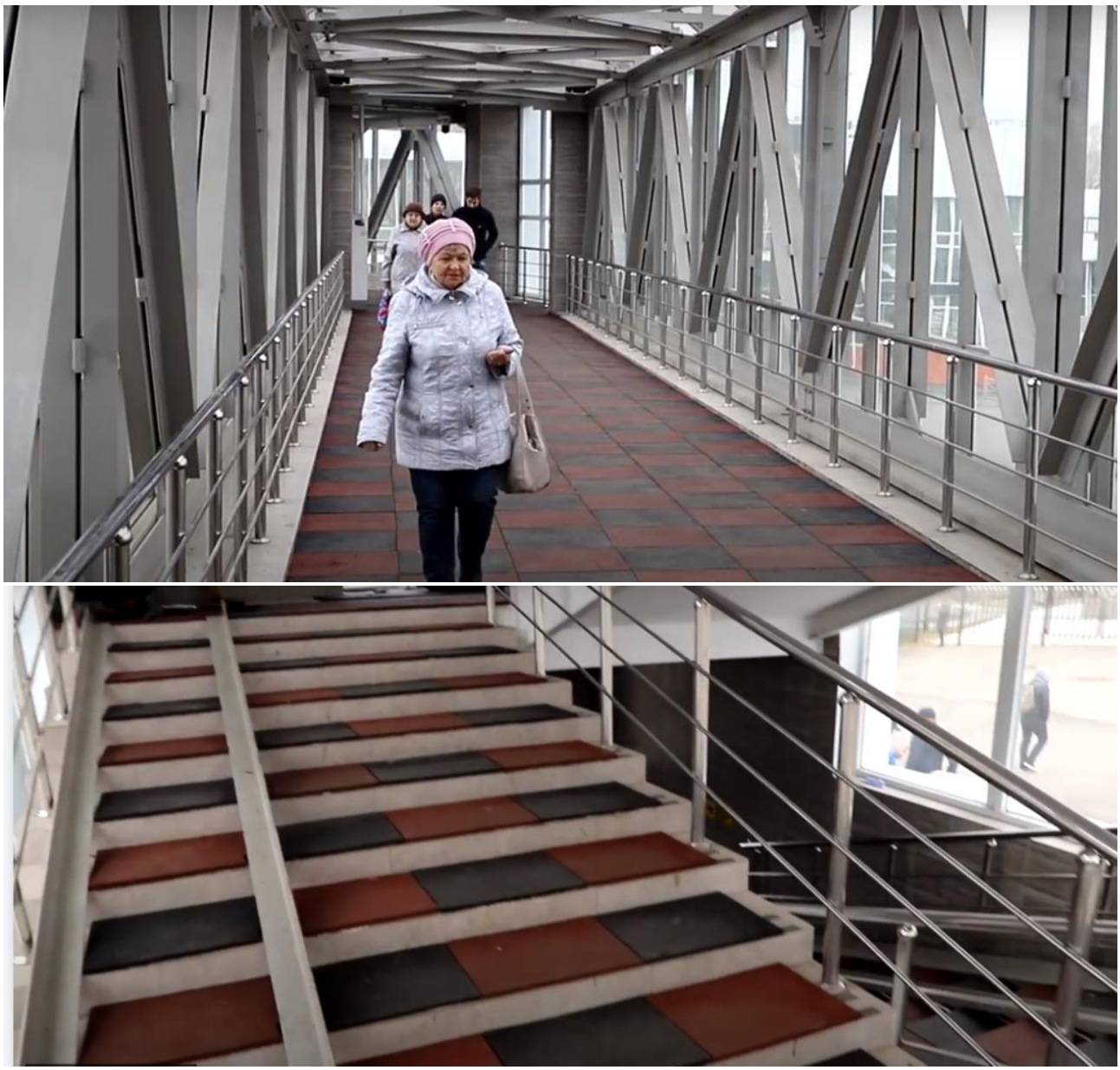


Рисунок 8 – Общий вид надземного пешеходного перехода с применением модульных резиновых плиток, выполняющих, в том числе, и функцию гидроизоляции [фото авторов]

Для создания условий хорошего сцепления обуви и покрытия надземных пешеходных переходов предлагается применить резиновое рулонное покрытие с разным рисунком («Ёлочка», «Шашечки» и т.д.) (рисунок 9).

Данное покрытие позволяет легко ликвидировать снег и лёд с её поверхности при небольшой стоимости материала, тем самым устранив внешнее воздействие агрессивной среды.

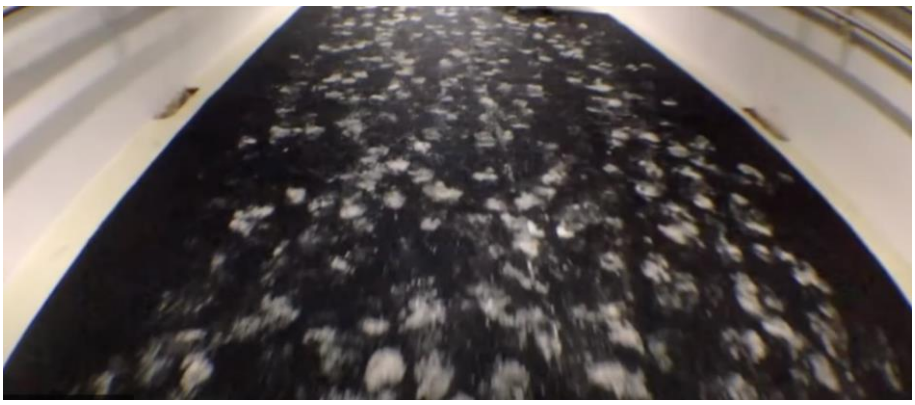


Рисунок 9 – Общий вид надземного пешеходного перехода с применением модульных резиновых плиток, выполняющих, в том числе, и функцию гидроизоляции [фото авторов]

6. Строительство тёплых отапливаемых надземных переходов.

Строительство закрытых пешеходных переходов с отоплением и хорошей вентиляцией позволяет полностью исключить образование гололёда. Благодаря вентиляции создается хороший воздухообмен, что благоприятно сказывается на сохранности основных несущих конструкций.

Большим недостатком данного способа является большое энергопотребление, поэтому применение данного способа требует дополнительного технико-экономического обоснования.

В таблице 1 сведены все описанные выше способы с указанием их основных недостатков.

Таблица 1 – Недостатки перечисленных способов

Наименование	Недостатки
Использование гофрированной поперечной решетки из оцинкованной стали	Требует периодического восстановления защитного цинкового покрытия, требует применения в летнее время полимерных накладок
Применение системы мониторинга с использованием типов машинного обучения	Финансовые затраты на стадии внедрения, требуется специальное программное обеспечение
Применение видео съёмки надземного пешеходного перехода и использования машинного зрения для распознания изображений на примере Open CV	Финансовые затраты на стадии внедрения, требуется специальное программное обеспечение
Использование двухслойных покрытий из резиновой крошки	Высокая цена, разноцветность в случае проведения ремонтных работ.
Использование в зимний период времени модульных резиновых плиток	Высокая цена
Использование в зимний период времени резиновых рулонных материалов	Малая долговечность, возможные механические повреждения
Строительство тёплых отапливаемых надземных переходов	Финансовые затраты на стадии внедрения, большое энергопотребление

Анализ таблицы позволяет сделать вывод: перспективные способы защиты конструкций от гололеда с одновременным обеспечением безопасности для пользователей сооружений требуют довольно больших финансовых затрат на стадиях внедрения, но высокая цена будет существенно меньше при массовом внедрении и за счет экономии средств на восстановление конструкций после коррозионных повреждений и затраты на устранение последствий травматизма на пешеходных переходах.

Внедрение в практику автодорожного мостостроения стали 14ХГНДЦ

Ключевая роль в мостостроении обеспечение безопасности и долговечности конструкции играет выбор материалов. Одним из важных среди них является сталь. Однако при эксплуатации мостов она подвергается различным атмосферным воздействиям, сопровождающимся коррозией, что приводит к снижению прочности, повреждению конструкции и, как следствие, снижению ее долговечности.

Для решения этой проблемы эффективна атмосферостойкая сталь марки 14ХГНДЦ. Этот материал проходит специальную обработку, которая позволяет ему сохранять свои свойства в течение длительного времени при эксплуатации в условиях высокой влажности, солености и многократных температурных перепадов.

Применение атмосферостойкой стали в мостовом строительстве имеет ряд преимуществ. Во-первых, это повышенная долговечность конструкции. Мосты, построенные из такого материала, благодаря устойчивости к атмосферным воздействиям имеют срок эксплуатации значительно дольше, чем мосты из традиционной стали. Во-вторых, это снижение затрат на обслуживание и ремонт сооружений, поскольку атмосферостойкая сталь не требует такого частого обслуживания и ремонта, как обычная сталь, что позволяет сократить расходы.

Сталь марки 14ХГНДЦ является легированной конструкционной сталью, которая содержит в своем составе хром, никель, молибден и другие элементы. Этот материал обладает высокой прочностью и устойчивостью к различным воздействиям, что делает его перспективным в различных направлениях строительства, включая мостостроение.

Низколегированная марка стали 14ХГНДЦ по ГОСТ 6713-2021 «Прокат из конструкционной стали для мостостроения. Технические условия» с повышенным сопротивлением к атмосферной коррозии является разработкой предприятия «Уральская Сталь» совместно с ЦНИИчерметом им. И. П. Бардина. Коррозионностойкие свойства этого материала позволяют эксплуатировать металлоконструкции без лакокрасочного покрытия, обеспечивая сокращение эксплуатационных затрат примерно на 30% в течение жизненного цикла.

Одной из особенностей стали 14ХГНДЦ является ее высокая устойчивость к коррозии (рис. 1). Поверхностный слой металла после нескольких годовых циклов воздействия окружающей среды покрывается оксидной пленкой, обеспечивающей самозатухание коррозионных процессов. Поверхность приобретает однородную структуру темно-коричневого цвета без каких-либо включений в локальных местах. Стабильность материала достигается за счет наличия в составе стали хрома и никеля, которые и образуют защитный слой на поверхности. Благодаря этому сталь 14ХГНДЦ может использоваться в условиях повышенной влажности, что актуально для мостовых конструкций.

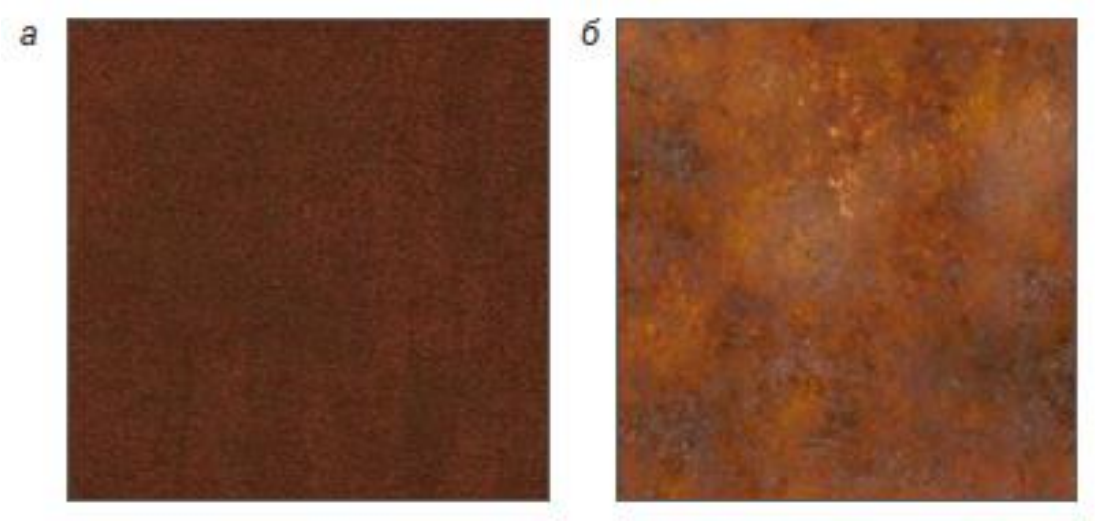


Рисунок 10 – Поверхность стали без обработки лакокрасочными материалами после трех лет эксплуатации: а — сталь 14ХГНДЦ, б — сталь 15ХСНД



Рисунок 11 – Мост в Пинежском районе Архангельской области через р. Юбру на региональной автомобильной дороге Пиринемь — Труфаново с пролетами из стали 14ХГНДЦ



Рисунок 12 – Мост через р. Пуксу в Пинежском районе Архангельской области на региональной автомобильной дороге с пролетами из стали 14ХГНДЦ [2]

В автодорожном мостостроении до недавнего времени отсутствовали объекты внедрения атмосферостойкой стали марки 14ХГНДЦ. Впервые она была применена на новой автомобильной дороге первой категории М-11 «Нева» на путепроводе на ПК 2565+44,29 (рис. 1) и мосту через р. Шоша на ПК 1260+38.



Рисунок 13 – Монтаж пролетных строений моста через р. Шоша на ПК 1260+38 автомобильной дороги М-11 «Нева» (из фототеки ООО «Автодор–Инжиниринг»)

Возможность задействовать сталь марки 14ХГНДЦ при проектировании и строительстве автодорожных мостовых сооружений регламентируется ГОСТ Р 55374-2012 и СП 35.13330.2011. Основная проблема этих документов заключается в ограничении ее применения в конструкциях с монтажными сварными соединениями. В связи с этим Государственная компания «Авто-дор» совместно с ОАО «Уральская сталь» и Головным аттестационным центром

сварочного производства (ГАЦ «Мосты») Филиала АО «ЦНИИС» НИЦ «Мосты» разработала СТО АВТОДОР 2.19-2015 [5], в котором отражены основные требования к конструкциям пролетных строений мостовых сооружений из атмосферостойкой стали марки 14ХГНДЦ в части проектирования, заводского изготовления, монтажной сварки и приемки работ.

В 2022 году на базе лабораторий и проектных отделов АО «ЦНИИТС» по заказу ООО «ЕВРАЗ ТК» была выполнена научная работа по исследованию возможности применения стальных прокатных двутавров для пролетных строений малых мостов с использованием стали 14ХГНДЦ, которая, повторим, благодаря особому химическому составу и специальным легирующим элементам обладает повышенной стойкостью к коррозии и требуемой прочностью.

Использование атмосферостойких сталей в мостостроении — успешное инженерное решение, поскольку в среднем за 100-летний нормативный период эксплуатации моста затраты на антикоррозийную защиту превышают стоимость самих металлоконструкций. Внедрение и активное применение в коррозионностойком прокате позволяет существенно снизить затраты на содержание мостовых сооружений.

Предлагаемая технология может конкурировать с традиционными решениями, но при этом не потребуется окраски в течение всего срока службы конструкций. Таким образом, атмосферостойкая сталь будет оптимальным вариантом для малообслуживаемых и не окрашиваемых мостов.

Важно отметить, что своевременная стандартизация ряда технологических особенностей производства работ с применением упомянутой стали позволила сформировать и апробировать перечень важных показателей, строгое соблюдение которых позволит создавать высокопрочные и устойчивые пролетные строения дорожных транспортных сооружений со снижением первоначальных затрат на 5–10%, а эксплуатационных — на 30%. Обеспечение качества сварки имеет особое значение: сварные соединения являются неотъемлемой частью металлического пролетного строения и гарантируют его равномерно-распределенную работу.

Критерии качества сварных соединений стали 14ХГНДЦ

Швы заводских и монтажных сварных соединений автодорожных пролетных строений из стали 14ХГНДЦ должны обладать прочностью и коррозионной стойко стью не ниже, чем основной металл. Помимо этого, сварные соединения в соответствии с СТО АВТОДОР 2.19-2015 [5] должны соответствовать следующим критериям:

1) иметь гладкую или равномерно допустимую чешуйчатую поверхность с плавными переходами к основному металлу, без наплывов и не допускаемых подрезов;

2) в многопроходных швах облицовочные валики должны перекрывать друг друга на 1/3 ширины, а глубина межваликовых впадин не должна превышать 0,5 мм для швов, расположенных поперек основного усилия, и 1,0 мм — для швов, расположенных вдоль усилия;

4) все кратеры должны быть вырезаны и заварены;

5) замыкание («закольцовку») угловых швов для обеспечения их герметичности допускается выполнять катетом 4 мм с допуском +2,0, –0 мм с учетом указаний п. 6.45 СТО АВТОДОР 2.19-2015, если иное не указано в чертежах КМ;

6) все свободные кромки сварных конструкций автодорожных мостов, путепроводов и эстакад из стали 14ХГНДЦ, в том числе после срезки выводных планок и зачистки торцов швов, следует скруглять радиусом не менее 0,3 мм;

7) усиления на концевых участках заводских и монтажных стыковых швов, выходящие на свободные кромки, должны быть обработаны шлифмашинкой заподлицо с основным металлом на длине не менее 50 мм;

8) при пересечении угловым швом монтажного стыкового шва усиление стыкового шва должно быть зачищено заподлицо с основным металлом на длине ≈100 мм в зоне пересечения швов;

9) по всем зонам пересечений и примыканий стыковых швов (зоны «крестов» и «полукрестов») их усиления с лицевой и обратной сторон на длине по 150 мм в каждую сторону следует зачистить шлифмашинкой заподлицо с основным металлом;

10) на конструкциях не должно быть ожогов основного металла сваркой; выявленные ожоги должны быть зачищены абразивным кругом до полного удаления следов ожогов;

11) в сварных стыковых соединениях, выполненных односторонней автоматической сваркой под флюсом с МХП на стекло-медных подкладках, допускаются «подмывы» по линии сплавления обратного валика шва с основным металлом на глубину до 1,0 мм, при этом радиус в дне «подмыва» составляет $R \geq 2,0$ мм, что обусловлено всем комплексом конструктивно-технологических особенностей сварки стыковых соединений на этом типе медных подкладок; в тех единичных случаях (при нарушении технологии сборки и сварки таких стыков), когда глубина «подмыва» более 1,0 мм, последний следует заварить ручной дуговой сваркой и обработать затем шлифмашинкой. При несоблюдении хотя бы одного из требований сварные швы подлежат ремонту до проведения ультразвукового контроля и затем повторному визуально-измерительному

контролю. При неразрушающем контроле качества швов оценивают наличие, число, характер и размеры поверхностных и внутренних дефектов.



Рисунок 14 – Монтаж пролетных строений путепровода на ПК 2565+44,29 автомобильной дороги М-11 «Нева» (из фототеки ООО «Автодор–Инжиниринг»)

Результаты испытаний сварных соединений из стали 14ХГНДЦ

Примеры монтажных швов на автодорожных сооружениях представлены на рис. 6, 7. При проведении испытаний осуществлялся визуальный контроль сварного соединения на наличие недопустимых наружных дефектов или некачественной подготовки. Шероховатость поверхности при механической обработке зон контроля должна быть не ниже Rz40 по ГОСТ 2789. При обнаружении в металле сварных соединений трещин должна быть установлена их протяженность и глубина с помощью ультразвуковой дефектоскопии (УЗД). Важно отметить, что согласно требованиям нормативно-технической документации и во избежание необратимого влияния некачественных сварных швов на прочность и устойчивость конструкции пролетного строения исправление дефектного участка допускается не более двух раз, так же при условии недопущения образования дополнительных дефектов в результате их механической обработки и проверки. В процессе возведения сооружений в рамках строительного контроля специалисты ООО «Автодор-Инжиниринг» осуществляли оценку качества заводских и монтажных сварных соединений ультразвуковой дефектоскопией (УЗД) в соответствии с методами ультразвукового контроля (УЗК) ГОСТ Р 55724-2013 и требованиями СТО-ГК «Трансстрой»-005-2007. Применялся дефектоскоп УД 2-70. По результатам проверки 54 швов на левом и правом пролетном строениях недопустимые дефекты не обнаружены. Параллельно специалисты АО «ЦНИИС» провели независимые контрольные испытания сварных технологических проб. Результаты показали, что технология выполнения сварочных работ, режимы

сварки, оборудование и материалы обеспечивают получение механических свойств сварных соединений обычного исполнения, в соответствии с требованиями нормативной документации для конструкций сварных пролетных строений стальных мостов. Химический анализ металла шва подтвердил, что он по химическому составу близок стали 14ХГНДЦ и, следовательно, обеспечивает атмосферную коррозионную стойкость сварных швов на уровне основного металла.

Учитывая технологическую специфику применяемого материала, значительный объем и ограниченные сроки производства работ и, как следствие, требуемую высокую производительность смен, все-таки не удалось избежать незначительных отклонений показателей качества сварных монтажных соединений. Все дефекты, выявленные в результате операционного и приемо-сдаточного контроля, были устранены. Общие и местные остаточные деформации исправлены термической и термомеханической правкой.



Рисунок 15 – Монтажный шов, промежуточный этап. Путепровод на ПК 2565+44,29 автомобильной дороги М-11 «Нева» (из фототеки ООО «Автодор–Инжиниринг»)



Рисунок 16 – Монтажный шов. Путепровод на ПК 2565+44,29 автомобильной дороги М-11 «Нева» (из фототеки ООО «Автодор–Инжиниринг»)

Заключение

Предлагаемые в статье конструктивные улучшения позволяют значительно минимизировать образование гололёда на надземных пешеходных переходах, а также защитить основные несущие конструкции от коррозии, тем самым продлить срок их эксплуатации.

При эксплуатации надземных пешеходных переходов и металлических мостов, с учетом накопленного опыта, было выявлено, что на срок службы объектов оказывает воздействие большое количество факторов, таких как воздействие ультрафиолетового излучения, ориентация сооружения относительно сторон света, воздействие от выбросов автотранспортом вредных газов (CO2), наличие льда на поверхности конструкций.

Финансирование работ по зимнему обслуживанию дорог, включая уборку снега и обработку пешеходных дорожек, а также полотна надземных пешеходных переходов от гололеда, включено в бюджеты регионов России. Однако возможные проблемы, связанные с некачественной уборкой пешеходных зон, могут привести к дополнительным затратам для бюджета региона на покрытие ущерба от травм, полученных пешеходами, а также повреждения антикоррозионной защиты конструкций самого надземного перехода.

Для обеспечения защиты конструкций от коррозии на стадии проектно-изыскательских работ и возведения необходимо, принимать во внимание

современные технические решения, которые направлены на повышение срока эксплуатации для всех основных частей надземных пешеходных переходов и металлических мостов.

Для продления срока службы и повышения надежности мостовых сооружений, выполненных из металла, требуется применять как первичную защиту, так и задействовать вторичную антикоррозионную защиту.

В заключение хотелось бы еще раз отметить высокую необходимость правильного выбора антикоррозионной защиты металлических мостов и надземных пешеходных переходов для тех или иных условий. Разнообразие материалов обширно и подходить к выбору нужно серьезно, оценивая все факторы. Предлагаемые выше мероприятия значительно минимизируют ущерб, связанный с расходованием средств из бюджета страны, средств самих граждан на лечение, а также продлят срок эксплуатации самого надземного пешеходного перехода.

Литература:

1. Сосенкина И.М., Осокин Н.А., Климентова А.Ю. Экономические последствиягололедного травматизма в регионах РФ// Стратегические решенияи риск-менеджмент. 2019. № 1. С. 58–69. DOI:10.17747/2618-947X-2019-1-58-69
2. Володченко В.С., Ланцова Д.С., Метельницкая Т.А., Бышок К.А., Романов Э.В., Кадуков К.А. Обогреваемые дороги и тротуары //Вопросы науки и образования. 2018. № 26 (38). С. 91-92.
3. Королёв А.К., Кожевникова Н.Ю. Опасность гололёда// В книге: Научно-практическое обеспечение развития агропромышленного комплекса в современных условиях. Сборник тезисов круглого стола. 2021. С. 144-147.
4. Котовчихина Е.А. Применение антигололёдных реагентов для дорожных покрытий. оценка влияния на поверхностные водные объекты// В книге: Смотр-конкурс научных, конструкторских и технологических работ студентов Волгоградского государственного технического университета. Тезисы докладов. Редколлегия: С.В. Кузьмин [и др.]. 2019. С. 377-378.
5. Доманова А., Латыпова В. Способы борьбы с гололедом//В сборнике: Знание. Наука. Творчество. Материалы Всероссийской научно-практической конференции учащейся молодёжи. Отв. редактор Е.Ф. Гордиевская. 2020. С. 44-46.
6. Ефимова В.Л., Цыдыпова Д.О. Сравнение международного и российского опыта по уборке снега с дорог// В сборнике: Наземные транспортно-технологические комплексы и средства. Материалы Международной научно-технической конференции. 2015. С. 109-112.
7. Васильева Л.А., Кузнецова И.И. Совершенствование технологий зимнего содержания тротуаров для повышения безопасности пешеходов// В сборнике: Актуальные направления развития техники и технологий в России и за рубежом – реалии, возможности, перспективы. Материалы и доклады. 2021. С. 269-272.

8. Rassas K.D., Ma K., Mikhailova Z.S., Vlasova J.E. Antigololednye reagents: pros and cons//В сборнике: XXI international and interregional bios-forum and xxi youth bios-olimpiad. Сборник материалов. 2016. С. 425-427.
9. Галеев С.Х., Муртазин Р.Ш., Белавин М.В. Обоснование выбора методов удаления снежно-ледяного покрова с проезжей части// Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Технологическая. 2021. № 9. С. 31-36.
10. Шац М.М., Скачков Ю.Б., Черепанова А.П. Уличный травматизм г. Якутска как производная состояния дорожных систем// Якутский медицинский журнал. 2017. № 3 (59). С. 113-116.
11. Сатышев С.Н. Особенности обеспечения безопасности движения и организации зимнего содержания велосипедных дорожек в зимний период // Теория и практика современной науки. 2022. № 5 (83). С. 170-178.
12. Панюков Д.И., Ганичев А.И. Человеческий фактор в проблеме обеспечения безопасности дорожного движения// В сборнике: Прогрессивные технологии в транспортных системах. Материалы XVII международной научно-практической конференции. Оренбург, 2022. С. 445-451.
13. Петрович И.Г., Валиев Ш.Н., Каменских А.Н., Кочетков А.В. Устройство мембранной напыляемой гидроизоляции из композиционных материалов на мостах и объектах капитального строительства// Новые технологии в строительстве. 2023. Т. 9. № 1 (43). С. 13-32.
14. Валиев Ш.Н., Каменских А.Н., Кочетков А.В. Сравнительный анализ гидроизоляции мостовых сооружений под литой асфальтобетон// Новые технологии в строительстве. 2023. Т. 9. № 2 (44). С. 12-23.
15. Тарасов Д.Н. Анализ гидроизоляционных материалов, применяемых в искусственных дорожных сооружениях// В сборнике: Ресурсосбережение и экология: агропромышленный комплекс, проектирование и строительство. сборник научных статей Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров. Курск, 2023. С. 405-407.
16. Зорина Е.А., Ким Д., Наборщикова Д.Н. Особенности антикоррозийного покрытия металлических мостов// В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 311-314.
17. Аверченко Г.А., Баланин А.П., Новоселов А.В., Даляев Н.Ю. Пути повышения качества содержания, ремонта, реконструкции и строительства мостовых сооружений// Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2021. № S3 (15). С. 36-48.
18. Бондарев Б.А., Бондарев А.Б., Жидков В.К., Ишматов К.Д. Влияние гидроизоляции на долговечность мостовых сооружений// В сборнике: Современные проблемы материаловедения. Сборник научных трудов III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, академика Российской академии архитектуры и строительных наук Е.М. Чернышова. Липецк, 2022. С. 75-79.
19. ЯПлакалъ: [сайт].-URL: https://www.yaplakal.com/forum2/ st/25/topic2538593.html (дата обращения: 04.02.2024).
20. Alibaba: [сайт].-URL:https://russian.alibaba.com/product-detail/Customized-Compound-Corrugated-Cross-Bar-Steel-1600524794622.html (дата обращения: 04.02.2024).

21. ООО «ПКФ «СТК»: [сайт].-URL:https://skxspb.ru/product-category/reshetchatyj-nastil/pressovannye-stupeni/ (дата обращения: 04.02.2024).
22. МАСТЕРФАЙБР: [сайт].-URL:https://masterfibre-ural.ru/pokritie-dlya-ploschadok-s-gidroizolyaciey-mastermarin/?ysclid=lsbz8yfjrb150033762 (дата обращения: 04.02.2024).
23. МАСТЕРФАЙБР: [сайт].-URL:https://www.masterfibre.ru/ vypolnennye-obekty/nadzemnyj-peshehodnyj-perehod/ (дата обращения: 04.02.2024).

УДК 504.064.36

Мониторинг напряжённо-деформированного состояния мостовых сооружений

***Потреба Вероника Георгиевна**, магистрант*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Гречухин В.А., канд. техн. наук, доцент
кафедры «Мосты и тоннели»

Мировая практика постоянного и непрерывного мониторинга за состоянием мостов ведется с 1990-х годов. Состояние мостов анализируется с позиций оценки их изменений.

Безопасность мостовых сооружений – вопрос первостепенной важности, особенно для крупных мостов, классифицируемых как «большие мосты», и мостов, расположенных на международных транспортных коридорах. Отказ таких сооружений может привести к колоссальным экономическим и социальным потерям, остановив транспортные потоки, нарушив жизнеобеспечение целых регионов.

Применение традиционных способов, а именно периодический осмотр и обследование сооружений не дает возможность оперативного контроля за состоянием конструкций, в том числе при наступлении предаварийного состояния. Это диктует необходимость поиска новых способов и совершенствования уже известных. Одним из таких способов является мониторинг состояния конструкций. Мониторинг состояния мостов является важным процессом, влияющим на безопасность и долговечность мостов. Контроль изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) несущих конструкций мостов и путепроводов позволяет своевременно выявлять дефекты и прогнозировать возможные проблемы, а также принимать меры по их устранению.

К важнейшим аспектам, требующим дополнительного более глубокого изучения и уточнения, относятся в первую очередь исследование НДС конструкции под нагрузкой, включая тяжеловесную и сверхнормативную.

Существует несколько способов мониторинга мостовых сооружений. Одним из них является автоматизированная система мониторинга (АСМ). АСМ представляет собой совокупность технических средств для сбора информации от первичных датчиков контроля, передачи сигналов через блоки сбора данных в центральный модуль данных системы с дальнейшей отправкой сигналов по

каналам мобильной связи и интернет на внешний интернет-сервер с установленным программным обеспечением.

Основные функции АСМ:

- непрерывный онлайн мониторинг (контроль напряженно-деформированного состояния конструкций);
- мгновенное оповещение о потенциальных угрозах возникновения проблем в конструкции (уведомление могут приходить на электронную почту и в чат-бот Telegram).

АСМ предназначены для контроля НДС конструкций мостовых сооружений в процессе:

1. Строительства – выполнение ответственных этапов работ (например, при надвижке пролетного строения)
2. Испытание сооружения перед вводом в эксплуатацию
3. При эксплуатации сооружения на протяжении всего срока службы.

Есть два варианта исполнения применяемого оборудования АСМ: беспроводной вариант (Рис. 1а) для непостоянного срока использования (строительство, испытания и временный мониторинг в процессе эксплуатации сооружения), и проводной вариант (Рис.1б) для длительного и постоянного срока использования (строительство и эксплуатация).

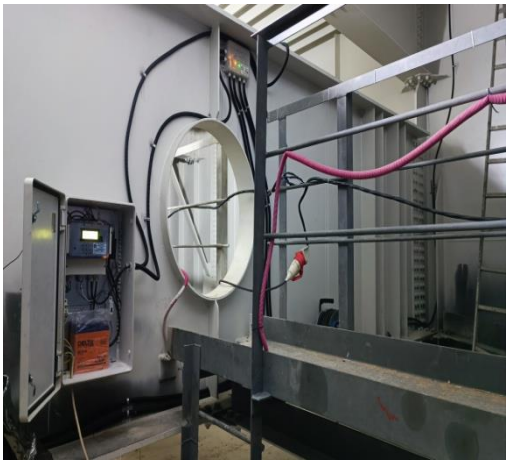
а)  б) 

Рисунок 1 – а) беспроводной вариант оборудования; б) проводной вариант оборудования

Этапы выполнения работ с использованием АСМ при проектировании, строительстве, испытании и эксплуатации сооружения (на примере моста через р. Днепр на Юго-Западном обходе г. Могилева):

1. Расчет строительных конструкций с применением расчетных программных комплексов и построение «пространственной» схемы работы сооружения (Рис. 2).

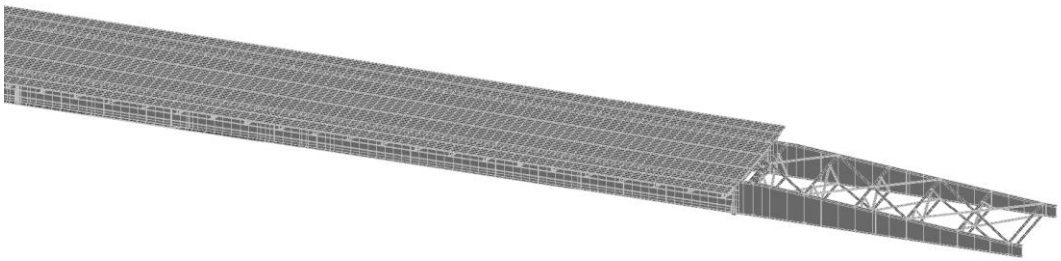
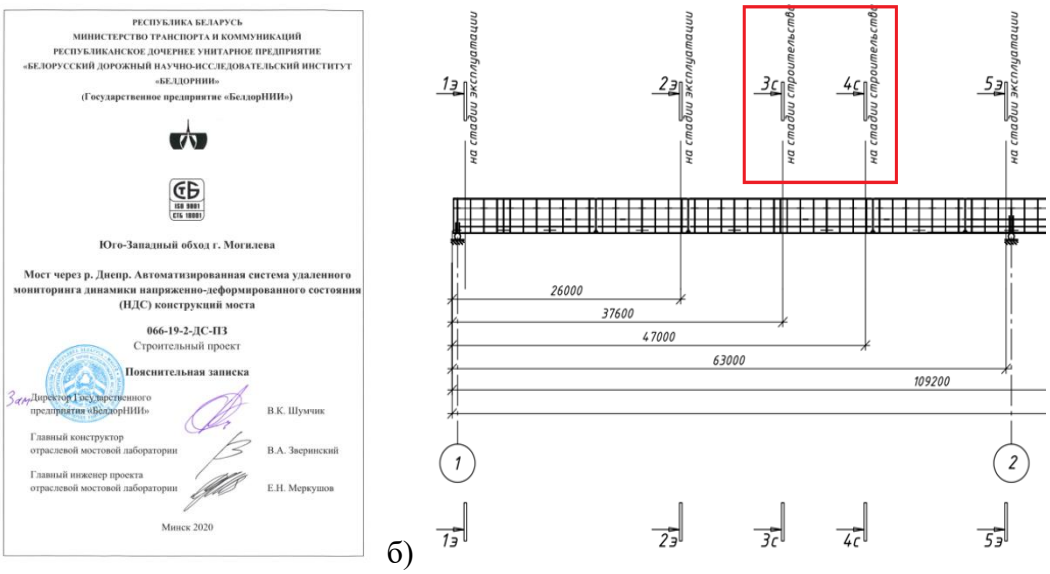


Рисунок 2 – пространственная схема работы сооружения

2. Разработка проекта установки АСМ с указанием контролируемых сечений на этапе строительства и эксплуатации сооружения (Рис. 3а, 3б).



а) б)

Рисунок 3 – а) проект установки АСМ; б) контролируемые сечения

3. Установка компонентов АСМ в соответствии с проектом и настройка веб-страницы на удаленном сервере (Рис.4)



Рисунок 4 – установка АСМ

4. Выполнение мониторинга в режиме онлайн на всех ответственных этапах строительства (надвижка пролетного строения).
5. Экспресс-анализ получаемых данных от АСМ на всех ответственных этапах строительства (Рис. 5).

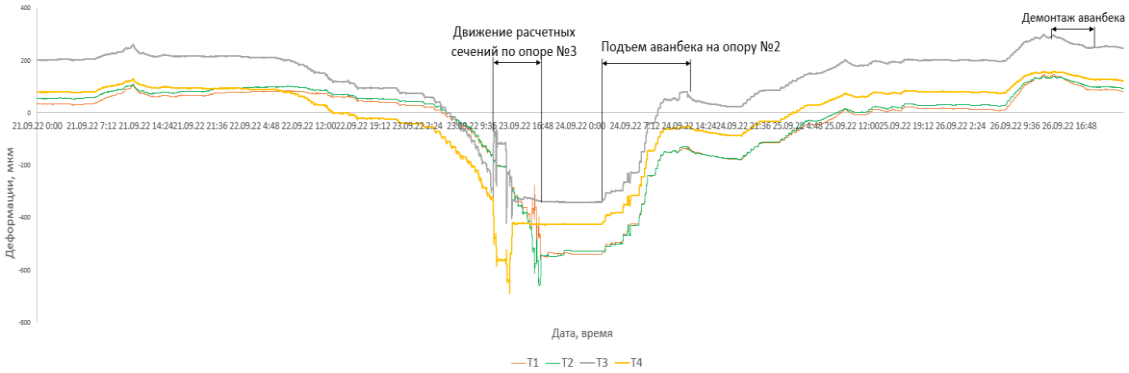


Рисунок 5 – Данные от АСМ

6. Сравнительный анализ расчетных и фактических значений напряжений в контролируемых сечениях пролетного строения (Рис. 6).

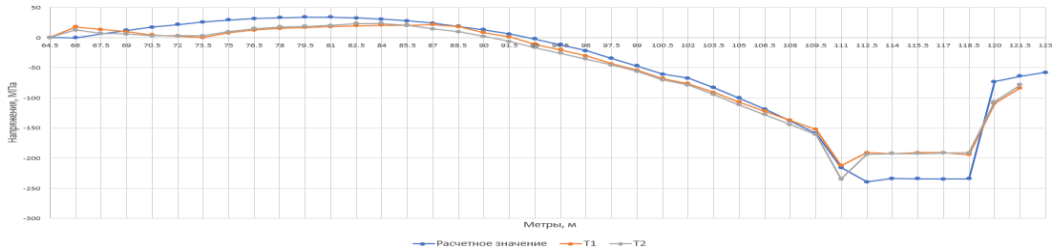


Рисунок 6 – Напряжения в контролируемых сечениях

После прохождения всех этапов делают **выводы** по результатам проведенного мониторинга на этапе строительства:

1. Выявленные всплески деформаций (напряжений) в расчетных сечениях, достигающие 20% от максимальных значений, при прохождении надопорных участков указывают на необходимость учитывать данный факт при выполнении расчетов при проектировании надвижки пролетного строения.

2. Установлено, что на всех этапах надвижки максимальные значения деформаций и напряжений в расчетных сечениях нижнего пояса стальных балок не превышали расчетных значений и расчетного сопротивления стали по пределу текучести.

3. Достоинством данной системы мониторинга оказалось возможность контролировать процесс надвижки в режиме реального времени в любое время и любом месте, где есть доступ к сети интернет, используя персональный компьютер или даже смартфон.

4. Система удаленного мониторинга напряженного-деформированного состояния пролетного строения позволила выполнять непрерывный контроль за деформациями и напряжениями в поясах главных балок, что способствовало безопасному осуществлению надвижки пролетного строения длиной 378 м без использования временных опор, что снизило затраты и сократило срок строительства.

Таким образом, автоматический непрерывный мониторинг деформаций и напряжений в наиболее нагруженных сечениях мостов, расположенных на основных транспортных магистралях страны, позволяет оперативно выявлять опасные изменения, предпринимать необходимые меры и предотвращать аварийные ситуации. Вложение средств в систему мониторинга окупается многократно за счет предотвращения серьезных аварий, а также обеспечения бесперебойной транспортной инфраструктуры. Мониторинг обеспечит безопасную эксплуатацию больших мостовых сооружений на автодорогах Республики Беларусь за счет непрерывного контроля поведения конструкций и напряженно-деформированного состояния наиболее нагруженных сечений при проходе как неконтролируемого потока автотранспорта, так и тяжеловесных крупногабаритных транспортных средств (ТКТС) и сверх нормативных нагрузок (СНН).

Статья написана частично на основании материалов государственного предприятия «БелдорНИИ».

УДК 678:620.169.1

Оценка долговечности резиновых уплотнительных профилей обделки тоннелей

***Утяшева Лилия Рифовна**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги, мосты и тоннели»
Казанский государственный
архитектурно-строительный университет, г. Казань
Научный руководитель – Смирнов Д.С., канд. техн. наук, доцент
кафедры «Строительные материалы»

С увеличением интенсивности движения пассажирского и транспортного потоков в городах обострился вопрос снижения загруженности уличной сети дорог. Поэтому наиболее перспективной идеей совершенствования транспортной системы стало развитие такого внеуличного вида транспорта, как метрополитен.

При строительстве тоннелей метрополитенов все чаще применяют проходческие щиты, позволяющие увеличить степень механизации процесса проходки, ее темп, а также обеспечивающие безопасность при производстве работ. На базе механизированных щитов создаются проходческие механизированные комплексы, используемые в различных инженерно-геологических условиях. Несущие конструкции тоннелей при данном способе строительства выполняют чаще всего в виде обделок кругового очертания, которые обеспечивают наиболее благоприятные условия статической работы конструкции в условиях всестороннего сжатия [1].

Герметичность конструкции тоннелей достигается за счет расположенного по периметру тюбинга резинового уплотнителя. Важно знать срок службы данных уплотнителей, т.к. они непосредственно влияют на долговечность тоннелей. Данные резиновые уплотнители имеют характерное сечение с пустотами, которые позволяют им расширятся в боковом и сжиматься в вертикальном направлениях, что повышает площадь соприкосновения данных уплотнителей (Рис. 1) [2].

Одним из наиболее важным параметром оценки долговечности резиновых прокладок считается остаточное упругое усилие, которое через 50 лет при расчетной температуре эксплуатации в 20°С должно составлять более 70 % от начального максимального усилия [3].

Для определения деформативности и упругого отпора уплотнительных прокладок сотрудниками Казанского государственного архитектурно-

строительного университета была разработана уникальная расчетно-экспериментальная методика с учетом релаксационных напряжений.

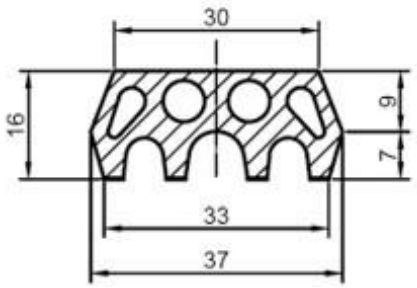


Рисунок 1 – Поперечное сечение резиновой уплотнительной прокладки

При прогнозировании долговечности уплотняющих профилей с учетом релаксационных процессов, происходящих в материале уплотнителей под воздействием эксплуатационных факторов, полная деформация γ при нагружении образца и до снятия нагрузки равна сумме упругой $\gamma_{\text{упр}}$, высокоэластичной $\gamma_{\text{вэ}}$ и пластической $\gamma_{\text{пл}}$ деформаций:

$$\gamma = \gamma_{\text{упр}} + \gamma_{\text{вэ}} + \gamma_{\text{пл}}. \quad (1)$$

После разгрузки образца мгновенно исчезает упругая составляющая деформаций, определяемая относительным прогибом. Путем измерений остаточного прогиба в течение определенного времени после разгрузки определяется значение вязкоупругой составляющей деформаций и значение пластической составляющей деформаций (Рис. 2).

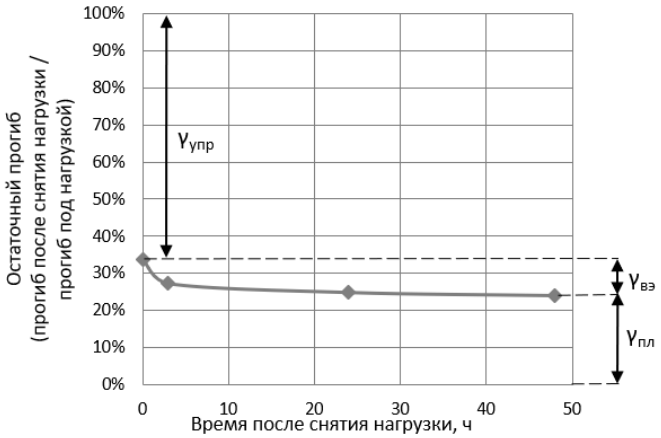


Рисунок 2 – Схема определения упругой, вязкоэластичной и пластической составляющей деформаций

Методика оценки долговечности резиновых уплотнителей заключается в том, чтобы при поэтапном термическом старении образца фиксировать величину пластический деформаций при придании ему проектного напряжения.

Для этого были созданы струбцины, у которых нижняя пластина имеет паз, геометрический размер которого соответствует размеру паза в железобетонном блоке тоннельной обделки (Рис. 3). Резиновый образец фиксируют в струбцине, устанавливается между плитами пресса и сжимается до достижения проектного зазора в 4,2 мм, производится запись приложенной нагрузки, т.е. регистрируется максимальное начальное усилие, относительно которого в будущем будет рассчитываться изменение упругого отпора материала. Данная нагрузка фиксируется в проектном положении с помощью болтов и гаек (Рис. 4), после чего образцы устанавливаются в термостат на заданный тепловой режим. По три образца выдерживались при температуре 20ºС, 40ºС, 60ºС и 80ºС.

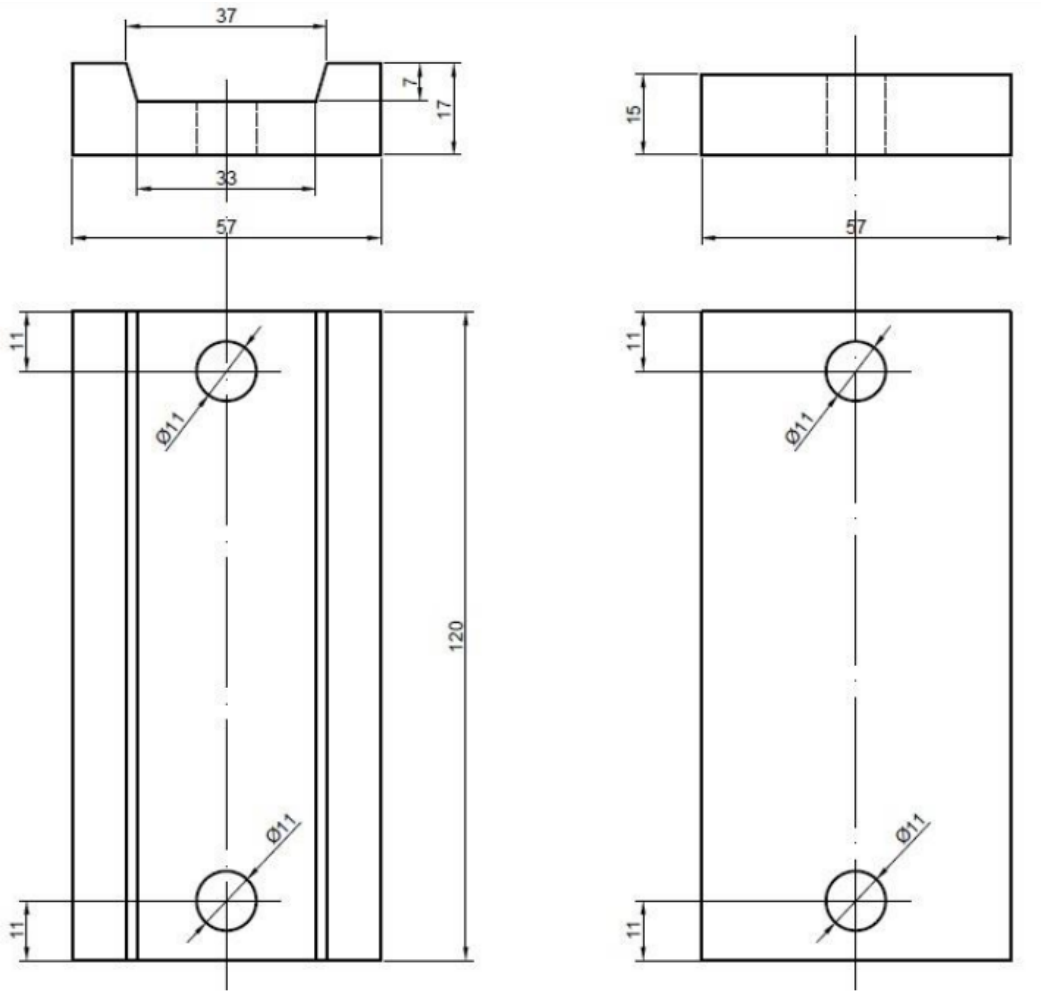


Рисунок 3 – Струбцины для обжатия уплотнительных прокладок

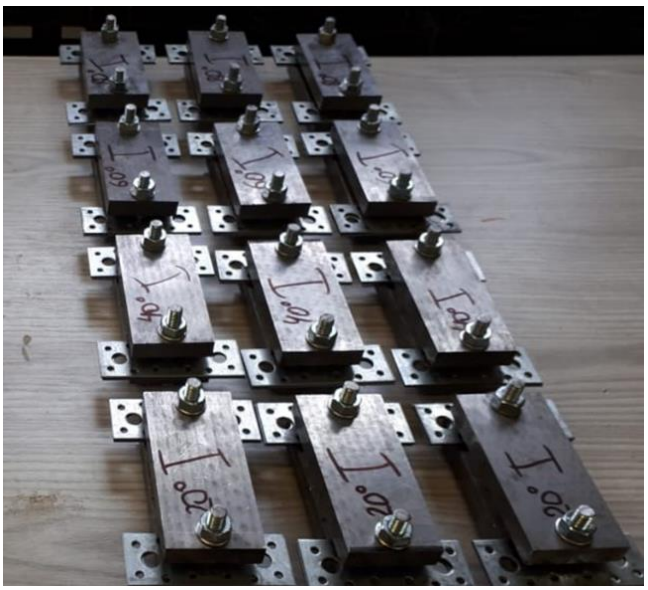


Рисунок 4 – Подготовленные к термическому старению образцы

После выдержки образцы извлекались из струбцин и остывали при комнатной температуре в течение 24 часов. Затем образцы снова сжимались в струбцинах под прессом до проектного значения. При достижении зазора в 4,2 мм, производилась запись усилия сжатия образца. Данные замеры после выдержки образцов при заданных тепловых режимах производились в течение 1, 3, 7, 14 и 28 суток.

По завершении термического старения строится график для каждой температуры старения (Рис. 5). График отражает зависимость снижения величины упруго отпора с течением времени, которое выражено в виде натурального логарифма по времени старения образцов.

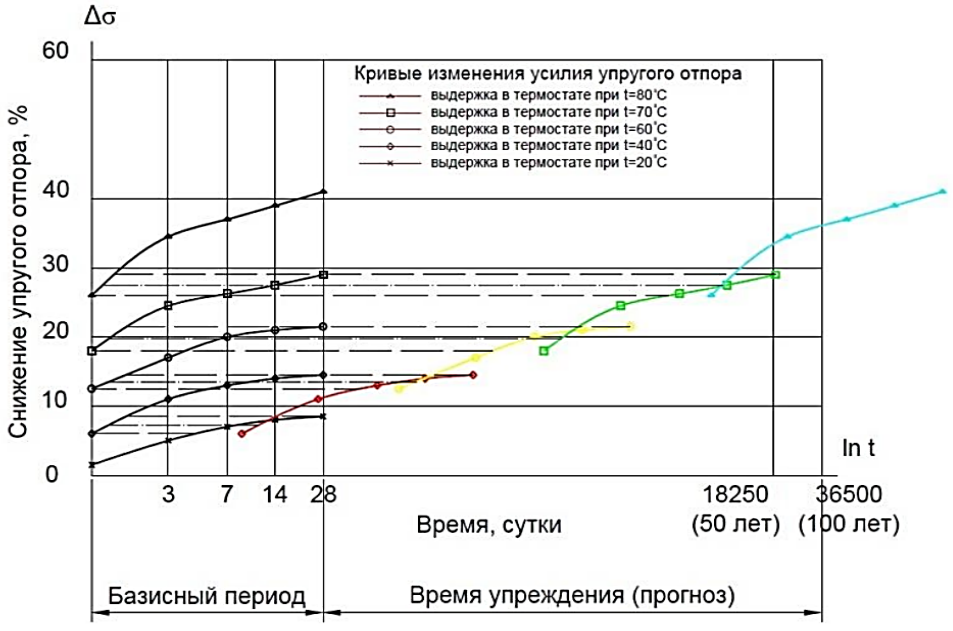


Рисунок 5 – Графический способ прогнозирования изменения упругого отпора

Для прогнозирования поведения резиновой уплотнительной прокладки использовалась математическая модель вязко-упругого тела:

$$\sigma_{(t)} = E \cdot \varepsilon_{(t)} - \int_0^t R \cdot (t - \tau) \cdot \varepsilon_{(t)} d\tau. \quad (2)$$

Тогда изменение упругого отпора:

$$\Delta\sigma = \int_0^t R \cdot (t - \tau) \cdot \varepsilon_0 d\tau. \quad (3)$$

Поскольку определение изменения упругого отпора в течение продолжительного времени экспериментально не представляется возможным, использовали температурно-временную аналогию. Она основана на предположении, что внутренняя вязкость материала уменьшается при повышении температуры пропорционально некоторому коэффициенту α_T, зависящему только от температуры. Тогда можно предположить, что при температуре T упругий отпор будет в α_T раз меньше, чем при исходной температуре T_0. При $T = T_0$, $\alpha_T = 1$.

$$\Delta\sigma = \int_0^t R \cdot (t - \tau) \cdot \varepsilon_0 \cdot \alpha_T d\tau. \quad (4)$$

Для определения изменения упругого отпора $\Delta\sigma$ через большой промежуток времени вместо реального времени t подставляем t'/α_T:

$$\Delta\sigma = \int_0^{\frac{t'}{\alpha_T}} R \cdot \left(\frac{t'}{\alpha_T} - \frac{\tau'}{\alpha_T}\right) \cdot \varepsilon_0 \cdot \alpha_T d\tau'. \quad (5)$$

Графический способ позволяет наиболее наглядно спрогнозировать изменение упругого отпора, т.к. предоставляет возможность увеличить временной интервал в сотни, тысячи и более раз. Если $t = t'/\alpha_T$, тогда $t' = t \cdot \alpha_T$. Прологарифмируем указанное соотношение и получим:

$$ln\, t = ln\, t' - ln\, \alpha_T. \quad (6)$$

Таким образом, если нам известны зависимости изменения упругого отпора $\Delta\sigma$ при различных температурах в зависимости от логарифма времени *lnt*, получим:

$$\Delta\sigma = f(ln\, t' - ln\, \alpha_T). \quad (7)$$

Следовательно, чтобы получить величину упругого отпора $\Delta\sigma$ при температуре T_0 для большего временного интервала, надо взять график $\Delta\sigma = f(ln\, t)$ при температуре $T > T_0$ и сместить его на $ln\, \alpha_T$. (Рис. 5). Построенная с помощью таких сдвигов кривая называется обобщенной (Рис.6).

Данные испытаний кратковременных (28 суток) релаксационных испытаний, позволили методом температурно-временной аналогии спрогнозировать изменение значения упругого отпора взятого образца уплотнительной резиновой прокладки в возрасте 50 лет и на основании этого предположить, что остаточные упругие усилия после 50 лет эксплуатации при температуре 20ºС составят 71 % от начальных максимальных усилий, что соответствует требованиям.

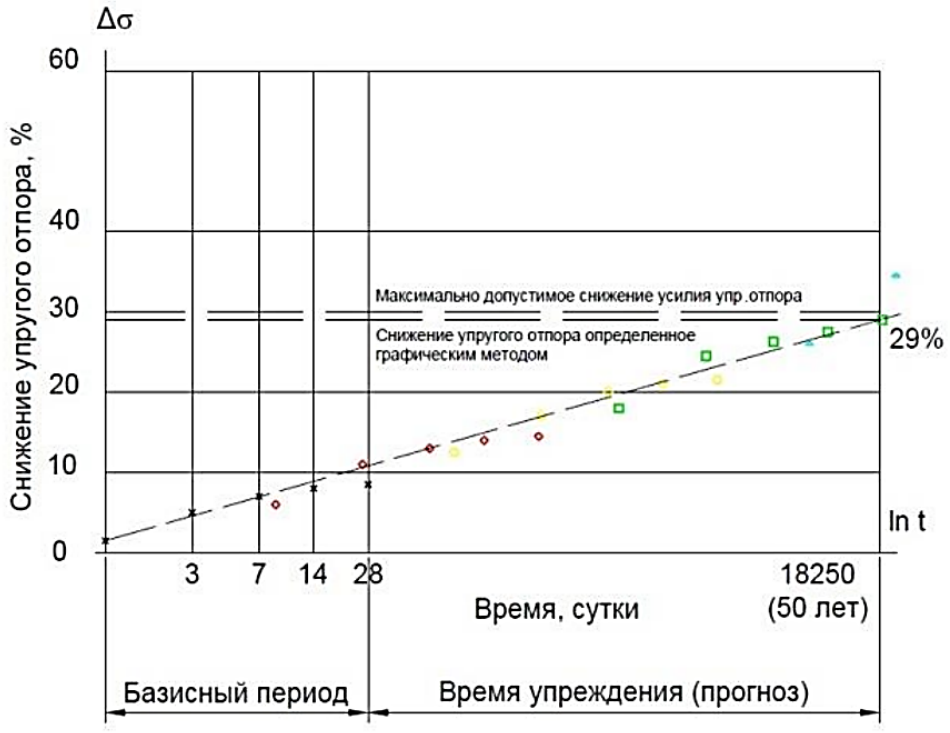


Рисунок 6 – График прогноза изменения упругого отпора

Литература:

1. Сурнина Е.К., Шагивалеев К.Ф., Сурнин Д.А. Применение сборных обделок при строительстве тоннелей // Техника и технология транспорта. 2019. № 11. С. 39. URL: http://transport-kgasu.ru/files/N11-39CTC19.pdf.

2. Грабе, В. Резиновые эластомерные уплотнители для сегментов тоннельной обделки / В. Грабе // Метро и тоннели. 2014. № 1. С. 20.
3. Лобанова А.С., Смирнов Д.С. Прогнозная оценка долговечности уплотнительных резиновых прокладок для тоннельной обделки метро // Техника и технология транспорта. 2019. № 11. С. 33. URL: http://transport-kgasu.ru/files/N11-33CTC19.pdf

УДК 624.19.035.2

Проект автодорожного тоннеля совмещённого с многофункциональным комплексом

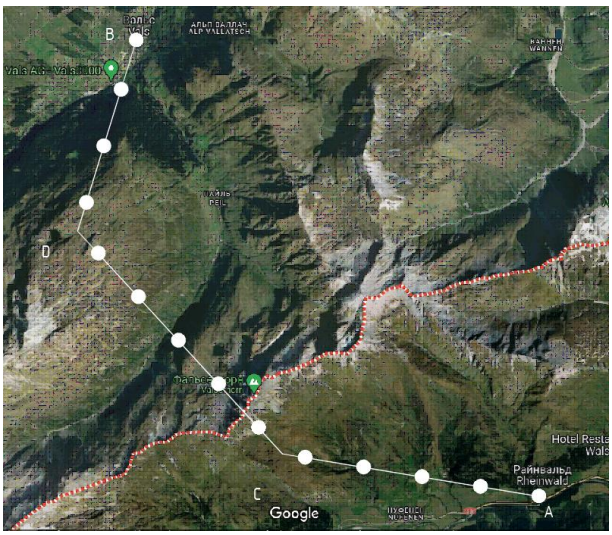
***Щербо Алексей Денисович**, студент 5 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

В рамках данного курсового проекта представлено объёмно-планировочное решение портала и автодорожного тоннеля, совмещенного с много функциональным комплексом.

Тоннель был запроектирован в сложной гористой местности. Его протяжённость составляет 13 километров.

Строительство таких сооружений, является сложным и долгим процессом, с привлечением высококвалифицированных специалистов, которые позволяют в срок и без ошибок построить и сдать в эксплуатацию сооружение.

Портал – это конструкция, объединяющая тоннель и дневную поверхность с использованием высокопрочных бетонов. Основная задача при создании проекта адаптировать архитектурное решение под существующий рельеф местности. Применение технологии виртуальной реальности может эффективно решить данную задачу.



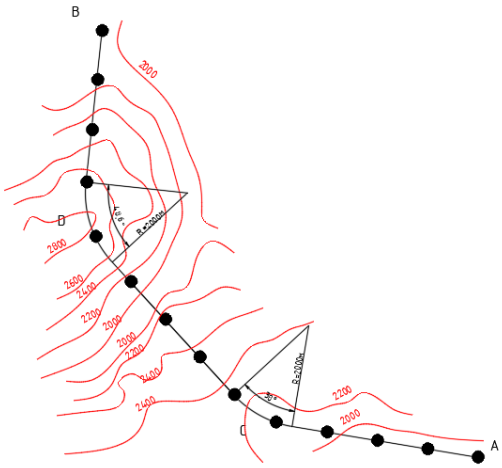


Рисунок 1 – План трассы

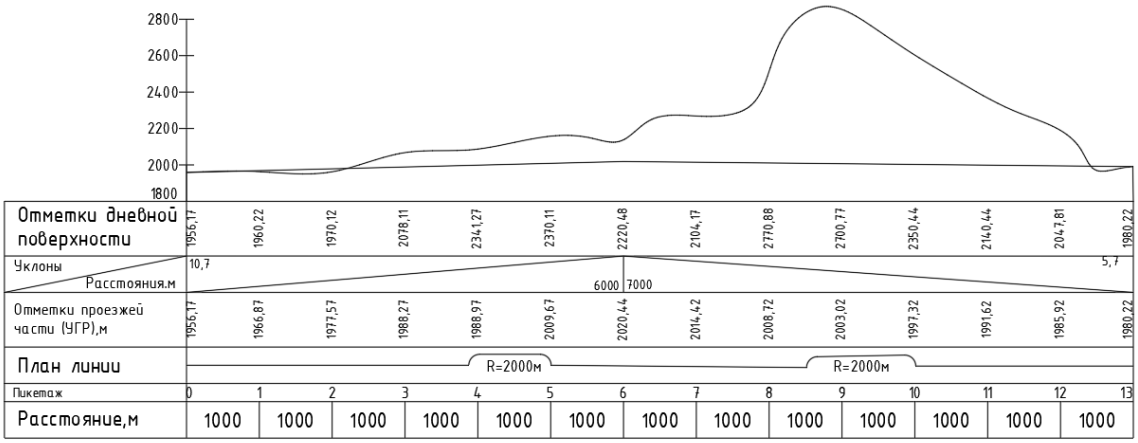


Рисунок 2 – Продольный профиль трассы

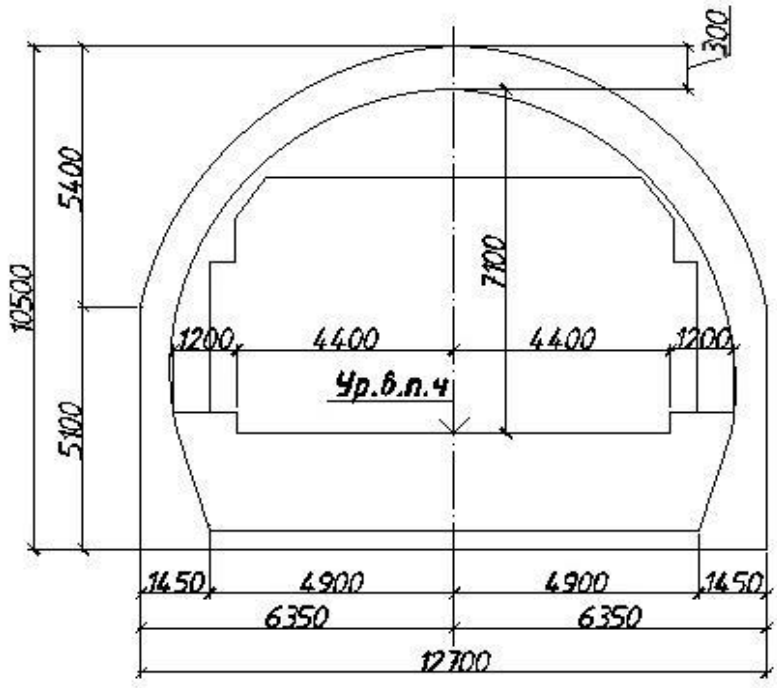


Рисунок 3 – Обделка автодорожного тоннеля

Многофункциональный комплекс состоит из отеля совмещенного с центром реабилитации, что позволяет решать социальные задачи. Проектное решение позволяет сократить время передвижения между городами и сократить путь для людей, проезжающих транзитом.



Рисунок 4 – общий вид

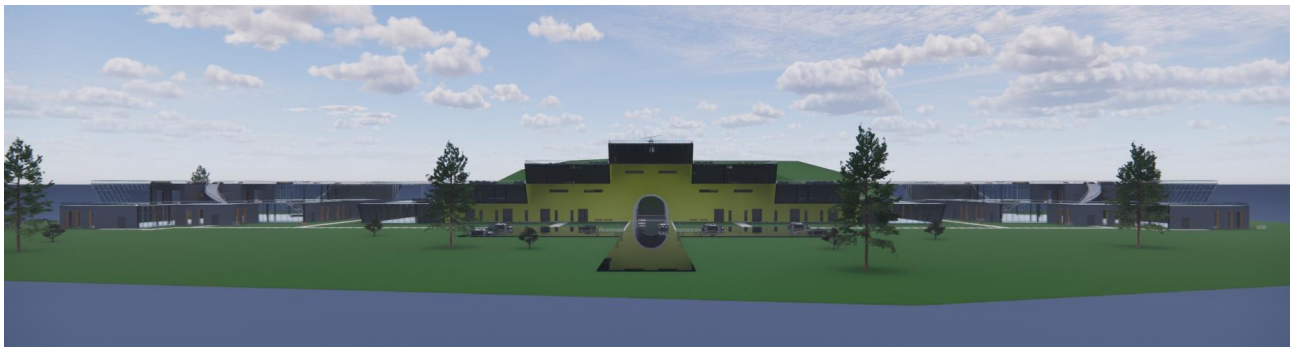


Рисунок 5 – фасад

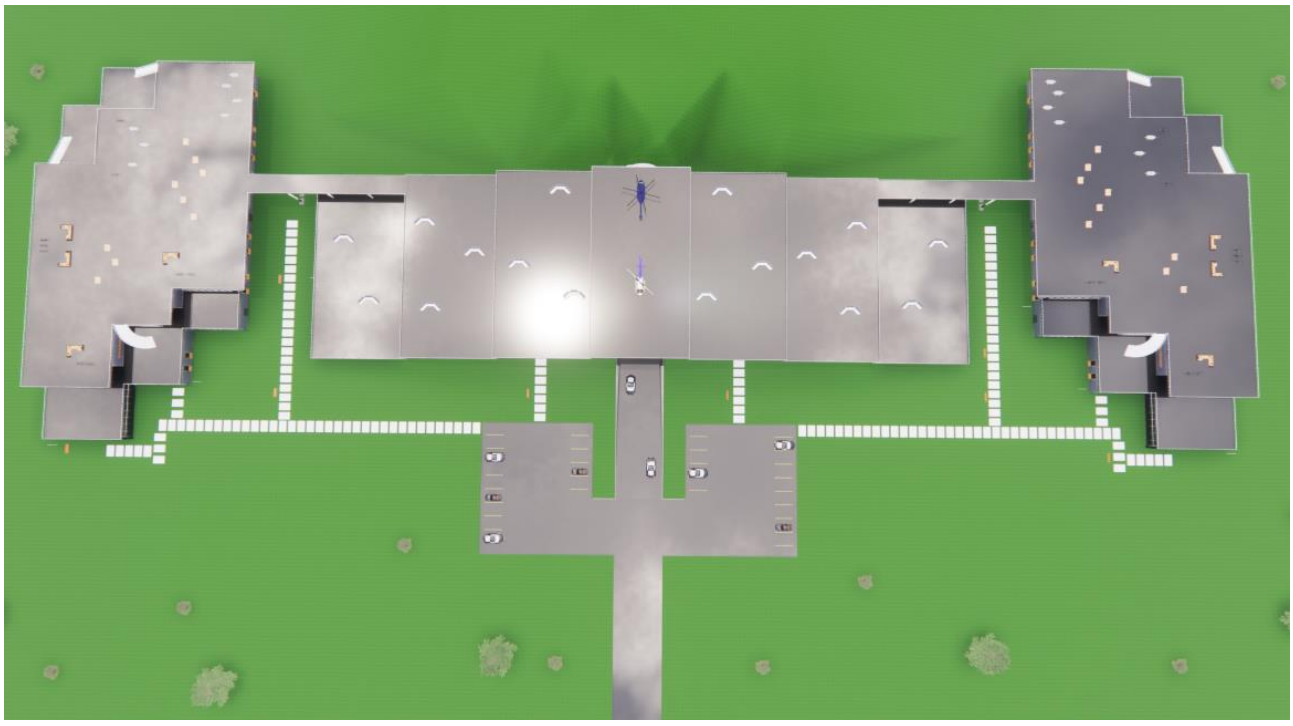


Рисунок 6 – вид сверху

Виртуальная реальность позволяет окунуться в объем объекта, реализовать пешую прогулку, выявить не соответствие действующих норм и найти ошибки еще на этапе проектирования.

Внедрение BIM технологий при проектировании транспортных сооружений позволяет оптимизировать время для создания проекта. Выполнить визуализацию графика производства работ и расчет необходимых материалов для строительства объекта. Рассмотреть различные варианты функциональности помещений для их рационального использования.

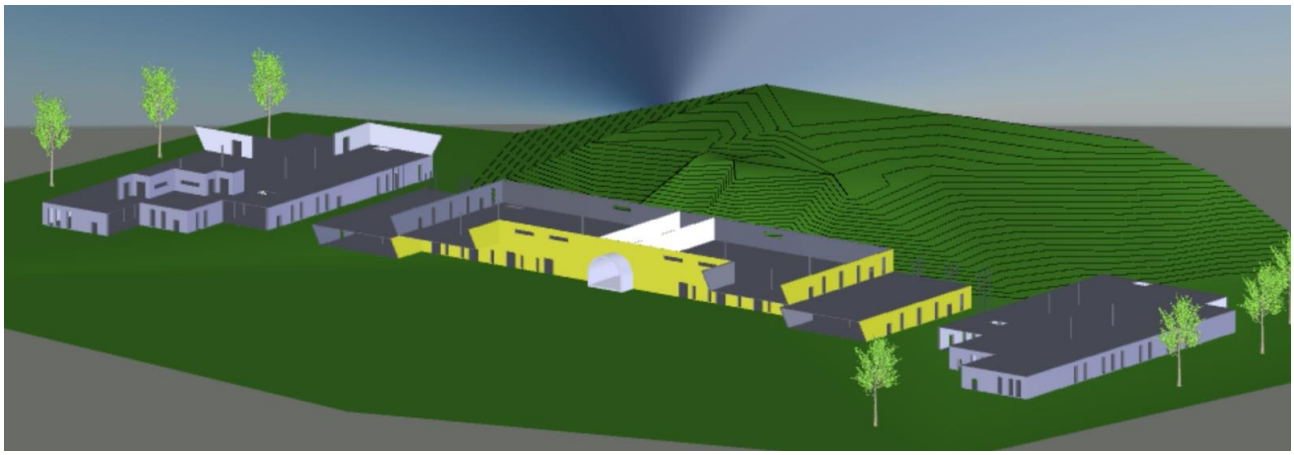


Рисунок 7 – Визуализация поэтапного строительства в NevisWorks

Для расчёта обделки тоннеля использовалась программа SKAD, она позволила точно рассчитать эпюры M, N и Q. Это позволяет нам быть уверенным в наших расчётах и в том, что в данном типе грунта (известняк мергелистый), на определённой глубине тоннельная обделка, которую мы запроектировали не обрушится.

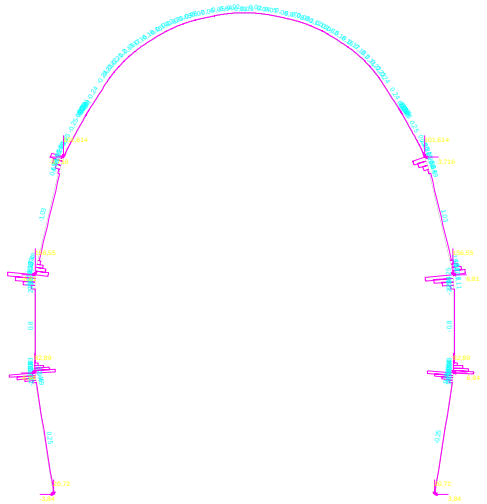


Рисунок 8 – Эпюра поперечных усилий Q

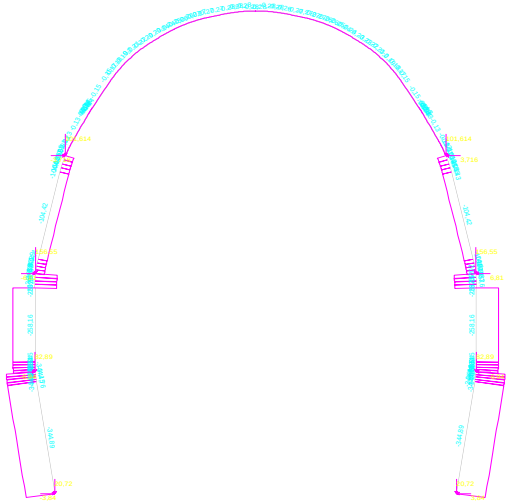


Рисунок 9 – Эпюра продольных усилий N

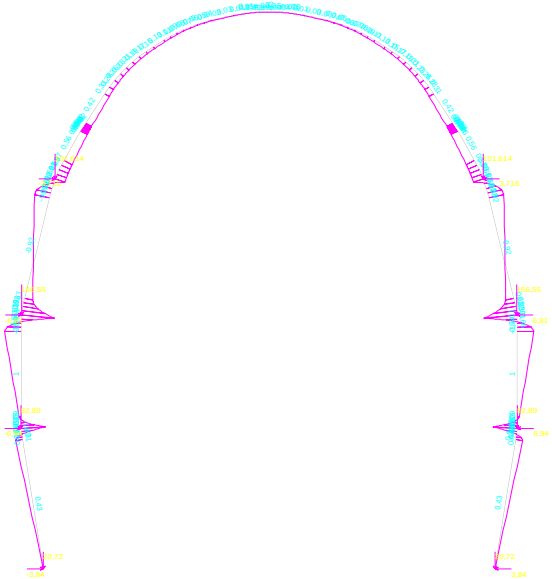


Рисунок 10 – Эпюра изгибающих моментов M

В этом проекте мы спроектировали отель, развлекательный и спа центр. Так, как в данной местности идёт большой объём грузоперевозок и туристов, которые смогут отдохнуть и хорошо провести время, также ускорить окупаемость затрат на строительство данного архитектурного и инженерного проекта. Решающим плюсом для строительства архитектурного сооружения стало улучшение вида портала и увеличение притока туристов, что хорошо сказывается на экономике.

УДК 624.21

Проектирование автодорожного моста в Revit

***Янушкевич Ксения Евгеньевна**, студентка 3 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель
кафедры «Мосты и тоннели»

Для проектирования мостового сооружения первоначально необходимо выбрать место его расположения, а также определить общую длину будущей конструкции с учётом ширины реки и длины пролета.

Далее для каждого элемента моста необходимо создать семейства (Рис.1):

1. плита (пустотная, сплошная или ребристая);
2. подтротуарная балка;
3. тротуарный блок;
4. бетонное ограждение безопасности;
5. сваи опор;
6. насадки;
7. переходная плита;
8. блок лежня.

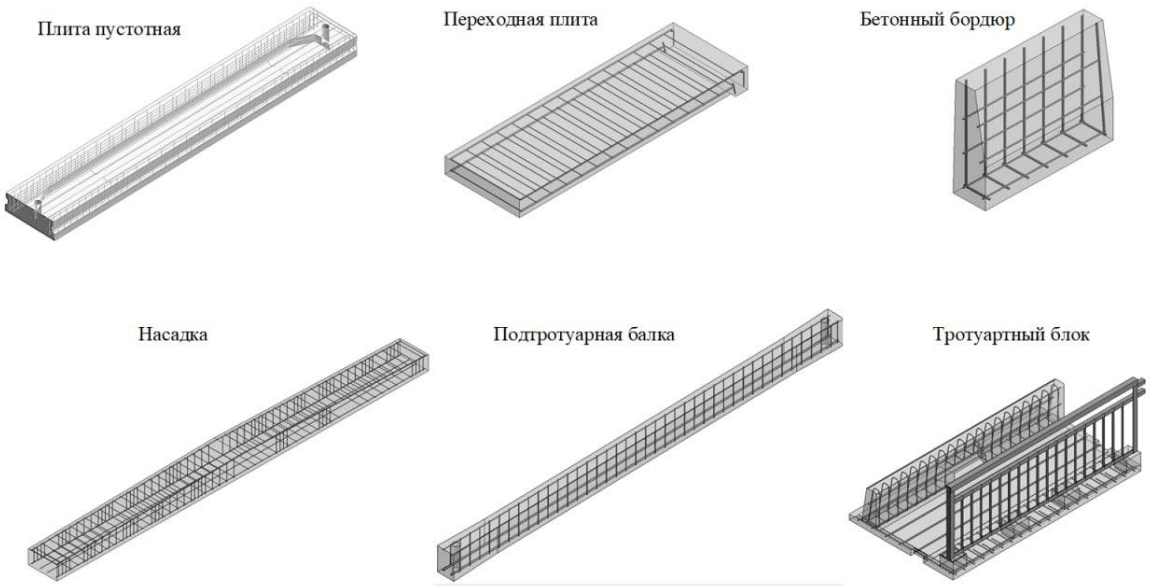


Рисунок 1 – Элементы моста, спроектированные в Revit

Все элементы мостового сооружения проектируются и моделируются с учётом их назначения.

Задача плиты пролётного строения моста – сформировать основу для дорожного полотна и передать нагрузку на нижележащие конструкции.

Насадка воспринимает нагрузки от плиты и передает на сваи.

Сваи, как опоры, воспринимают нагрузку от пролета и через фундаменты передают ее на грунты основания.

Переходная плита необходима для плавного сопряжения моста с насыпью в зоне проезжей части.

Лежень – для распределения точечных вертикальных нагрузок от переходных плит.

Бетонное ограждение безопасности и тротуарный блок необходимы для формирования пешеходной зоны и отделения её от проезжей части.

Подтротуарная балка служит для опирания тротуарного блока и передачи нагрузки на насадки.

После создания всех элементов происходит загрузка созданных семейств в проект и их раскладка на опорные оси моста.

Далее из модели формируется графическая часть проекта. Первый лист включает в себя план конструкции и спецификацию элементов (количество и объем) (Рис.2).

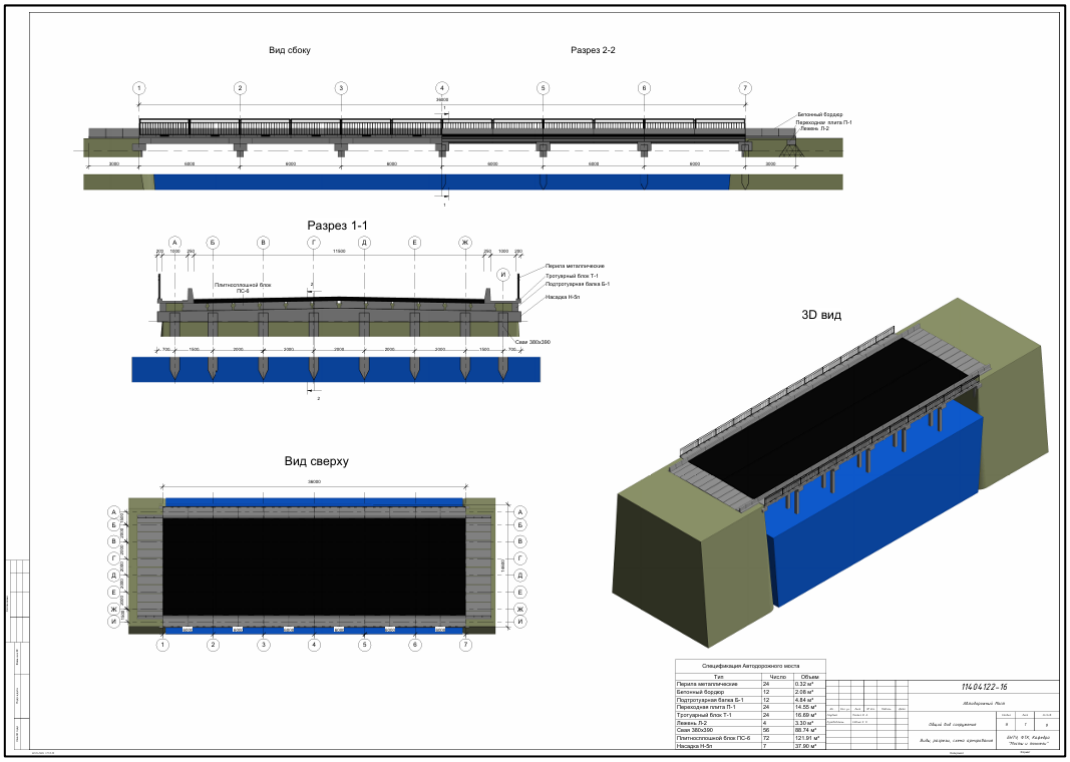


Рисунок 2 – Общий вид сооружения

Второй и последующие листы: опалубочные чертежи всех элементов сооружения с размерами, схемами армирования и спецификациями (Рис. 3–6).

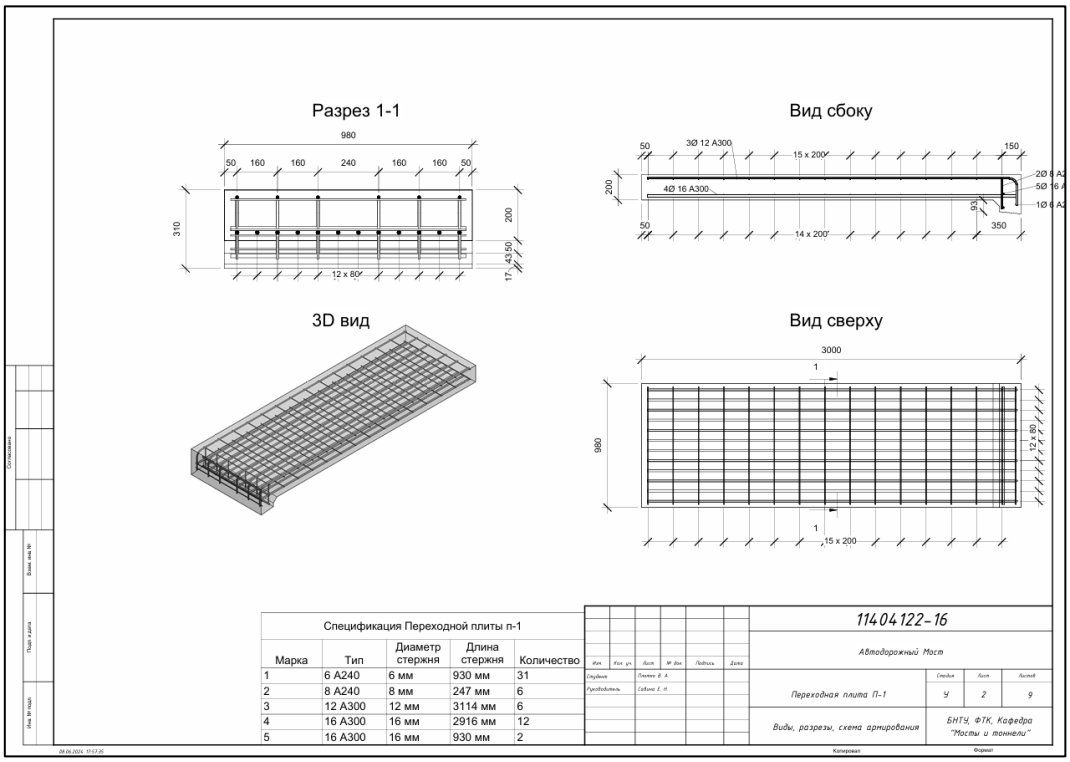


Рисунок 3 – Переходная плита П-1

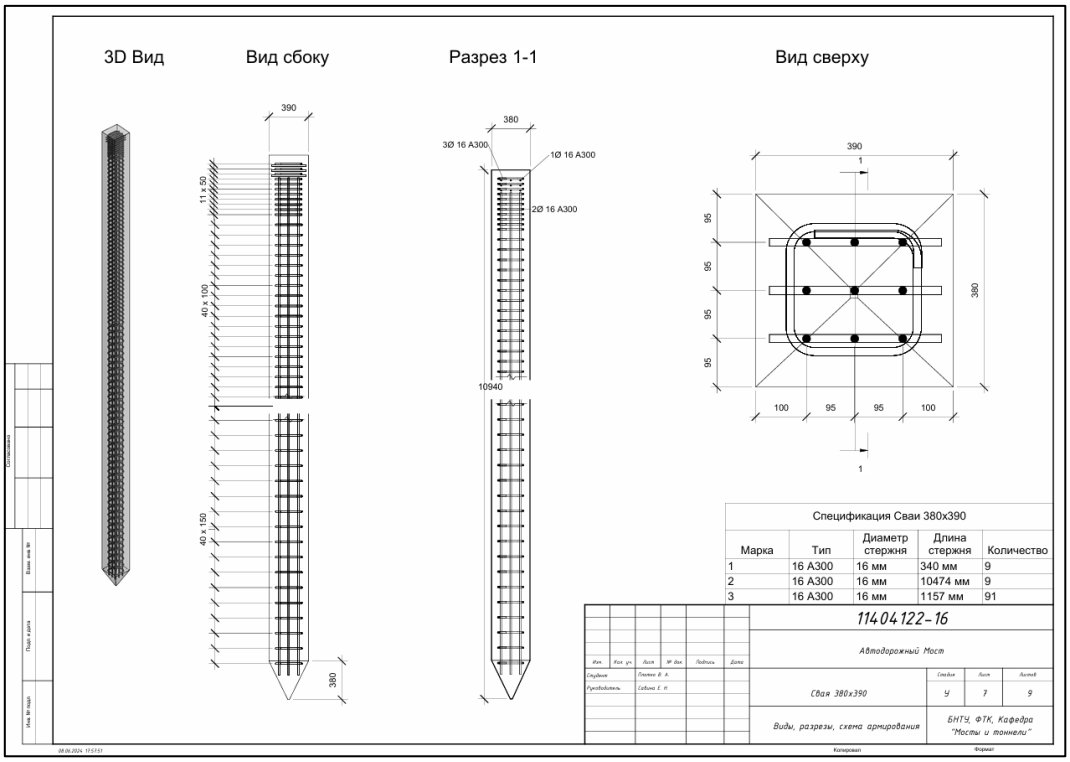


Рисунок 4 – Свая 380х390

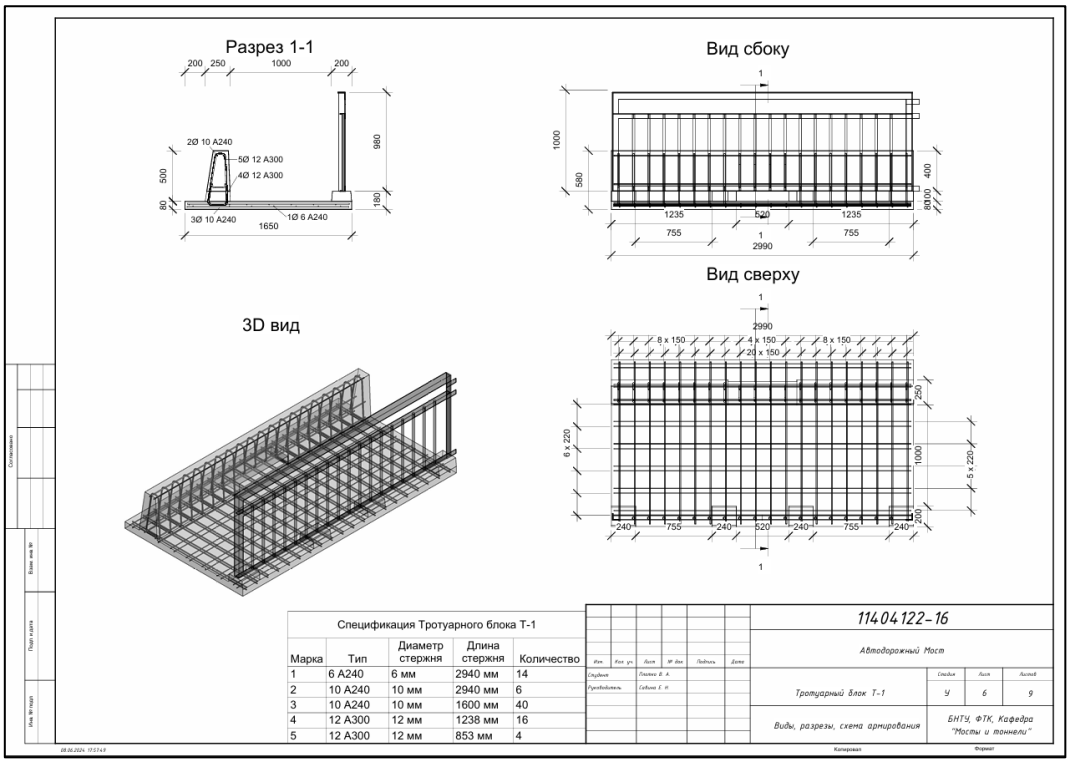


Рисунок 5 – Тротуарный блок Т-1

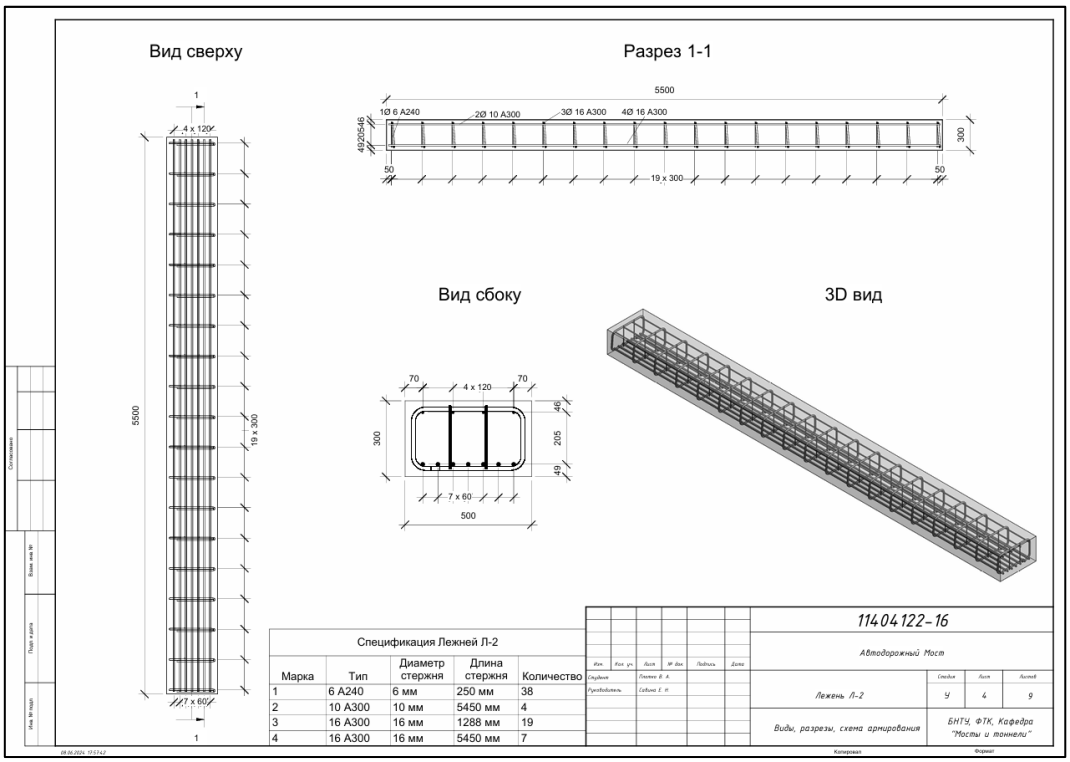


Рисунок 6 – Лежень Л-2

Проектирование мостовых сооружений в Revit позволяет более наглядно оценивать проработку конструкций. В статье в качестве примеров хорошо выполненного проекта представлены чертежи Плотко В. А.

Секция дополнительная 2

МОСТЫ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА 2025

УДК 624.21

Экологически рациональное проектирование мостовых сооружений. Концепция идеального моста и ее применение в мостостроении

Белов Валерий Анатольевич, *магистрант 1 курса*
Базовой кафедры АО «Мостострой-11»
Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень
Научный руководитель – Овчинников И.Г., докт. техн. наук, профессор
базовой кафедры АО «Мостострой-11» Академик РАТ, РИА

Исторически сложилось так, что первоочередной целью проектирования мостовых сооружений было достижение минимальной, наиболее возможной стоимости в совокупности с сохранением эффективности конструкции и архитектурной выразительности. В связи с тем, что мосты являются неотъемлемой частью инфраструктуры – они должны отвечать требованиям общества, то есть быть безопасными, долговечными и безотказными в процессе эксплуатации. Кроме того, проектирование, строительство и эксплуатация мостов должно сопровождаться минимизацией негативных воздействий на окружающую среду (Рис. 1).



Рисунок 1 – Параметры устойчивости. Источник: [https://cyberleninka.ru/article/n/vozdeystvie-ekologicheski-ratsionalnogo-proektirovaniya-na-otrasl-transportnogo-stroitelstva]

В сложившейся ситуации, необходимость проектирования мостовых сооружений, отвечающих целому спектру требований, привела к развитию

такого подхода к созданию объектов, как экологически-рациональное проектирование (как вариант устойчивого проектирования «Sustainable Design») [1,2]. Ключевой задачей данного конструктивного подхода является учет экологических аспектов, а также применение эффективных и долговечных материалов, гармонирующих с окружающей средой и минимизирующих вредные последствия для экосистемы в целом. Важно отметить – устойчивое проектирование подразумевает **комплексный подход**. Только в случае выполнения всех аспектов концепции возможно достижение желаемого результата.

Необходимость повсеместного внедрения технологии устойчивого проектирования мостов в настоящее время является актуальной задачей, поскольку многие мосты по всему миру находятся на «финише» своего жизненного пути, что является проблемой глобального масштаба, так как они нуждаются в демонтаже с последующей утилизацией, замене или ремонте, что в общемировых масштабах может привести к серьезным экономическим проблемам в сфере транспортной инфраструктуры, экологическим проблемам в окружающей среде и возникновению аварийных ситуаций в процессе эксплуатации.

Так или иначе, на пути следования по выбранному принципу проектирования важно понимать, что все решения должны приниматься основательно, поскольку решения, принятые без подчинения фундаментальной основе мостостроения, влекут за собой возникновение патовых ситуаций.

Следуя принципу экологически-рационального проектирования, в совокупности с использованием концепции идеального моста, необходимо:

- разработать методики оценки жизненного цикла с учетом экологического влияния;
- рассмотреть применение инновационных, более долговечных и экологически чистых материалов, обеспечивающих длительный и безопасный срок службы мостового сооружения [3];
- увеличить эффективность процессов строительства и эксплуатации, с целью уменьшения энергопотребления, а также минимизации выбросов вредных веществ;
- создать эффективные методы борьбы с коррозией конструкций мостов, не требующие частого обслуживания и обновления систем защиты в краткосрочной перспективе;
- интегрировать локальные очистные сооружения для осуществления процесса очистки атмосферных и технических вод с поверхности мостового сооружения.

Истинный «идеальный» мост должен отвечать требованиям рационального износа используемых конструкций на протяжении всего жизненного цикла. Это означает, что конструкции с большим уровнем ответственности, и воспринимающие выраженное воздействие окружающих факторов – должны иметь существенно более долгий срок службы. Наилучшим вариантом проектирования является подбор материалов конструкций таким способом, чтобы обеспечить кратный срок службы конструкций в составе мостового сооружения. Такой подход позволяет производить замену «отработавших» элементов в комплексе, не вовлекая дополнительную финансовую составляющую.

Использование инновационных материалов – вынужденная мера на пути к достижению принятой концепции. В настоящее время отдельного внимания заслуживают полимерные композитные материалы (ПКМ). Конструкции мостов, изготовленных из ПКМ, отвечают требованиям жесткости и прочности в достаточной степени, что подтверждает практика их использования в реальных, эксплуатируемых мостовых сооружениях (Рис. 2).



Рисунок 2 – Арочный пешеходный мост АпАЕэк. Источник: [https://core.ac.uk/download/pdf/41803742.pdf]

Однако, стоит отметить, что в настоящее время повсеместное применение ПКМ в строительстве мостов является сложной задачей. Данный факт связан с отсутствием необходимых вариантов утилизации и соответствующей производственной мощности для реализации отходов промышленности полимерных материалов. В качестве примера несоответствия возможности производства по отношению к возможности реализации можно привести способ

утилизации лопастей ветряных генераторов. Наиболее распространенным решением является захоронение под массивом грунта (Рис. 3).



Рисунок 3 – Захоронение лопастей ветрогенераторов. Источник: [https://dzen.ru/a/ZpTY4oY6mHfzK9OW]

В связи с этим, необходимо разработать куда более эффективные методы переработки элементов конструкций мостов из ПКМ как с точки зрения экологического влияния, так и с точки зрения экономической составляющей. В любом случае одно остается неизменным: пока не будут достигнуты необходимые производственные мощности в части переработки – не будет форсированного развития повсеместного применения ПКМ как основного материально-технического решения мостовых сооружений.

Еще одним немаловажным инструментом на пути к достижению долговечности конструкции и снижения негативного влияния на окружающую среду является антикоррозионная защита [4]. На сегодняшний день наиболее эффективным среди существующих методов защиты материала конструкции мостов от коррозии является окрашивание (покрытие) поверхности высокоэффективными защитными изолирующими составами (Рис. 4).



Рисунок 4 – Процесс нанесения цинкосодержащих лакокрасочных материалов. Источник: [https://vmp-holding.ru/blog/antikorrozionnye-materialy/kholodnoe-tsinkovanie-obshchie-svedeniya-o-tsinknapolnennykh-materialakh/]

Справедливо при оценке экологического влияния и рационального проектирования говорить об экономии энергии. На сегодняшний день, строительство и эксплуатация мостов сопровождается внушительным энергопотреблением. При проектировании мостовых сооружений важно оценивать этот факт и предлагать альтернативные варианты, направленные на снижение углеродного следа. На сегодняшний день существуют такие варианты, как:

- фотоэлектрические (солнечные) панели;
- ветрогенераторы;
- гидрогенераторы;

Стоит отметить, что в процессе изготовления и утилизации вышеперечисленных источников энергетического оснащения, ущерб экологии зачастую превышает выгоду от полученной энергии. В соответствии с этим, на текущее время активно ведутся работы по изучению и применению колебаний, возникающих в мостах от воздействия движущихся автомобилей. Идея заключается в том, чтобы преобразовать механические колебания в электрическую энергию. Примером применения возобновляемых источников энергии в мостовых сооружения служит мост Блэкфрайрс через реку Темзу в Лондоне. Крыша моста покрыта 4400 фотоэлектрическими панелями, общей мощностью 1,1 МВт, общей площадью 6000 м^2 (Рис 5).



Рисунок 5 – Мост «Blackfriars Railway Bridge» в Лондоне через р. Темза. Источник: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blackfriars_Railway_Bridge_-_geograph.org.uk_-_5029346.jpg]

Когда идет речь об экологическом влиянии, предполагается, что экологический аспект прослеживается во всем. Концепция устойчивого проектирования предполагает, в том числе и минимизацию рисков загрязнения водных ресурсов. По этой причине, в последнее время активно внедряются локальные очистные сооружения [5]. Основной материал, применяемый на данный момент для их изготовления – ПКМ. Изготовление локальных очистных сооружений из полимерно-композитных материалов существенно снижает процессы гниения и разложения – тем самым увеличивая срок службы конструкции. Также, ПКМ значительно облегчает конструкцию и создает возможность вариативности форм, что в свою очередь ускоряет и облегчает процессы монтажа, эксплуатации и технического обслуживания (Рис. 6).



Рисунок 6 – Локальное очистное сооружение из ПКМ. Источник: [https://gkrostproject.com/product/los/?yclid=14298883767086612479]

Большое количество информации сказано с проблемой внедрения передовых технологий, разнообразных материалов, методов обследования и способов снижения негативного влияния на окружающую среду. Но ведь человек – не единственное существо на Земле. В связи с тем, что происходит активное строительство объектов транспортной инфраструктуры, все более актуальным становится применение такого уникального решение как Экодуки – искусственные транспортные артерии для диких животных [6]. Данное решение представляет собой интеграцию мостового сооружения в экосистему, с целью обеспечения нерушимости биологического ритма окружающей среды (Рис. 7).



Рисунок 7 – Экодук «Natuurbrug Zanderij Crailoo» в Нидерландах. Источник: [https://trends.rbc.ru/trends/green/659d24719a79471ed84926c6]

Подводя итог вышеизложенному, хочется сказать, что в наше время активно принимаются решения по ликвидации последствий нерационального использования трудовых и финансовых ресурсов, однако зачастую во внимание не принимается экологический аспект. В сложившейся ситуации, устойчивое проектирование является ключевым элементом сбалансированного развития транспортной инфраструктуры. Такой подход направлен на минимизацию негативного влияния на экосистему, повышение долговечности конструкции и рациональное распределение ресурсов в процессе строительства и эксплуатации обществом.

Стоит отметить, что изучение и внедрение альтернатив, применимых при проектировании мостовых сооружений является неотъемлемым вкладом в развитие мостостроения, а, следовательно, также способствует удовлетворению потребности населения и дикой природы.

Литература:

1. Коротков М.А., Овчинников И.Г. ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ-РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ОТРАСЛЬ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА / Коротков М.А., Овчинников И.Г. [Электронный ресурс] // : [сайт]. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vozdeystvie-ekologicheski-ratsionalnogo-proektirovaniya-na-otrasl-transportnogo-stroitelstva/viewer (дата обращения: 09.11.2025)
2. Schäpke N. Linking Transitions to Sustainability: A Study of the Societal Effects of Transition Management / N. Schäpke, I. Omann, J.M. Wittmayer, F. Van Steenbergen, M. Mock. – DOI: 10.3390/su9050737 // Sustainability. – 2017. – № 9. – С. 737.
3. Морина Е.А. BIM-технологии в мостовом проектировании / Е.А. Морина, А.И. Макаров // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2017. – № 6 (57). – С. 30-46.
4. Иванов Е.С. Эффективность противокоррозионной защиты металлических и железобетонных конструкций мостов, мостовых переходов и эстакад системами полиуретановых лакокрасочных покрытий Stelpant. Результаты освидетельствования // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2014. – № 5 (24). С. 1-21. – URL: https://naukovedenie.ru/PDF/33KO514.pdf (дата обращения: 28.01.2022).
5. ЛОС. Локальные очистные сооружения / [Электронный ресурс] // Роспроект : [сайт]. — URL: https://gkrostproject.com/product/los/?yclid=14298883767086612479 (дата обращения: 11.11.2025).
6. Узянбаев И.А., Ситдиков Р.М., Низамов А.С. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭКОДУКОВ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ В УСЛОВИЯХ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ / Узянбаев И.А., Ситдиков Р.М., Низамов А.С. [Электронный ресурс] // : [сайт]. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-proektirovaniya-ekodukov-na-avtomobilnyh-dorogah-v-usloviyah-chuvashskoy-respubliki/viewer (дата обращения: 12.11.2025).

УДК 624.21/69.003

Цифровизация строительства мостовых сооружений. Цифровая платформа MStroy

***Братчиков Илья Александрович**, студент 4 курса*
базовой кафедры АО «Мостострой-11»
Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень
Научный руководитель – Овчинников И. И., докт. техн. наук, доцент,
заведующий базовой кафедрой АО «Мостострой-11»
Научный руководитель – Бреус Н.Л., канд. экон. наук, заслуженный экономист
РФ, доцент базовой кафедры АО «Мостострой-11»

За последнее десятилетие строительная отрасль пережила настоящий прорыв, связанный с внедрением цифровых технологий. Данные изменения обусловлены необходимостью повышения эффективности и качества выполняемых работ, сокращения временных и финансовых затрат.

Мосты представляют собой сложные инженерные объекты, проектирование и строительство которых требует высокой степени ответственности и точного подхода.

Общеизвестно, что жизненный цикл любого строительного объекта включает три ключевых стадии: проектирование, непосредственно строительство и последующую эксплуатацию.

На каждом из циклов жизни объекта существуют программные комплексы, способствующие облегчению работы инженеров. Особенно много программ существует именно на этапе проектирования, например, Nanocad, Лира 10 2024, Sofistik, Midas Civil и многие другие. Проектирование является одним из основных этапов возведения объекта и именно в этой области ТИМ технологии развиваются с невообразимой скоростью.

Программные комплексы, используемые при проектировании сооружений, безусловно, ускоряют и структурируют работу строительной организации, но они не способны решать целый ряд проблем, возникающих на этапе строительства. Это связано с тем, что строительство — это сложный многогранный процесс, включающий в себя не только разработку проектной и исполнительной документации, но и управление ресурсами, логистику, контроль качества, взаимодействие с подрядчиками и многое другое. Каждый из этих этапов имеет свои уникальные особенности и требует специализированных инструментов для решения поставленных задач.

Решением данной проблемы является цифровая платформа MStroy, разработанная ООО «МСтрой» - дочерней организацией АО «Мостострой-11», входящего в ГК Нацпроектстрой. Платформа является, пожалуй, самым успешным решением по цифровизации строительного производства из существующих на данный момент.

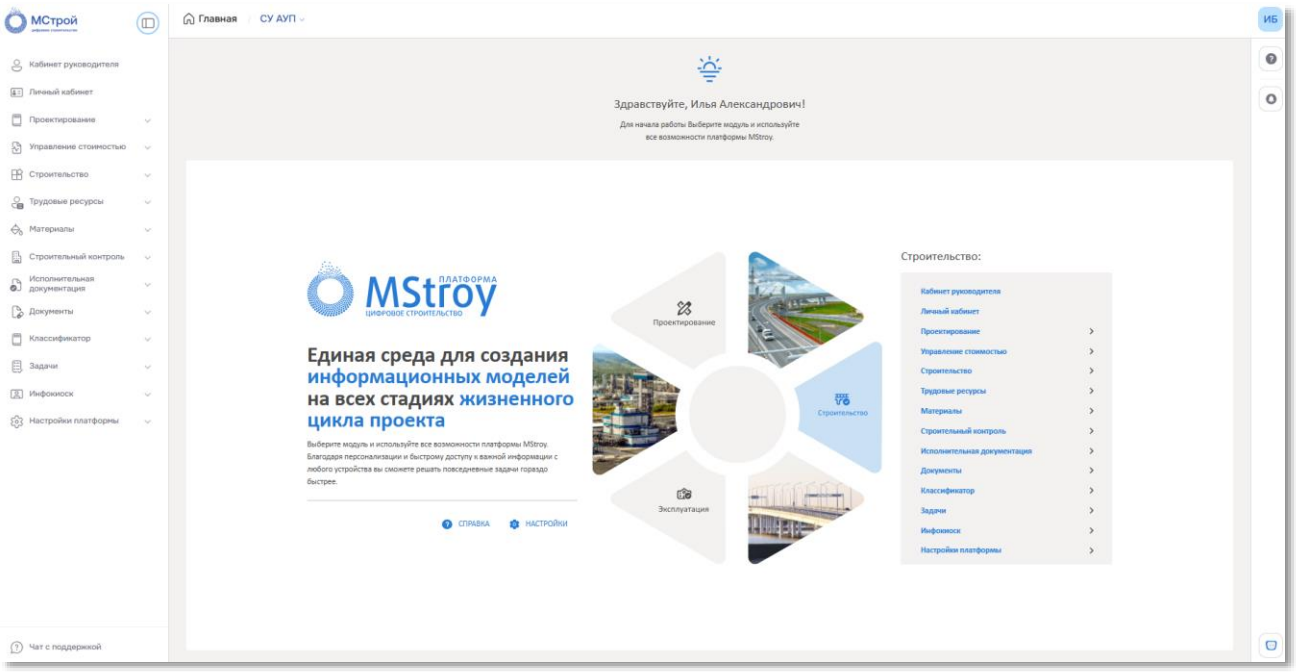


Рисунок 1 – Общий интерфейс цифровой платформы MStroy

Ключевыми преимуществами платформы являются:

- Внутренняя система документооборота, не имеющая аналогов на рынке, создающая единое информационное пространство между всеми участниками строительства.
- Интеграция с искусственным интеллектом для прогнозирования рисков срыва сроков строительства и перерасхода бюджета.
- Оптимизация затрат и сроков строительства за счет анализа трендов.
- Предоставление рекомендаций для принятия обоснованных решений.

Для знакомства с платформой предлагается рассмотреть некоторые модули более детально.

- Модуль «Кабинет руководителя»

Данный модуль включает в себя всевозможные виды отчетных документов по выбранному объекту строительства: Дашборды, Фото/Видео отчеты, Графические отчеты, Светофор, План/Факт по численности, Прочие отчеты.



Рисунок 2 – Интерфейс модуля «Кабинет руководителя» цифровой платформы MStroy



Рисунок 3 – Пример графического отчета по объекту строительства в цифровой платформе MStroy

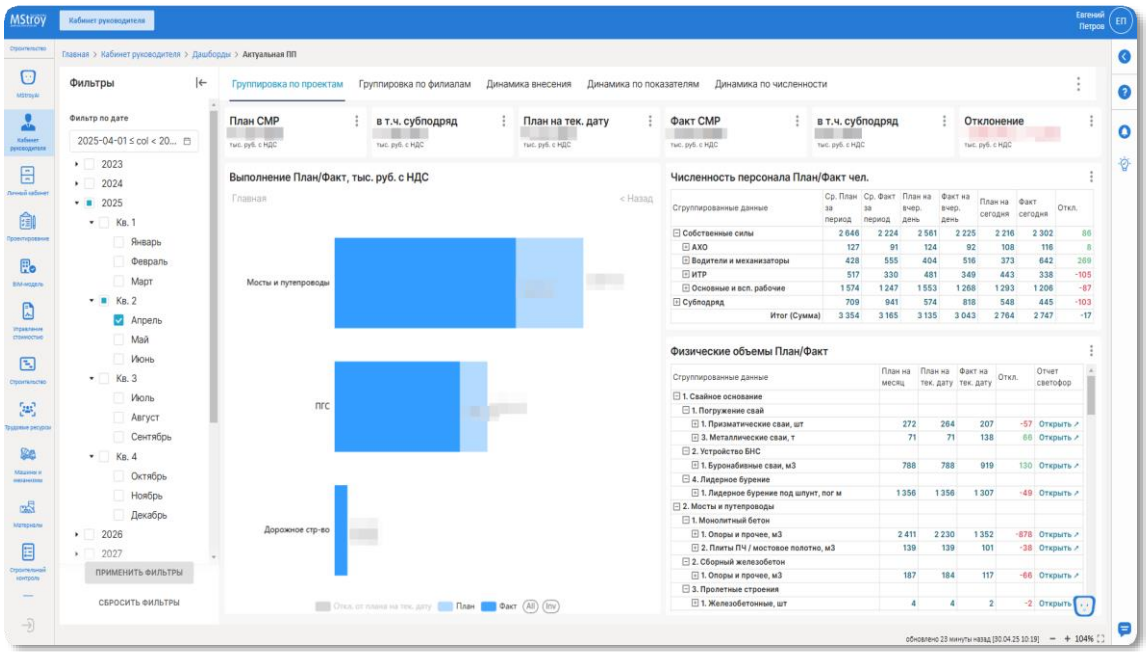


Рисунок 4 – Пример дашборда по объекту строительства в цифровой платформе MStroy

- Модуль «Строительство»

Данный модуль представляет собой цифровой график производства работ по выбранному объекту строительства. График позволяет управлять проектами с помощью инструментов формирования планов, назначения ресурсов, отслеживания выполнения работ, управления бюджетами проекта и анализа объемов работ. Одним из важнейших блоков данного модуля является блок «Сменные задания». Он позволяет вести цифровой журнал общих работ по объекту, а также формировать и собирать всю информацию о фактически выполненных работах и трудовых ресурсах. Благодаря взаимосвязи с модулем «Трудовые ресурсы» все ресурсы, задействованные в выполнении работ, распределяются из числа сотрудников, прошедших табелирование на объекте за дату выполнения работ.

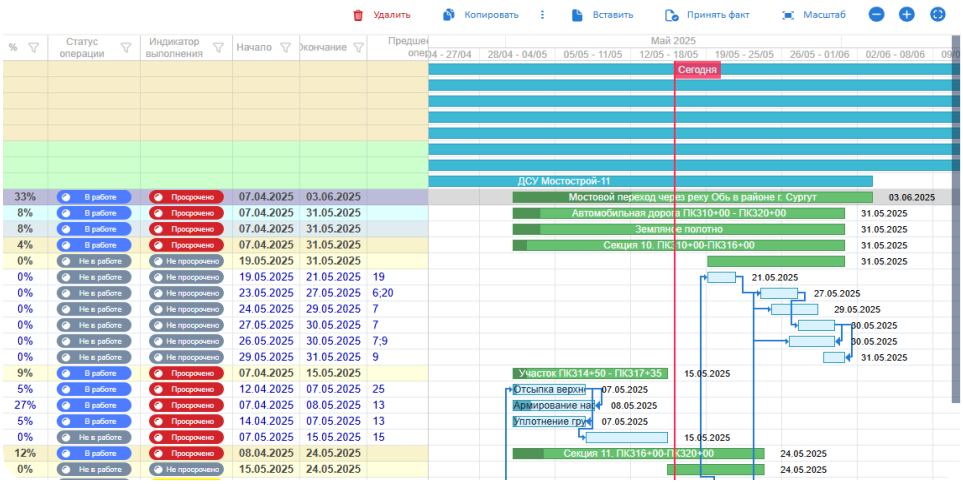


Рисунок 5 – Пример графика производства работ в цифровой платформе MStroy



Рисунок 6 – Пример сменного задания в цифровой платформе MStroy

- Модуль «Управление трудовыми ресурсами»

Данный модуль предоставляет возможность санкционированного доступа сотрудников компании и подрядных организаций на объект строительства посредством системы распознавания лиц и автоматического формирования табеля рабочего времени по каждому сотруднику. Также данный модуль интегрирован с программным комплексом 1С для автоматического формирования заработной платы сотрудников.

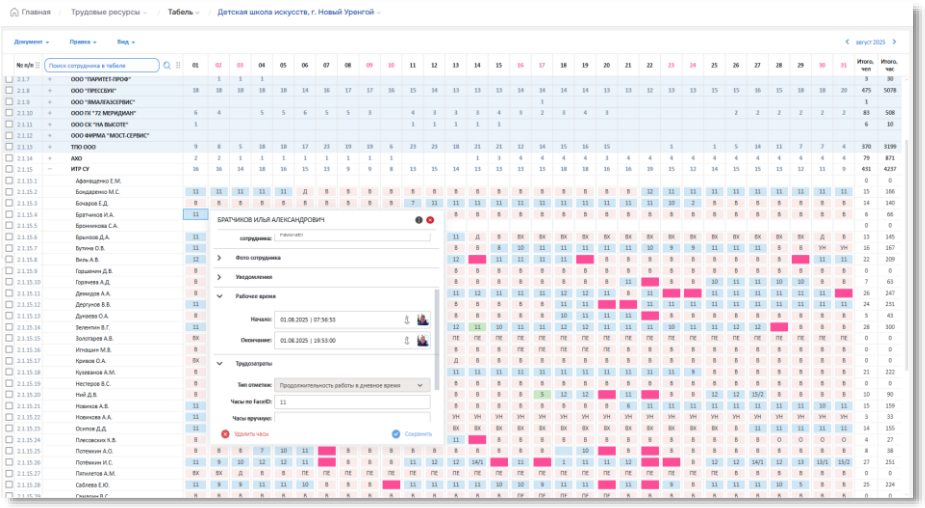


Рисунок 7 – Пример табеля учета рабочего времени в цифровой платформе MStroy

- Модуль «Управление материалами»:

Данный модуль позволяет оперативно и безошибочно формировать планы потребности материалов по выбранному объекту строительства. Возможности данного модуля позволяют в любой момент проверить правильность действий инженера с помощью «дерева конструктивов» и привязки к актуальной проектной и рабочей документации. Также модуль «Управление материалами» имеет возможность фиксировать все отправленные заказы на основании заявок с указанием информации о поставщиках, дате оформления, согласованных объёмах и сроках поставок.

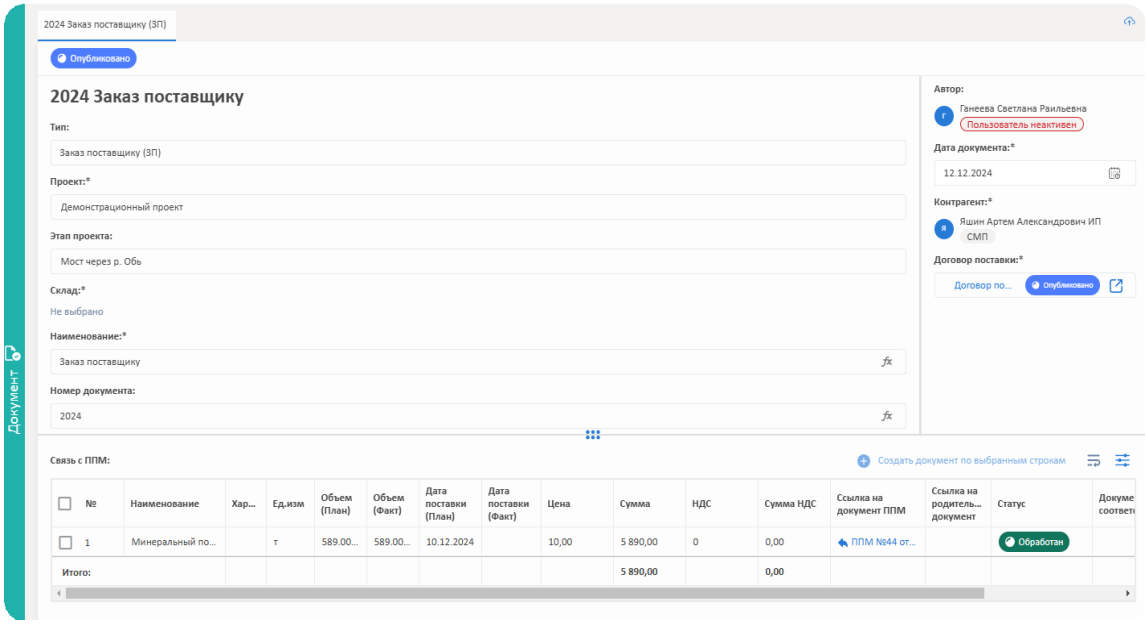


Рисунок 8 – Пример плана потребности материалов, сформированного в цифровой платформе MStroy

- Модуль «Строительный контроль»:

Данный модуль является облачным решением для организации строительного контроля с возможностью формирования всех требуемых форм отчетности по объекту строительства. Модуль позволяет формировать заявки на инспекции входного, операционного и приемочного контролей. Также в данном блоке присутствует возможность фиксации всех нарушений с приложением фото-, видео- и прочих документов, для формирования предписаний и дальнейшего отслеживания процесса их устранения с закрытием на платформе MStroy.

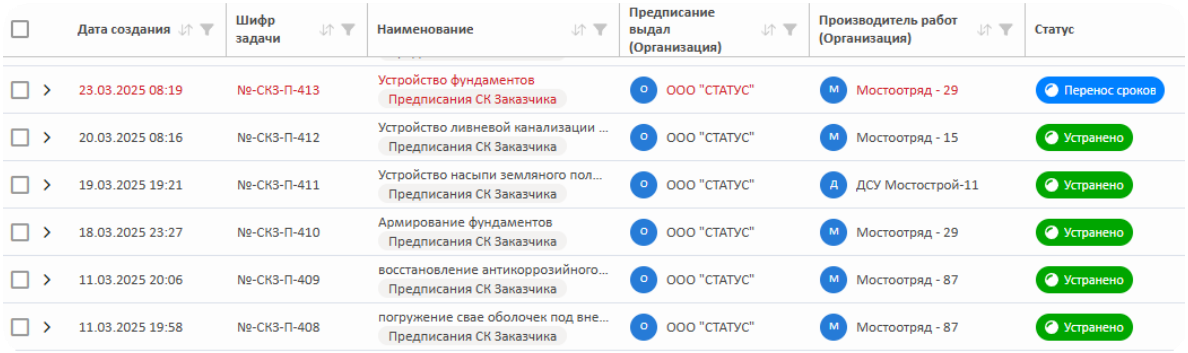


Рисунок 9 – Пример предписаний строительного контроля в цифровой платформе MStroy

- Модуль «Управление стоимостью»:

Данный модуль позволяет управлять финансовой частью проекта и денежными потоками по выбранному объекту строительства. Модуль позволяет формировать контракты и договоры, создавать дополнительные соглашения и корректировать стоимость и сроки. Также данный модуль позволяет

формировать основные закрывающие документы по формам КС-2, КС-3 и акты оказания услуг.

Раздел «Смета контракта» позволяет формировать и вести сметную часть проекта, позволяя анализировать стоимостные данные на всех уровнях. Модуль «Управление стоимостью» предоставляет возможности по формированию план/факта выполнения работ, согласно графика строительства объекта с привязкой к трудовым и денежным ресурсам. Также модуль позволяет отслеживать и анализировать статистику по подписанию форм КС-2, отражая ожидаемые и фактически подписанные объемы работ.

Тип	№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Кол-во (объем)	Ключевой объем	Стоимость единицы...	Общая стоимость, руб.
Итог		+ Итого с коэффициентом снижения К=0.965, руб. с НДС					82 156 497.99
Глава		− Глава 1. Подготовка территории строительства					70 946 889.45
Раздел	1.1	− Подготовительные работы. Дорога					4 647 952.45
Строка	1.1.1	+ Разборка существующего асфальтобетонного покрыт...	м3	1 002		2 604.52	2 609 729.04
Строка	1.1.2	+ Разборка существующего основания дорожной оде...	м3	2 205		686.41	1 513 534.05
Строка	1.1.3	+ Демонтаж дорожных знаков бесфундаментных на м...	шт.	14		1 948.00	27 272.00
Строка	1.1.4	+ Демонтаж дорожного ограждения с транспортировк...	м.п.	1 132		268.38	303 806.16
Строка	1.1.5	+ Разборка железобетонной лестницы с транспортиро...	м3	3		45 170.70	135 512.10
Строка	1.1.6	+ Демонтаж плаката (щита) "Зыряновский район" с от...	шт.	1		2 579.00	2 579.00
Строка	1.1.7	+ Монтаж плаката (щита) "Зыряновский район" (ранее...	шт.	1		2 602.00	2 602.00
Строка	1.1.8	+ Валка деревьев мягких пород (с последующим скла...	шт.	145		327.50	47 487.50
Строка	1.1.9	+ Погрузка и транспортировка порубочных остатков на...	т	18		301.70	5 430.60

Рисунок 10 – Пример сметы контракта по объекту строительства в цифровой платформе MStroy

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что цифровизация процесса строительства сооружений также важна, как и на этапе проектирования, позволяя сокращать издержки и улучшать качество возводимых объектов. В данной статье рассмотрена лишь часть функционала цифровой платформы MStroy, так как приведенная информация является кратким обзором возможностей и функционала платформы.

MStroy за годы своего существования и внедрения на множестве объектов компании АО «Мостострой-11» доказал, что цифровые решения, используемые в нем, позволяют оптимизировать производство работ и значительно сократить сроки строительства объектов. Платформа имеет интуитивно понятный интерфейс и предоставляет возможность работы с любых видов устройств. Также широкий спектр программных комплексов, интегрированных с платформой, создают единую систему хранения и документооборота по всем объектам.

Литература:

1. MStroy: цифровое управление строительством [Электронный ресурс]. – URL : https://mstroy.tech/ (Дата обращения: 16.10.2025).
2. Русанов, М. А. Организация строительства в формате ТИМ-технологий / М. А. Русанов, Р. А. Лисовский // Вестник государственной экспертизы. – 2023. – № 4(29). – С. 40-43. – EDN JJRXGK.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020614737 Российская Федерация. Программный комплекс "MStroy" : № 2020613841 : заявл. 17.04.2020 : опубл. 24.04.2020 ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Статус». – EDN BQBDTZ.
4. Ахметов, Д. Р. Среда общих данных: практическая польза при реализации строительных объектов / Д. Р. Ахметов, Н. Л. Бреус, Т. Т. Мансуров // Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14, № 3. – EDN QDEVHW.
5. Мелин, М. А. Преимущества цифрового документооборота при подготовке и ведении исполнительной документации / М. А. Мелин, Н. Л. Бреус // Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14, № 3. – EDN XSJWWX.
6. Звездин, Д. А. Использование цифровых технологий для эффективного мониторинга и контроля в строительстве / Д. А. Звездин // Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли Юга России : материалы XVIII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Волгоград, 22–24 мая 2024 года. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2024. – С. 127-132. – EDN DKPCQZ.

УДК 624.1

BIM технологии в разработке многофункционального подземного комплекса совмещенного со станцией метро в городе Гродно с использованием катучей тоннельной опалубки

***Гречаник Алексей Сергеевич**, студент 4 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулаго Ю.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

В качестве местности проектирования многофункционального комплекса совмещенного со станцией метрополитена был выбран город Гродно, пересечение улицы Белуша и проспекта Румлёвского. В данном месте часто возникают пробки, что и приковало моё внимание для разработки проекта здесь.

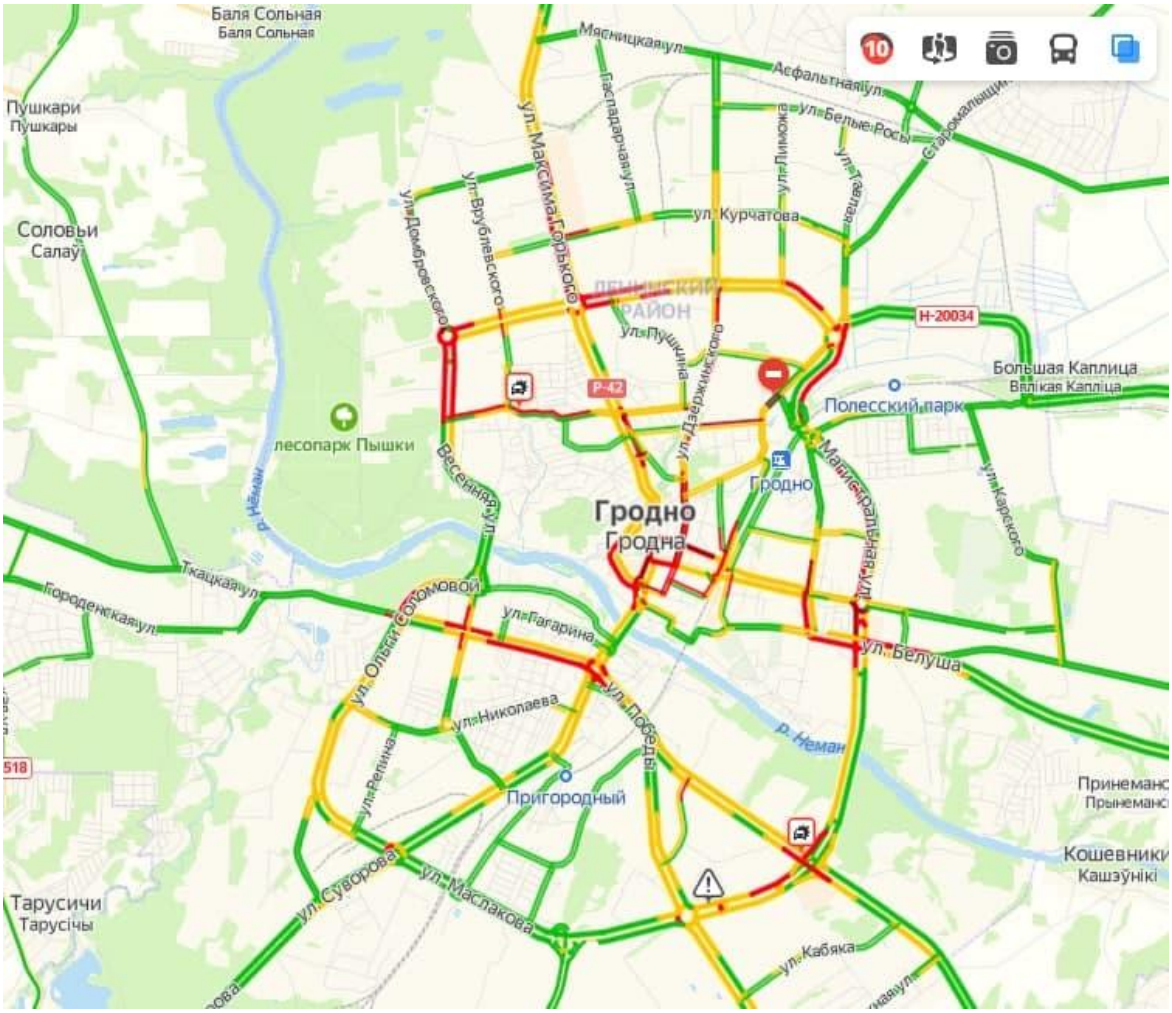


Рисунок 1 – Пробки 10 баллов на улице Белуша



Рисунок 2 – План с координатами точек строительства

Задачей данного проекта является совмещение станции метрополитена, подземного перехода, торгового центра, автодорожного тоннеля и паркинга.

Верхний ярус занимает паркинг, следом два яруса – торговый центр, нижний – станция метрополитена колонного типа.

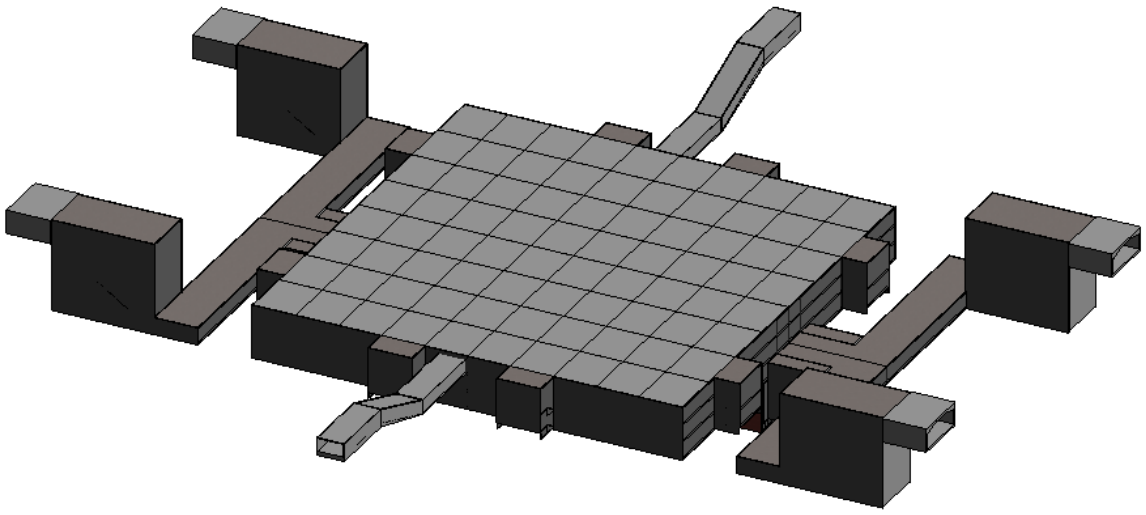


Рисунок 3 – Концептуальная модель станции метрополитена и торгового комплекса с автодорожным тоннелем, заездом на паркинг

Многофункциональный комплекс также может служить подземной развязкой, автомобилисты, долго стоящие на светофорах, могут въехать на паркинг, проехать по нему и оказаться за пределами перекрестка, тем самым сэкономив время и устранив заторы на перекрёстке.



Рисунок 4 – Архитектурное решение станции метрополитена в 3D виде

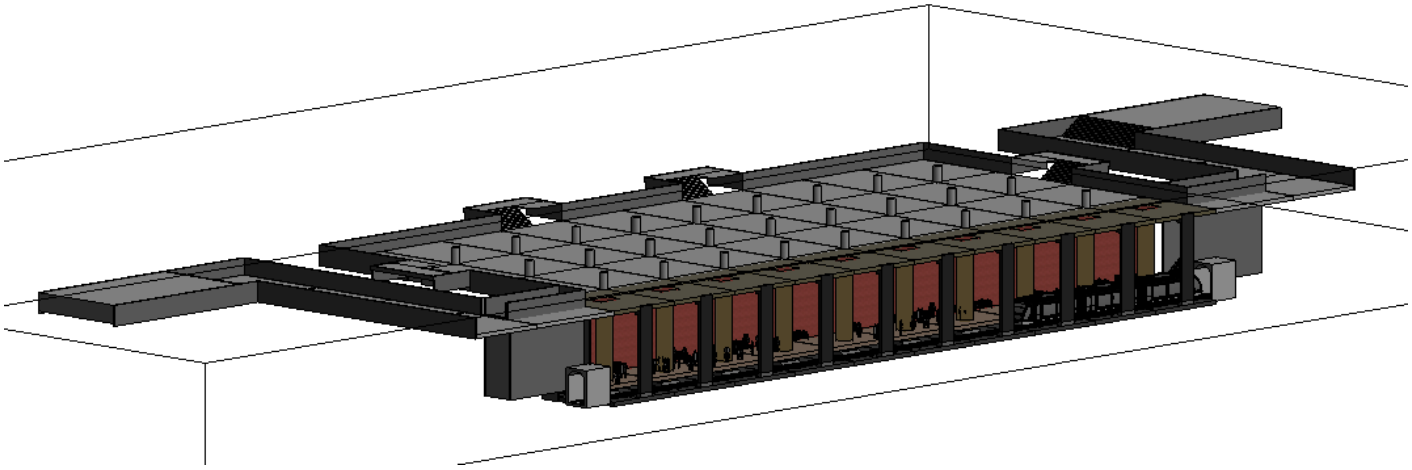


Рисунок 5 – Вид в разрезе участка комплекса предназначенного для расположения торгового центра

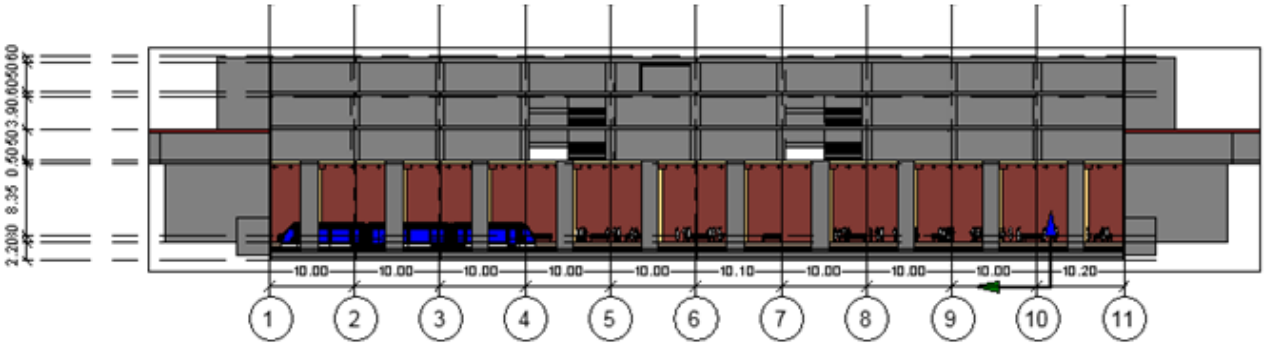


Рисунок 6 – Платформенный участок Разрез 1-1

Тоннелестроение по праву считается одним из самых затратных видов строительства, поэтому понятно стремление найти способ улучшить, ускорить,

удешевить и механизировать строительство тоннелей. Одним из таких способов является катучая тоннельная опалубка.

Она позволяет механизировать строительство монолитных железобетонных сводов тоннелей различного профиля и сечения. Также данная опалубка позволяет увеличить уровень безопасности производства работ на всех этапах.

Высокое качество полученной бетонной поверхности зависит от материалов, из которых изготовлены модули тоннельной опалубки. Благодаря качеству опалубки легко получить точные размеры и габариты тоннеля.



Рисунок 7 – Механизированный опалубочный комплекс СТАЛФОРМ Инт

Катучая тоннельная опалубка может быть использована, как и в типовых случаях, так и в проектах, требующих нестандартного оборудования.

Модули, из которых изготавливаются опалубка, транспортируют стандартным транспортом. Опалубка представляет собой стальную палубу, разделенную на сегменты, которые соединены друг с другом шарнирно.

Преимуществом такой опалубки является то, что благодаря модульному строению есть возможность составления оптимальной схемы конструкции под конкретный тоннель, что является оптимальным выбором для будущего строительства комплекта. Также важно то, что такая опалубка является многоразовой.

В курсовом проекте была затронута тема “Автоматизация проектирования тоннелей”, при помощи программного комплекса SOFiSTiK произведен расчёт перегонных тоннелей с предполагаемым пригрузом с дневной поверхности.

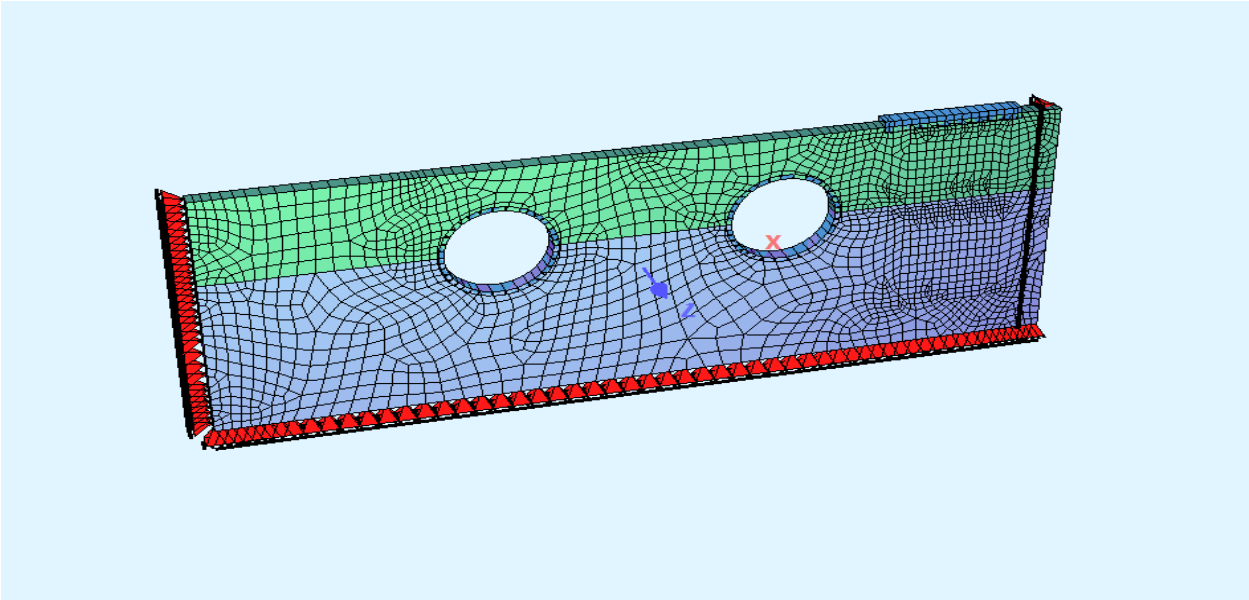


Рисунок 8 – Расчётная схема поперечного сечения с учётом застройки

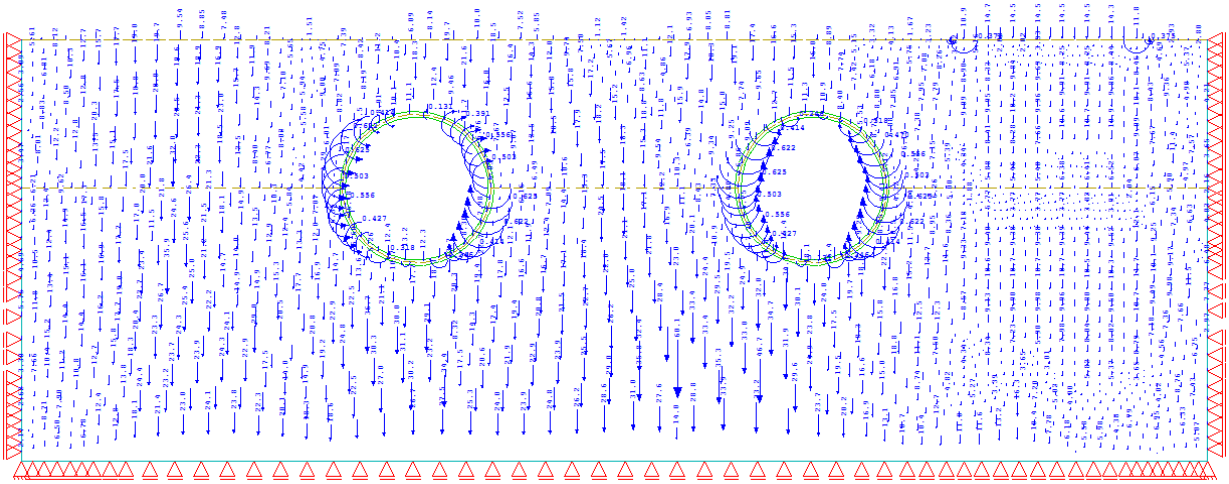


Рисунок 9 – Нагрузки от давления грунта на конструкции тоннеля

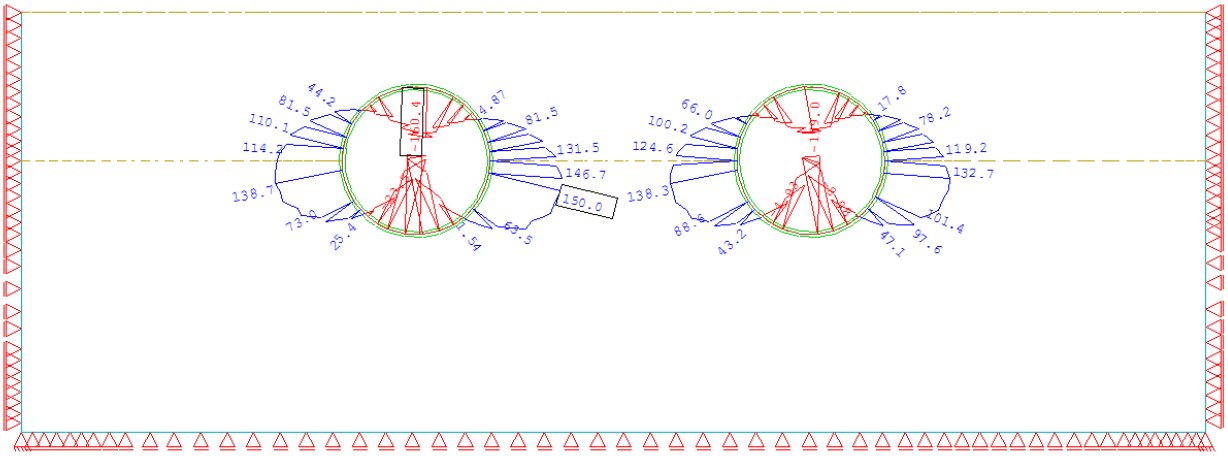


Рисунок 10 – Эпюра моментов, возникающая в конструкции железобетонной обделки на стадии завершенного строительства тоннеля



Рисунок 11 – Эпюра продольных усилий, возникающая в конструкции железобетонной обделки на стадии завершенного строительства тоннеля

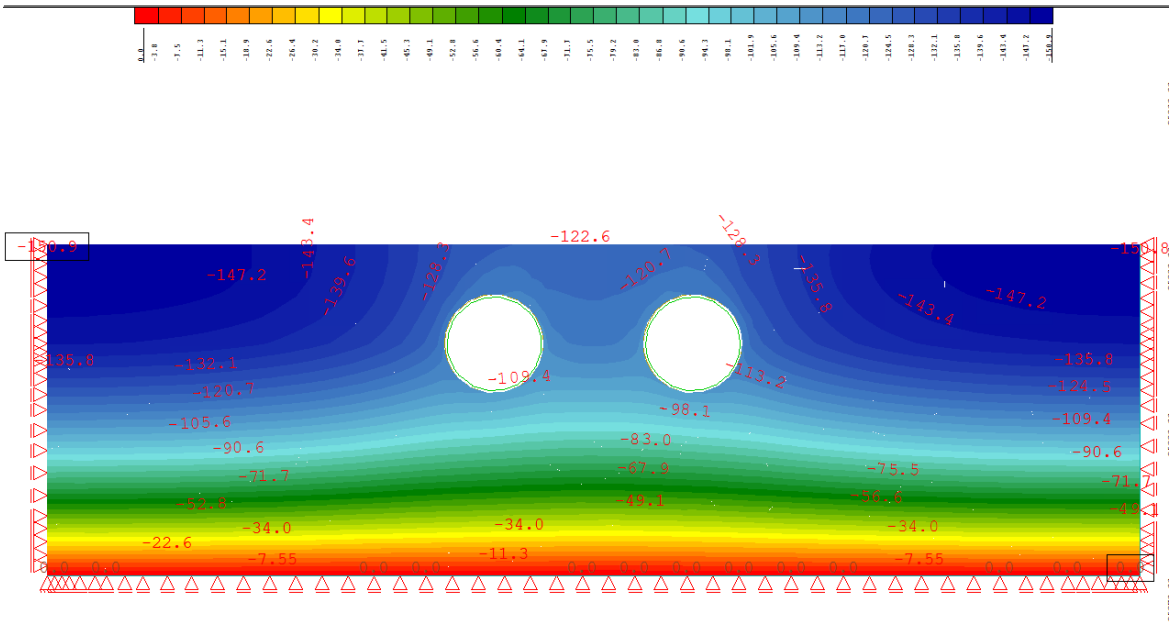


Рисунок 12 – Изополя перемещения по вертикали упругого полупространства совместного с железобетонной обделкой на стадии строительства тоннеля

УДК 624.195

Проект развития транспортной сети

***Заварзин Иван Вадимович**, студент 4 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулаго Ю.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

Транспортная сеть – это совокупность материальных благ, объединённых в единую систему с целью обеспечения транспортировки грузов и пассажиров. Является одним из ключевых элементов инфраструктуры, потому как обеспечивает экономическое и социально-культурное взаимодействие между разными регионами.

Основными элементами транспортной сети являются:

- Пути сообщения: автомобильные и железные дороги, водные пути и воздушные коридоры
- Транспортные узлы: вокзалы, станции, порты и аэропорты
- Транспортные средства: железнодорожные составы, автомобили, водные и воздушные суда

В рамках данной работы мною был разработан проект развития транспортной сети, представляющий из себя комплекс транспортных сооружений (моста, автомобильной дороги и линии подвесной монорельсовой дороги) с прилегающей инфраструктурой (Рис. 1).

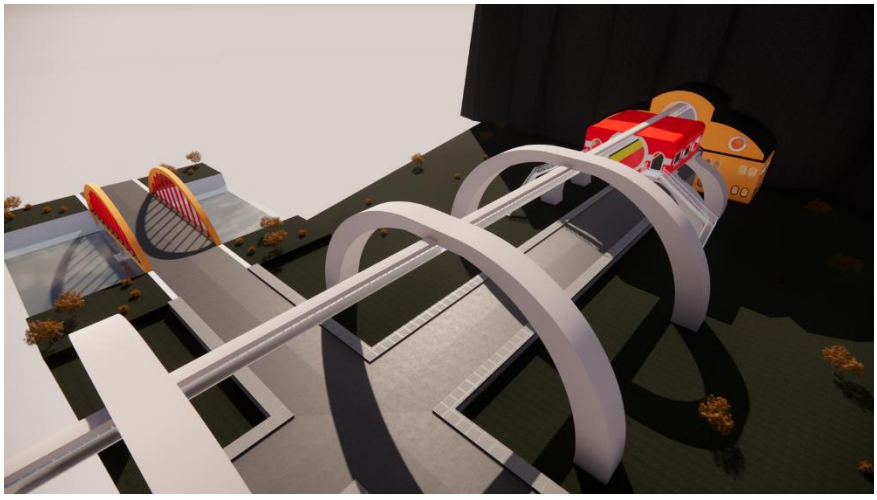


Рисунок 1 – Общий вид сооружения

Арочный мост с ездой по низу (Рис. 2):



Рисунок 2 – Арочный мост

Помимо этого, не стоит забывать также и о прилегающей к транспортной сети инфраструктуре (заправочные станции, пункты питания и оказания медицинской помощи, пункты временного проживания и т. д.). Эти объекты пускай и не входят непосредственно в состав транспортной сети, но играют немаловажную роль, обеспечивая ее полноценное функционирование.

Станция подвесной монорельсовой дороги с прилегающим зданием (Рис. 3):



Рисунок 3 – Станция монорельсовой дороги

Преимуществами данного проекта являются:

- Интеграция общественного вида транспорта
- Совмещение автодорожного и железнодорожного транспорта в одном проекте
- Применение многоуровневой компоновки
- Встроенное в портальную часть тоннеля здание, вмещающее в себя всю необходимую инфраструктуру
- Единая стилистика для всех сооружений

УДК 624.19

Проект организации строительства Велопешеходного тоннеля в городе Казань

***Канигин Максим Александрович**, студент 1 курса магистратуры*
кафедры «Автомобильные дороги, мосты и тоннели»
Казанский государственный
архитектурно-строительный университет, г. Казань
Научный руководитель – Петропавловских О.К, старший преподаватель
кафедры «Автомобильные дороги, мосты и тоннели»

Цель работы: разработать проект организации строительства велопешеходного тоннеля в городе Казань.

Актуальность: необходимость обеспечения безопасного и удобного движения пешеходов и велосипедистов в условиях возрастающей транспортной нагрузки и развития городской инфраструктуры.

Практическая значимость:

- Формирование велосипедной сети города — проект позволяет устранить разрыв в маршруте и создать непрерывное движение, став ключевым элементом в развитии велосипедной инфраструктуры города.
- Транспортная доступность населения в условиях города Казань — тоннель обеспечит безопасный проезд под железнодорожными путями.

Для преодоления железнодорожной насыпи **в Казани**, был разработан проект велопешеходного тоннеля.

Общая длина сооружения 35 м, ширина прохода в свету 4 м, высота прохода в свету 3 м.

На Рис. 1 представлена сводная карта веломаршрутной сети города Казань. На схеме показаны магистральные, районные, внеуличные и рекреационные веломаршруты.

На Рис. 2 показан предлагаемый план развития городской велодорожной сети в районе проектирования тоннеля. На схеме отмечены существующие (жёлтая линия) и предлагаемые (синяя линия) участки веломаршрутов.



Рисунок 1 – Сводная карта веломаршрутной сети города Казань

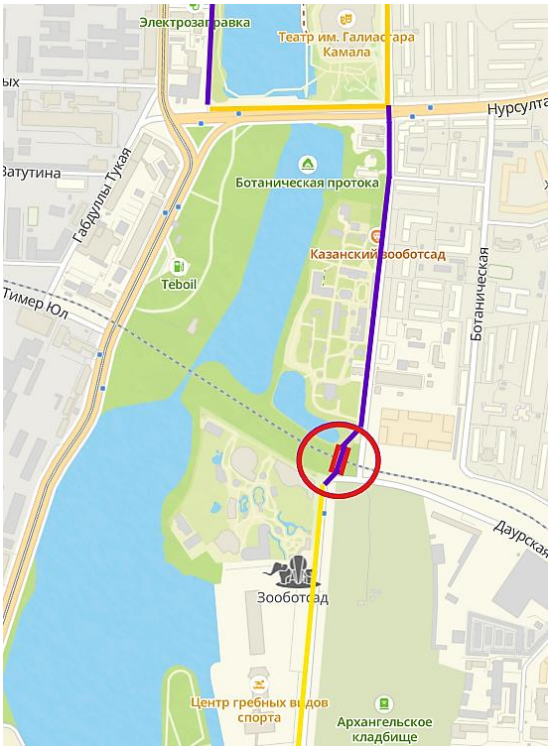


Рисунок 2 – Предлагаемый план развития городской велодорожной сети

Информационное моделирование и программное обеспечение

В процессе проектирования использовались современные BIM-технологии, что позволило повысить точность проектных решений и оптимизировать технологическую последовательность работ:

- Autodesk Revit — создание архитектурной и конструктивной информационной модели тоннеля и стройплощадки;
- Enscape — визуализация и 3D-презентация объекта;
- SCAD Office — расчёт прочности временного крепления;

- Spider Project — разработка календарного графика строительства;
- ГРАНД-Смета — определение сметной стоимости проекта.

В качестве вариантов сравнения способа сооружения тоннеля было рассмотрено 2 варианта (Табл. 1):

1) **Вариант 1 —** сооружение тоннеля способом продавливания.
2) **Вариант 2 —** сооружение тоннеля горным способом.

Таблица 1 – Технико-экономические показатели

№	Показатель	Вариант 1 — Продавливание	Вариант 2 — Горный способ	Комментарий
1	2	3	4	5
1	Стоимость строительства, тыс. руб	68 794 тыс. руб.	56 369 тыс. руб.	Экономия 22%
2	Уровень безопасности работ	Работы ведутся без доступа к забою, что исключает быстрое вмешательство при нештатных ситуациях.	Работы ведутся со сплошным забоем под защитой рам и трубчатого экрана, с постоянным контролем работ и возможностью усиления крепи.	При равных грунтах и условиях, горный способ позволяет гибко реагировать на непредвиденные ситуации, обеспечивая более высокий уровень управляемости рисками
3	Контроль деформаций и стабильности	Ограниченный. Основные сдвижения фиксируются по внешним признакам, прямой доступ к обделке во время продавливания невозможен	Постоянный. Визуальный и инструментальный контроль за крепью и забоем ведётся в реальном времени	Вариант 2 технологически надёжнее
4	Тип обделки	Сборные ж/б секции	Монолитный ж/б + металлическая крепь	Монолитная железобетонная обделка обеспечивает лучшую герметичность и устойчивость по сравнению со сборными секциями

Выводы:

1) Горный способ обеспечивает высокий уровень безопасности строительства за счёт постоянного контроля за забоем и возможности оперативного усиления крепи.

2) Горный способ экономически выгоднее и технологически надёжнее.

По результатам технико-экономических показателей проект разработан на сооружение тоннеля горным способом.

Обоснование организационно-технологической схемы, определяющей оптимальную последовательность строительства велопешеходного тоннеля горным способом

Процесс возведения объекта включает три ключевых этапа:

1. Подготовительные работы;
2. Основные работы;
3. Восстановительные работы.

1. Подготовительные работы

Организация строительных площадок СП1 и СП2: установка ограждения, устройство временных дорог из ж/б плит, устройство водоотвода, освещения, временных зданий и сооружений.

На Рис. 3 приведена 3D-модель организации строительных площадок, выполненная в программном комплексе **Revit** с последующей привязкой к местности и визуализацией в плагине **Enscape**.

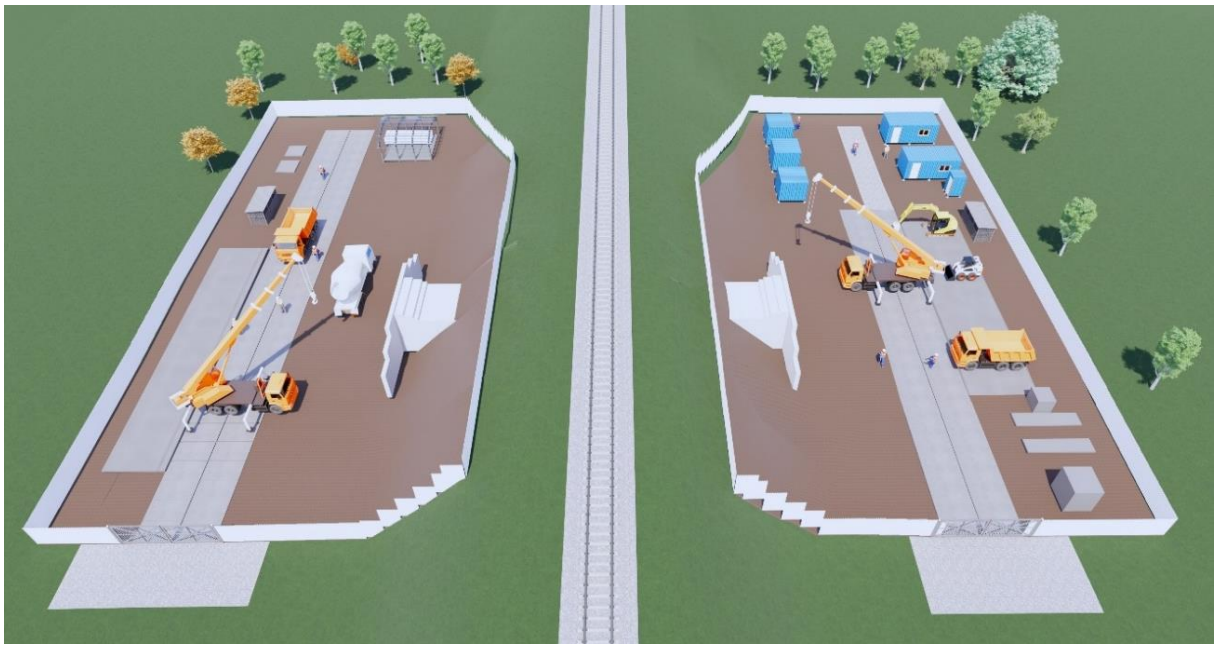


Рисунок 3 – 3D-модель организации строительных площадок

2. Основные работы

Устройство грунтоцементных свай

Технология устройства свай основана на методе струйной цементации JET2. Основные операции:

- бурение лидерных скважин диаметром 112 мм до проектной отметки;
- устройство грунтоцементных свай путем перемешивания грунта с цементным раствором по струйной технологии в процессе вращения и подъема буровой установки. План устройства грунтоцементных свай показан на Рис. 4.

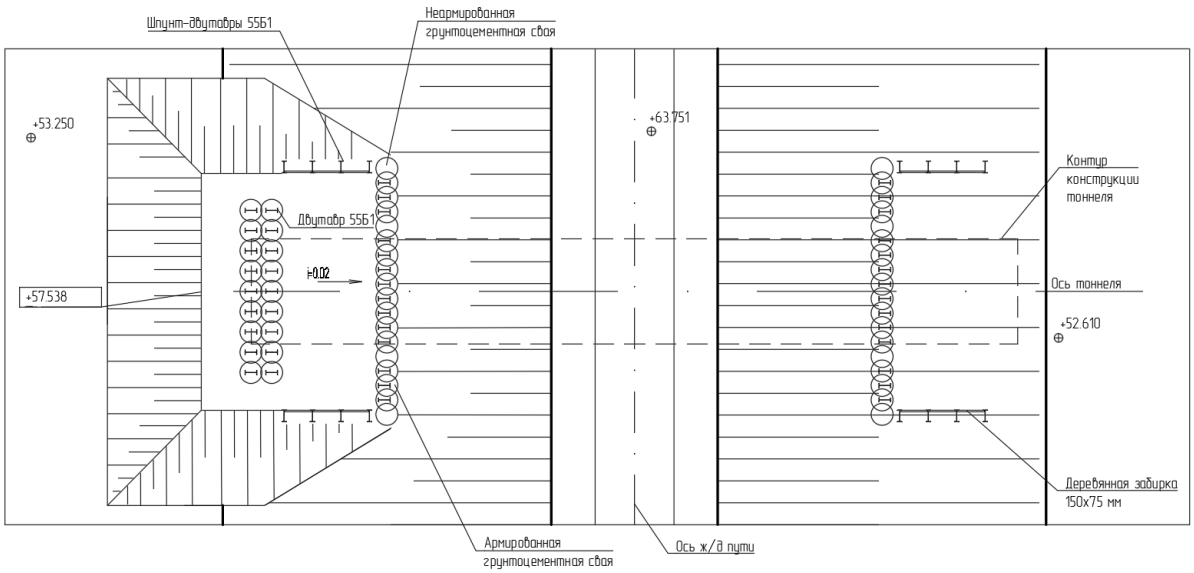


Рисунок 4 – План устройства грунтоцементных свай

Устройство защитного экрана из труб

Защитный экран представляет собой пространственную конструкцию из стальных труб Ø530×16 мм и уголков 56×5 мм. Полости труб заполняются бетоном В15 для обеспечения жёсткости и предотвращения деформаций.

Технологическая последовательность:

1. Подготовка площадки: укладка дорожных плит, установка фундаментных блоков, монтаж бурошнековой установки (Рис. 5).

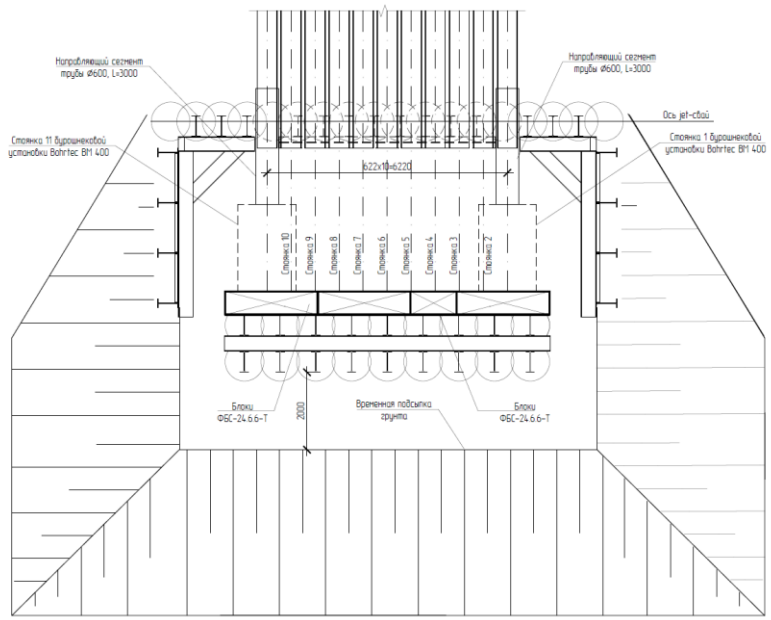


Рисунок 5 – План устройства защитного экрана из труб

2. Продавливание труб длиной 24 м секциями по 3 м.

3. Соединение труб замковыми устройствами, приварка к ригелям рамы. Общий вид на скрепление труб защитного экрана приведен на Рис. 6. Узел скрепления приведен на Рис. 7.

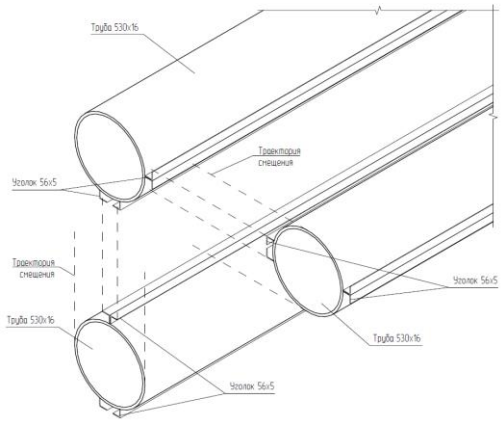


Рисунок 6 – Общий вид на скрепление труб защитного экрана

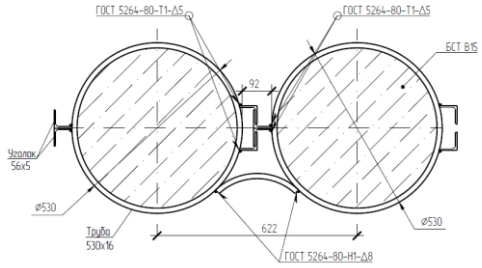


Рисунок 7 – Узел скрепление труб защитного экрана

4. Бетонирование труб с помощью пневмонагнетателя.

5. Демонтаж оборудования и последовательная проходка по вертикальным ярусам (всего 9 ярусов, 27 труб) (Рис. 8).

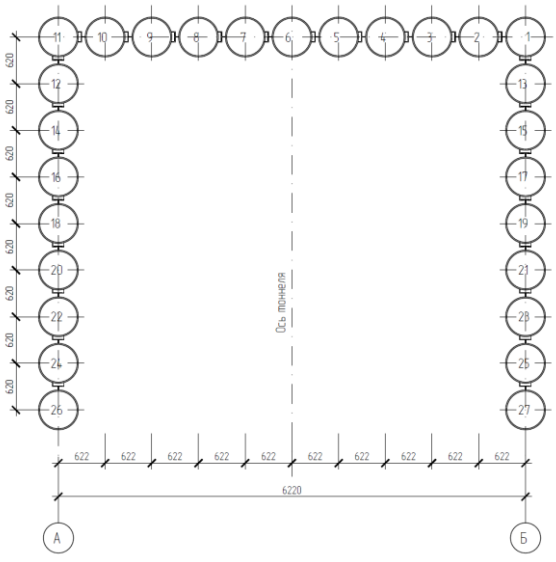


Рисунок 8 – Очередность устройства защитного экрана из труб

Для конструирования защитного экрана, металлических рам крепления, шпунтового ограждения и прочих металлических элементов была разработана BIM-модель в программном комплексе **Revit** (Рис. 9).

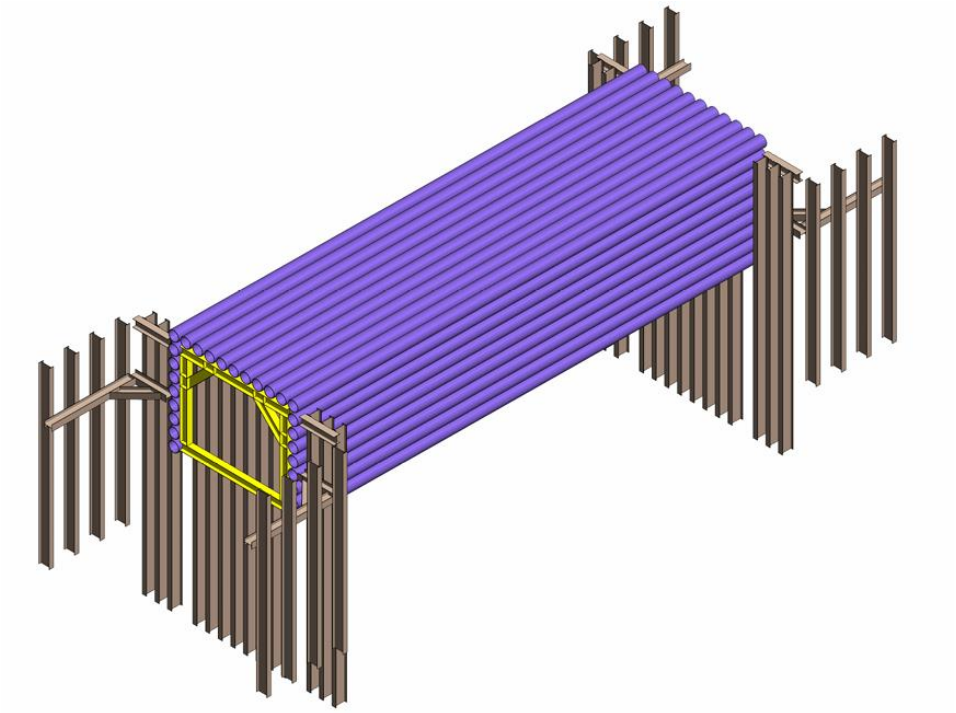


Рисунок 9 – BIM-модель конструктивных элементов тоннеля: защитного экрана, металлических рам, шпунтового ограждения и армирующих элементов тоннеля

Проходка тоннеля

Проходка выполняется после достижения бетоном экранных труб не менее 70% проектной прочности.

Проходка тоннеля производится горным способом сплошным забоем захватками по 1,5 м:

- производится вскрытие грунтоцементных свай в месте строительства;
- разработка грунта мини экскаватором на величину заходки;
- транспортировка грунта из тоннеля выполняется при помощи мини погрузчика с погрузкой грунта в автосамосвал и транспортировка в отвал;
- закрепление лба забоя щитами из бруса;
- установка опорных плит ОП 6.2;
- монтаж металлической рамы РМ-1 (Рис. 10);
- по мере разработки грунта в тоннеле и установки рам, производится бетонирование чернового слоя в лотке;
- далее выполняется аналогичные работы по разработке грунта, установке металлических рам и бетонирование чернового слоя в лотке захватками 1,5 м;
- нанесение на стены и свод набрызг-бетона (Рис. 11).

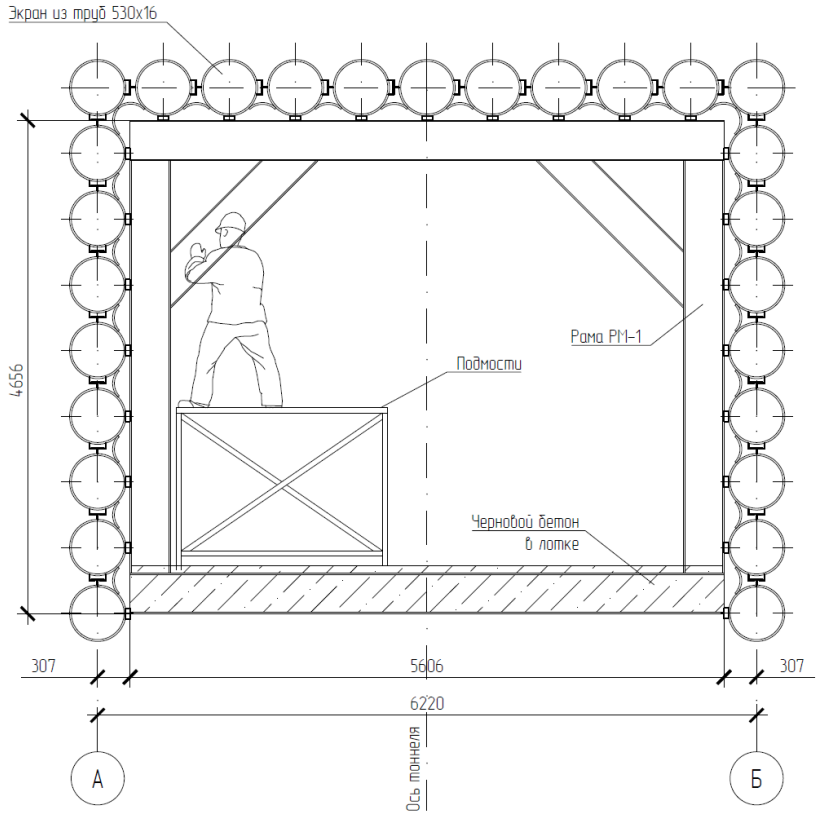


Рисунок 10 – Устройство металлических рам крепления тоннеля

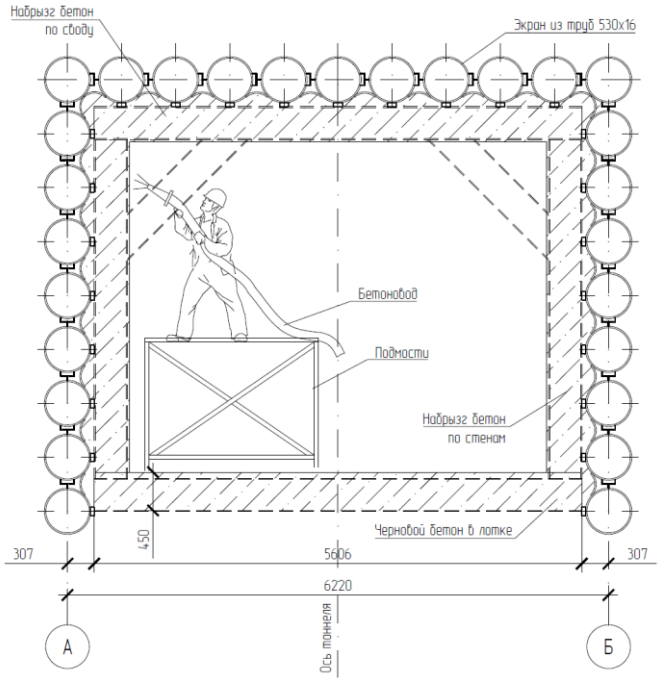


Рисунок 11 – Нанесение набрызг-бетона

Армирование и бетонирование обделки

Обделка тоннеля выполняется прямоугольной формы из монолитного железобетона. Толщина стен тоннеля составляет 0,4 м, свода –0,4 м, лотка – 0,4 м. Класс бетона по прочности – В25, морозостойкость F300, водонепроницаемость W8.

Порядок производства работ:

1) 1 этап – армирование и бетонирование лотка тоннеля (Рис. 12);
2) 2 этап – армирование и бетонирование стен тоннеля (Рис. 13);
3) 3 этап – армирование и бетонирование свода тоннеля (Рис. 14).

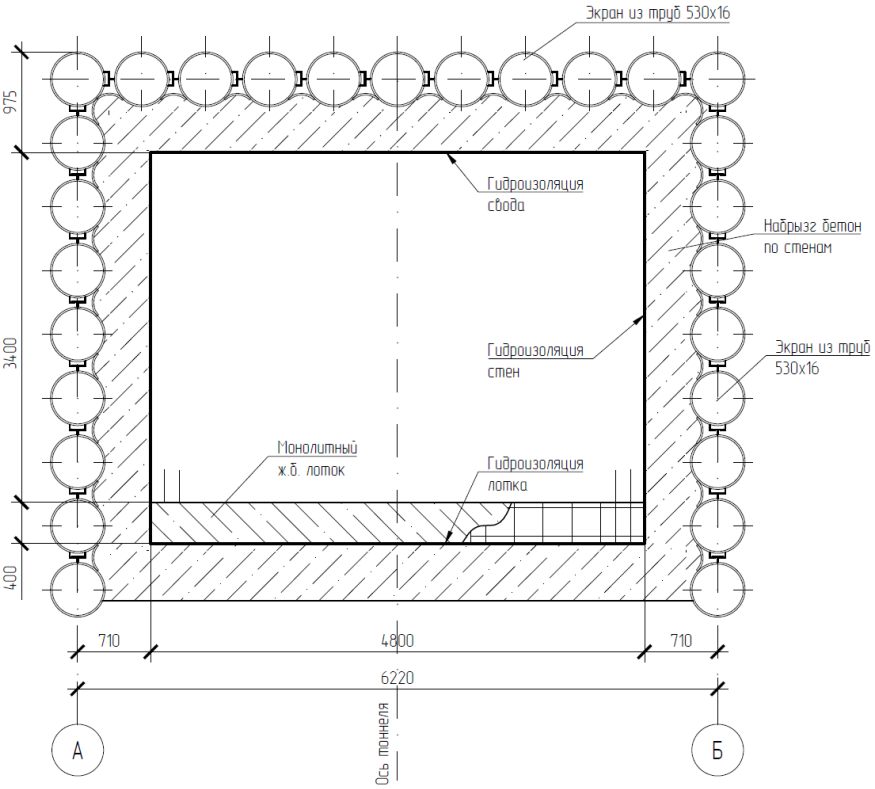


Рисунок 12 – Бетонирование лотка тоннеля

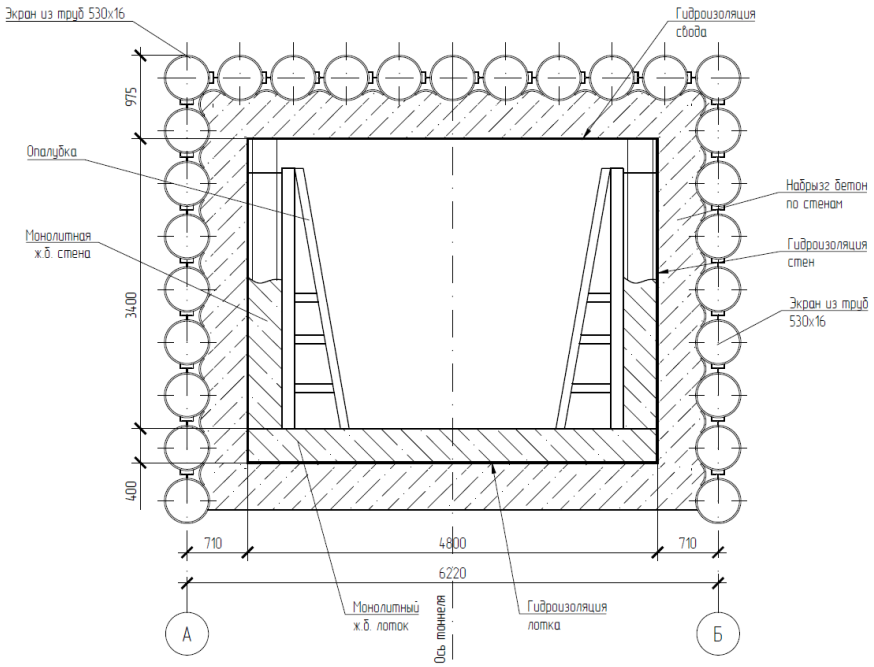


Рисунок 13 – Бетонирование стен тоннеля

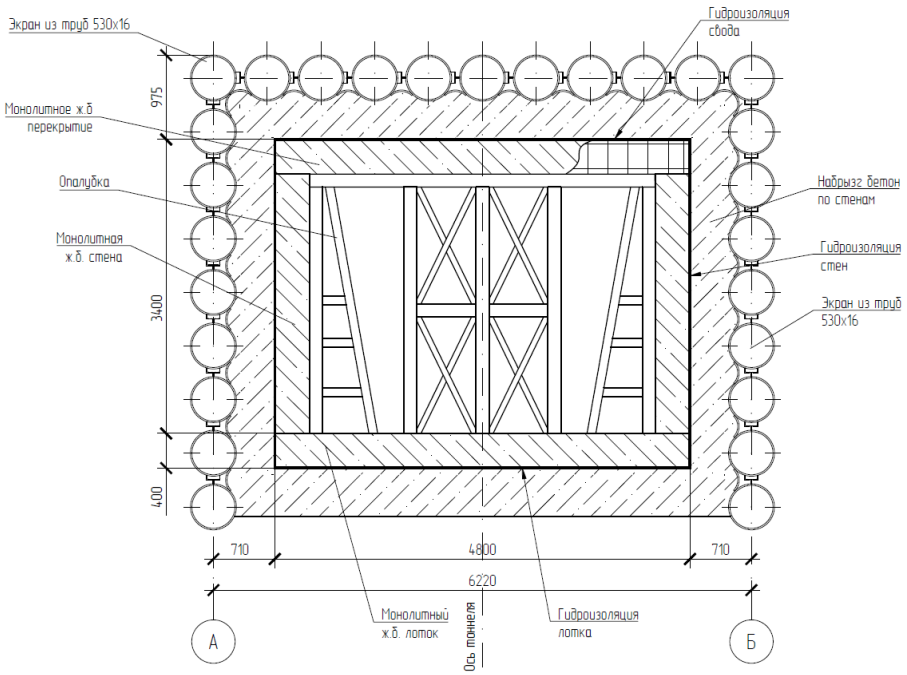


Рисунок 14 – Бетонирование свода тоннеля

Проветривание выполняется по нагнетательной схеме вентиляторами ВЦ-11БК, установленных у входа в тоннель.

Забор воздуха осуществляется по металлическим воздуховодам диаметром 1000мм на расстоянии не менее чем 15м от торца котлована.

Восстановительные работы

После завершения основных работ по сооружению велопешеходного тоннеля, выполняются работы по восстановлению до состояния, предшествующему началу производства работ.

Перечень восстановительных работ:

- демонтаж строительных площадок СП1 и СП2;
- рекультивация, благоустройство прилегающих к тоннелю территорий.

Расчет временного крепления на нагрузки и воздействия в случае вывала забоя в процессе проходки велопешеходного тоннеля в г. Казань в программном комплексе SCAD Office.

Расчет несущих конструкций экрана из труб и временного крепления на нагрузки и воздействия в случае вывала забоя, сложенного песчаными грунтами, в процессе проходки выполнены численно-аналитическими методами в соответствии с рекомендациями:

- Методические рекомендации по расчету временной крепи тоннельных выработок, ЦНИИС, 1984;
- Рекомендации по применению опережающих экранов из труб при сооружении транспортных тоннелей, ЦНИИС, 1988.

Возможность формирования вывала при проходке при расчете учитывается в соответствии со схемой на Рис. 15.

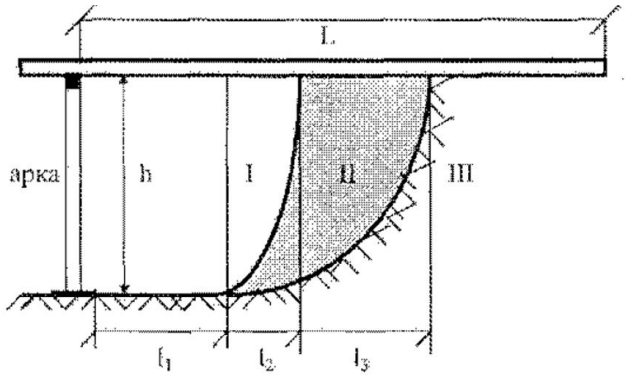


Рисунок 15 – Схема расчета экрана из труб при формировании вывала забоя

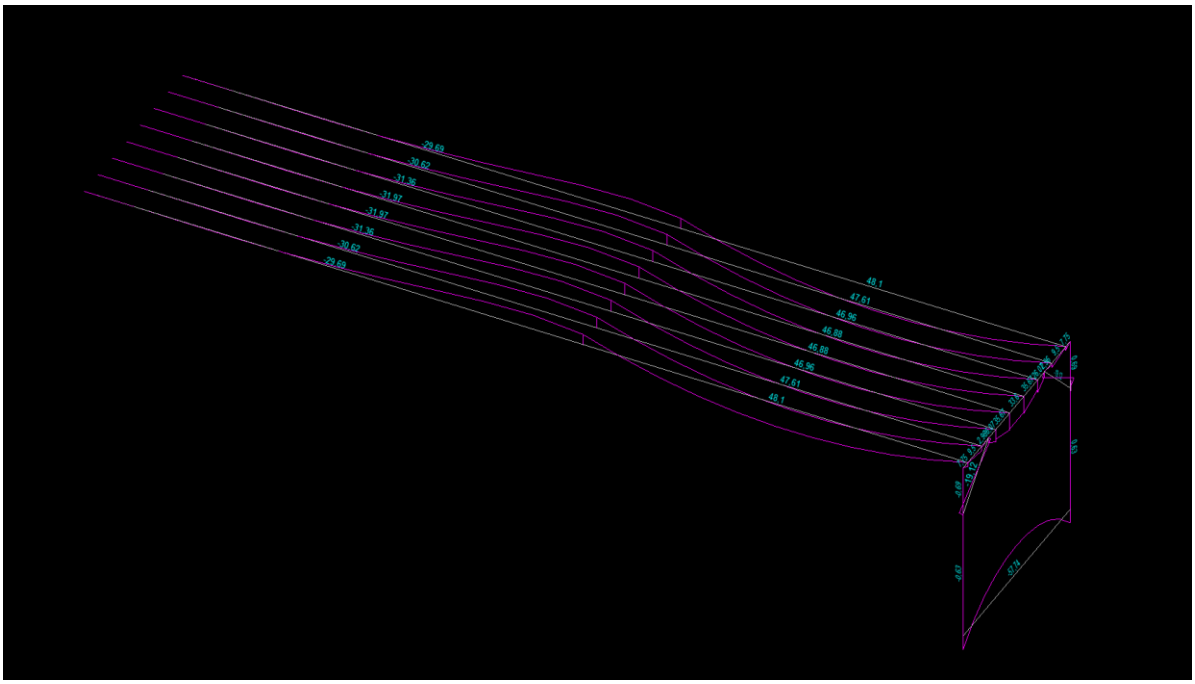
В качестве нагрузок на экран в уровне его верха рассмотрены:

- постоянная вертикальная нагрузка от веса насыпи, ж.д полотна
- временная вертикальная нагрузка от подвижного состава ж.д. С14 по СП 35.13330.2011

Определение усилий в трубах экрана и рамах временного крепления

Для определения внутренних усилий в трубах экрана по схеме балки одним концом, опирающейся на металлическую раму временного крепления, другим на упругое основание, использовалась конечно-элементная имитационная модель в плоской постановке. Для расчета применялся программный комплекс **SCAD Office.**

Результаты расчета представлены на Рис. 16, 17, 18, 19. Максимальные значения изгибающего момента и продольных сил приведены в Табл. 2


Рисунок 16 – Эпюра изгибающих моментов в трубах экрана

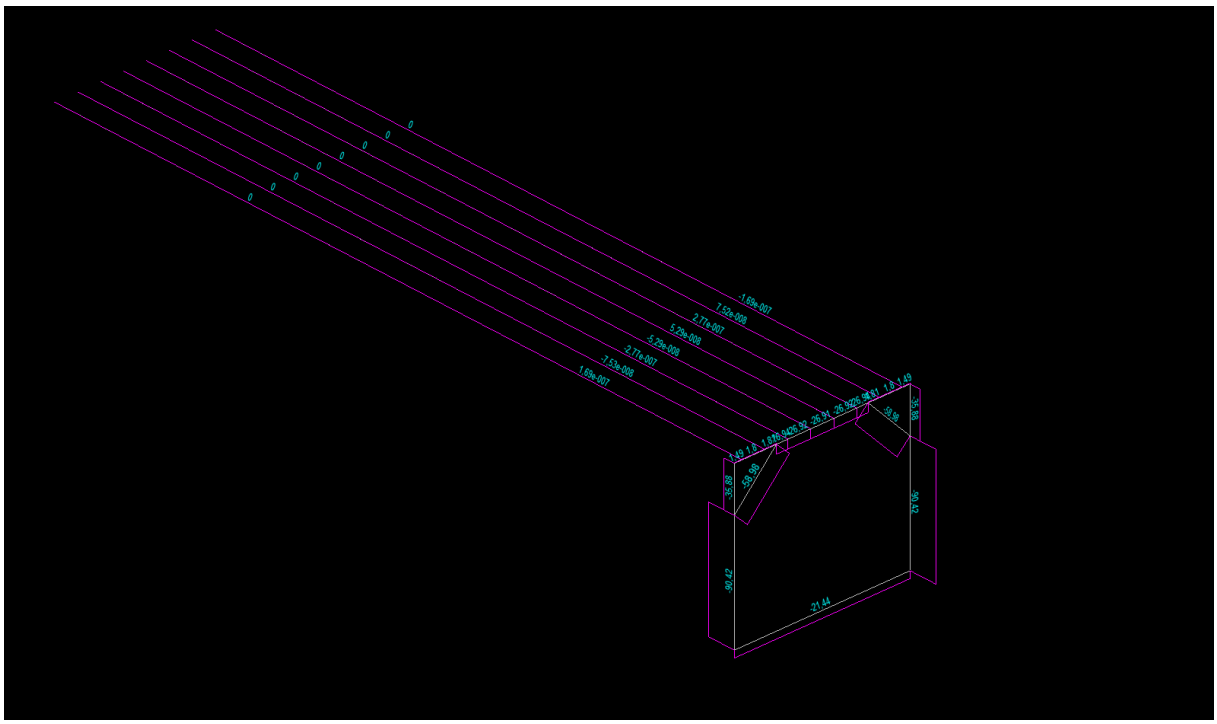


Рисунок 17 – Эпюра продольных сил в трубах экрана

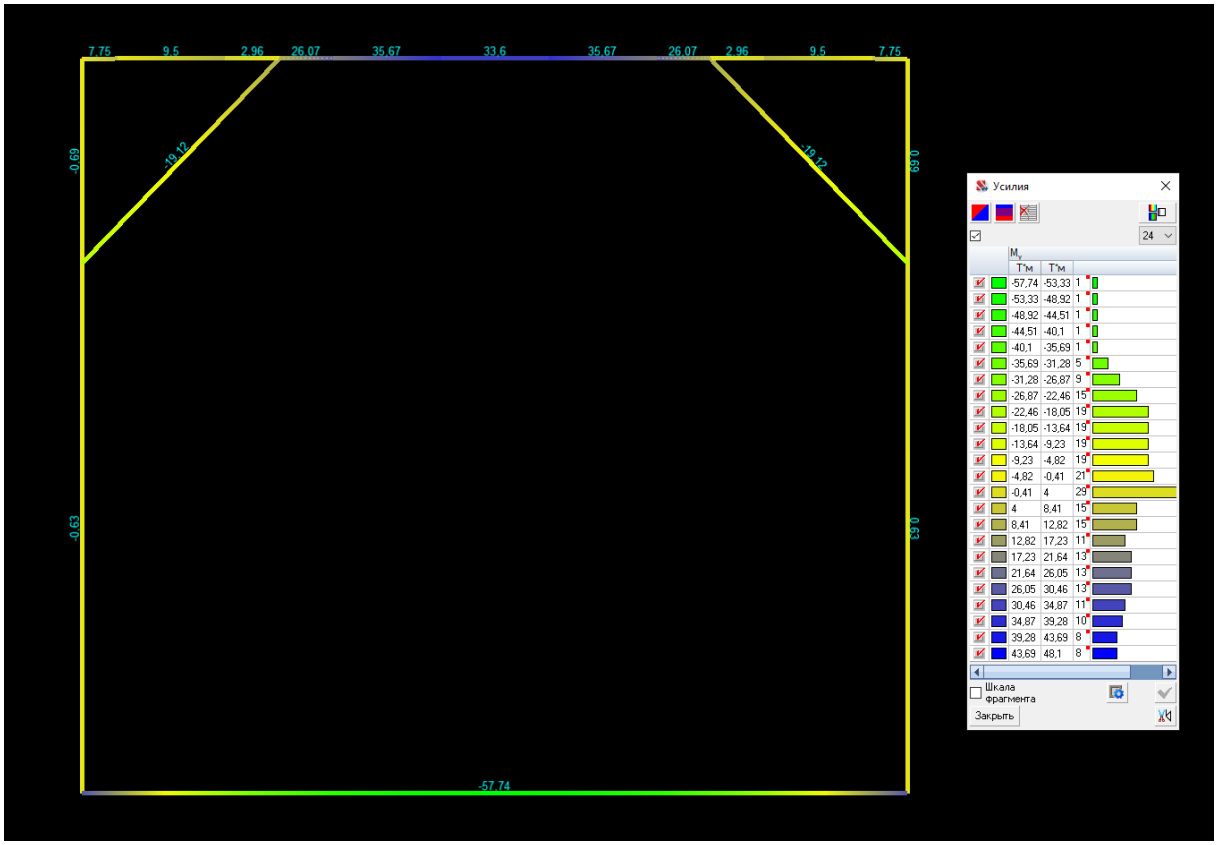


Рисунок 18 – Эпюра изгибающих моментов в элементах рамы

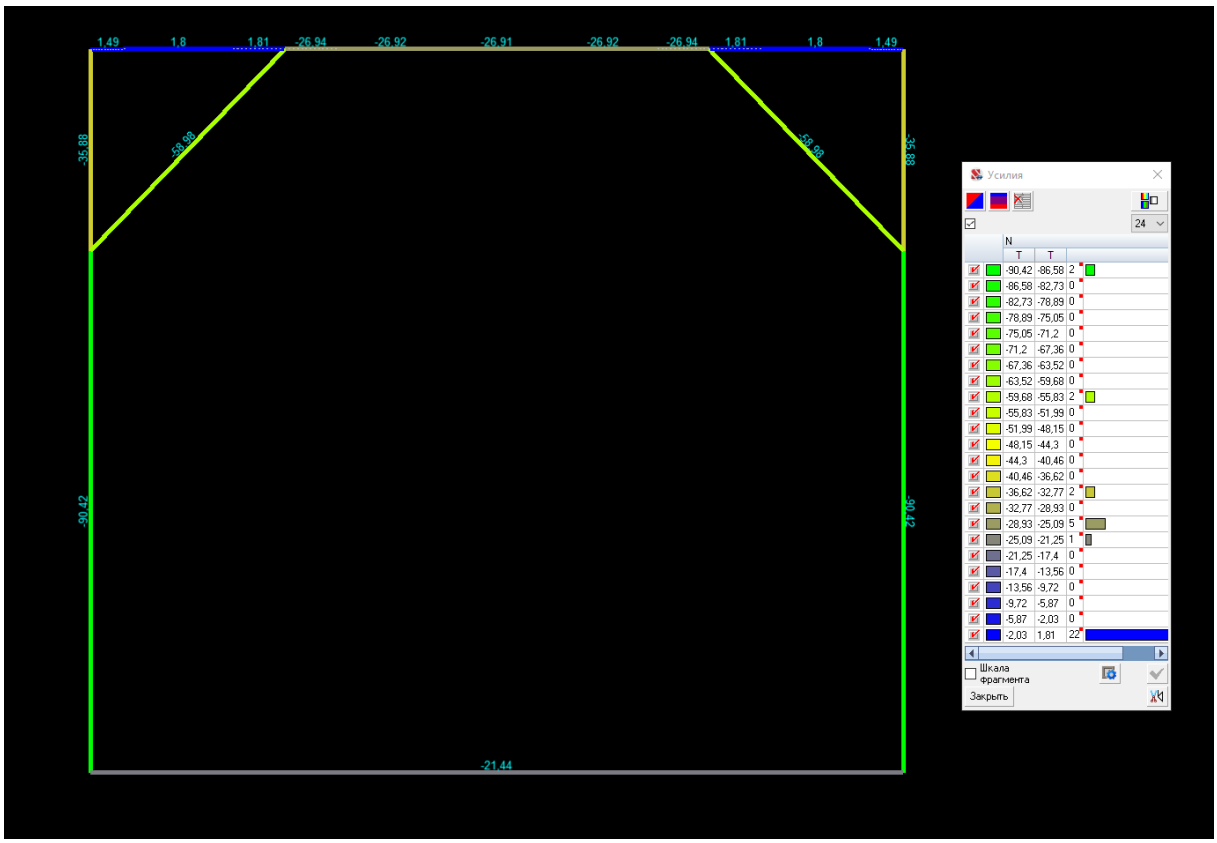


Рисунок 19 – Эпюра продольных сил в элементах рамы

Расчет труб экрана и рамы временного крепления по прочности

Для устройства экрана предусмотрено применение труб 530х16 из стали С245.

Рама конструктивно состоит из 3-х видов элементов: ригеля из двутаврв 40Ш1, стоек из двутавр 40Ш1, подкосов из двутавр 40Ш1. Учитывая, что сечения элементов рамы однотипные из двутаврового прокатного профиля Двутавр 40Ш1 по ГОСТ Р 35087-2024, расчет производился по наиболее невыгодным сочетаниям внутренних усилий для ригеля и одной из стоек. Результаты приведены в Табл. 2:

Таблица 2 – Результаты расчета труб экрана и рамы временного крепления по прочности

№	Наименование	Максимальное значение изгибающего момента, кН*м	Максимальное значение продольных сил, кН	Максимальное расчетное напряжение, кПа	Расчетное сопротивление стали, кПа	Коэф. запаса прочности
1	2	3	4	5	6	7
1	Трубы экрана	481	0,000003	149239,8	235000	1,57
2	Металлическая рама (ригели)	360	270	212375	235000	1,11
3	Металлическая рама (стойки)	6,9	910	80531	235000	2,91

По результатам расчета установлено, что механическая прочность всех конструктивных элементов экрана из труб, рам временного крепления в отдельности и всей системы крепления в целом обеспечена.

Заключение

В результате работы был успешно решен комплекс задач, что позволило разработать технологически и экономически обоснованный проект:

1. На основе технико-экономических показателей выбран оптимальный способ производства работ.
2. Разработана комплексная информационная модель тоннеля в **Revit** с визуализацией в **Enscape**.
3. Выполнены расчет и проектирование строительной площадки, обеспечивающие эффективную организацию работ.
4. Определена оптимальная последовательность строительных процессов.
5. Расчет в **SCAD Office** подтвердил надежность временного крепления.
6. В **Spider Project** составлен календарный план, установивший продолжительность строительства в 9,5 месяцев.
7. Сметный расчет в **ГРАНД-Смете** определил общую стоимость в 56 368,46 тыс. руб. (1 878,94 тыс. руб./п.м.).

УДК 624.19

Особенности тоннелестроения в Республике Беларусь

***Кулаго Юлия Владимировна**, магистарнт*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Гречухин В.А., канд. техн. наук, доцент
кафедры «Мосты и тоннели»

Тоннелестроение имеет высокую актуальность для Республики Беларусь, прежде всего в контексте развития Минского метрополитена и совершенствования дорожной инфраструктуры столицы.

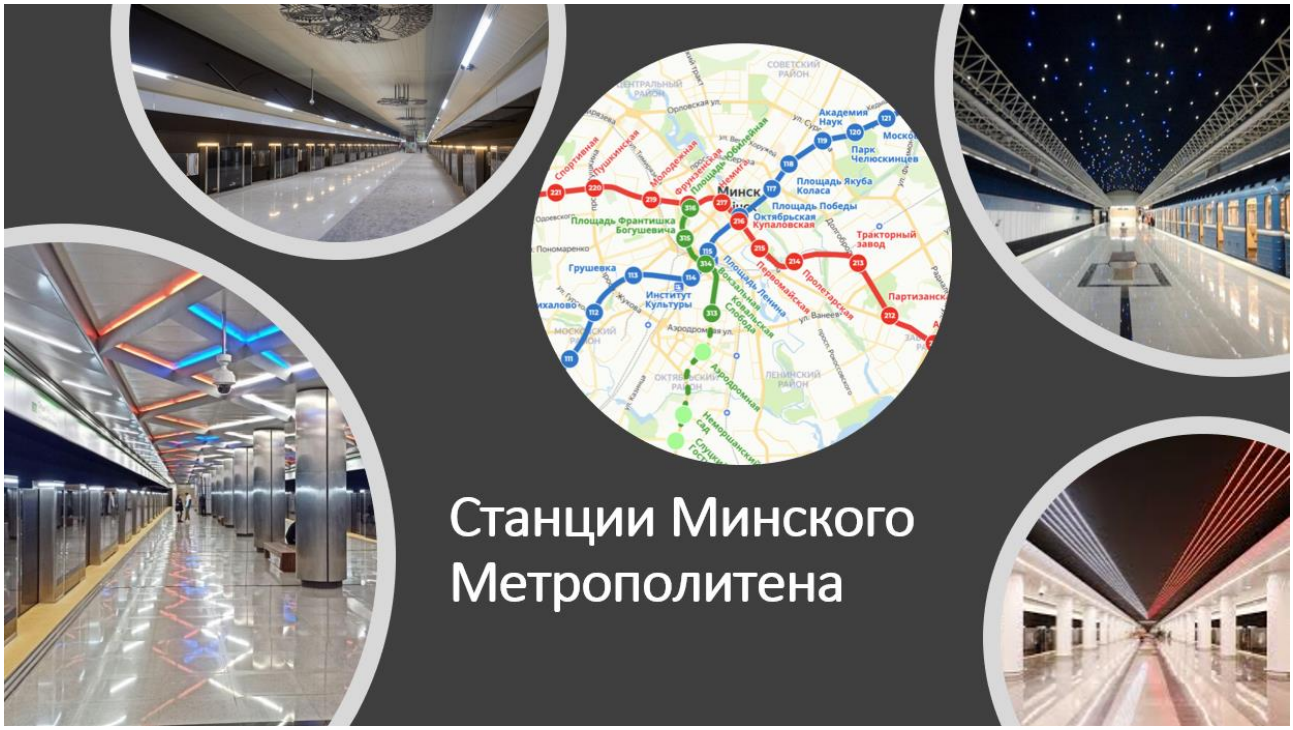


Рисунок 1 – Станции Минского Метрополитена

Минский метрополитен относится к области тоннелей мелкого заложения

Перегонные тоннели, соединяющие станции, прокладываются закрытым способом.

Для строительства станций используется открытый способ, где над будущей станцией разрабатывается огромный котлован. (15-17 метров в глубину)

В случае строительства станций закрытым способом, это было бы метро глубокого заложения.

Характерными для территории города Минска грунтами являются насыпные грунты и надморенные отложения в виде песка и глины

Наличие неустойчивых, сильно обводненных грунтов требует применения нестандартных решений.

Из-за высокого уровня грунтовых вод существует риск «всплытия» станций, что вынуждает инженеров постоянно применять дополнительные решения по понижению уровня воды и укреплению конструкций.

Одним из таких решений является строительное водопонижение — комплекс мероприятий, направленных на временное или постоянное снижение уровня подземных вод.

Перед началом работ для осушения грунтов применяются различные системы водопонижения. Глубинными насосами откачивают воду с помощью насосов из скважин, чтобы понизить уровень грунтовых вод в зоне строительства.

Для строительства Минского метрополитена применятся тоннелепроходческимй механизированный комплекс (ТПМК) под названием Алеся.

(ТПМК) «Алеся» изготовлен французской компанией CSM, является высокотехнологичной машиной, предназначенной для прокладки тоннелей в сложных грунтовых условиях с высокой степенью безопасности для наземных сооружений.



Рисунок 2 – ТПМК

До появления в 2015 году ТПМК «Алеся», тоннели Минского метрополитена прокладывались с использованием менее автоматизированных технологий. На первой и второй линиях активно применялись немеханизированные проходческие щиты, где проходка велась вручную силами рабочих. Кроме того, значительные участки метро строились открытым способом, когда на месте будущих станций и перегонов вырывались глубокие котлованы, в которых возводились конструкции, а затем котлованы засыпались. Этот подход, хотя и был индустриальным и экономичным, сталкивался с серьёзными трудностями, включая плывуны и плотную сеть подземных коммуникаций, особенно в исторической части города. Несмотря на сложные условия, строительство осуществлялось с высокой надёжностью и точностью, и Минское метро получило высокую оценку от пассажиров с момента открытия.

Переход на новый уровень произошёл с вводом в эксплуатацию ТПМК «Алеся». Этот 92-метровый комплекс диаметром 6,28 метра и массой 525 тонн, состоящий из главного щита и восьми технологических тележек, кардинально изменил процесс. Полностью автоматизированная система позволяет прокладывать тоннели со скоростью до 15 метров в сутки. «Алеся» не только ускорила строительство, но и обеспечила более высокий уровень безопасности для работников и наземных сооружений. Комплекс выполняет весь цикл работ: бурит грунт, транспортирует отработанную породу и устанавливает железобетонные тюбинги, формирующие тоннельное кольцо.

Таким образом, «Алеся» стала символом технологического прогресса в строительстве Минского метрополитена, позволив перейти от ручных и открытых методов к более безопасной и эффективной механизированной проходке.

УДК 658.5

Платформа MStroy

Макаров Кирилл Сергеевич, Некрасова Анна Геннадьевна,
студенты 5 курса кафедры «Мосты и тоннели»
Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, г. Омск
Научный руководитель – Коденцева Ю.В., канд. техн. наук, доцент,
зав. кафедры «Проектное управление и информационное моделирование в строительстве»

В строительной отрасли одними из важнейших факторов являются различного рода документы, схемы, акты, соглашения и прочие носители информации о ходе строительства/проектирования. В настоящее время все большее внимание уделяется цифровизации всех процессов. С помощью программ, объединяющих в себе большинство процессов компании, становится удобнее и легче искать нужную информацию по проекту или объекту.

Мы проходили производственную практику в г. Тюмень в ТФ «Мостоотряд-36» в отделе подготовки исполнительной документации (ОПИД). В процессе прохождения практики мы познакомились с программой MStroy (Рис. 1), одной из главных задач которой является цифровизация строительных процессов и работ.

Рисунок 1 – Платформа MStroy

Цифровизация в строительной отрасли приобретает все большую важность благодаря нескольким ключевым аспектам:

1. Повышение эффективности и производительности
2. Снижение затрат и оптимизация ресурсов
3. Улучшение качества и безопасности
4. Ускорение процессов проектирования и согласования

Цифровизация становится ключевым фактором конкурентоспособности в строительной отрасли, позволяя компаниям адаптироваться к быстро меняющимся требованиям рынка, снижать издержки и повышать качество строительства.

MStroy – единая система для создания информационных моделей на всех стадиях жизненного цикла проекта. Программный комплекс предназначен для управления строительными проектами. Платформа включает в себя онлайн сервис, через который осуществляется доступ ко всей информации о проекте из среды общих данных в структурированном виде.

Автором ПО MStroy является АО «Мостострой-11» (входит в ГК Нацпроектстрой), строительная компания, работающая на территории РФ и ближнего зарубежья.

Ключевыми преимуществами MStroy являются: прогнозирование рисков с помощью ИИ; экономия ресурсов; а также умные решения, которые предоставляют рекомендации для принятия обоснованных решений.

Стоит отметить важность минимизации рисков при выполнении работ, а также при оформлении документации. Выполнение процессов в привычных программах, как «Microsoft Excel», не дает точной гарантии правильного результата. Применение MStroy позволяет снизить вероятность неверного результата, тем самым уменьшить общее число ошибок.

MStroy имеет множество модулей для управления и организации проектов, такие как:

- Кабинет руководителя

Дашборды - Интерактивный инструмент, который позволяет увидеть полный объем информации с высокой степенью детализации и группировкой показателей: стоимостные показатели, персонал, физические объемы.

Фото/Видео отчеты - Данные отчеты позволяют определить какие этапы работ выполнены, а какие еще предстоит выполнить, что помогает соблюдать сроки и бюджет проекта.

Графические отчеты - Представление данных в визуальном формате, который упрощает отслеживание риска срыва сроков строительства.

Светофор - Инструмент регулярного менеджмента, который позволяет выявлять отклонения в работе и устранять их максимально оперативно.

План/Факт по численности - С помощью данного отчета можно определить отклонения численности сотрудников.

Прочие отчеты - Отчеты под любые нужды подразделений АО «Мостострой-11».

- Строительство

График производства работ — это способ организовать и контролировать выполнение проекта. Он помогает планировать задачи, распределять ресурсы, следить за выполнением, управлять расходами и проверять, сколько работы уже сделано.

- Бюджет проекта

Этот раздел показывает доходы и расходы проекта. Вы можете сравнить запланированные и реально потраченные деньги. Это помогает понять, насколько хорошо проект справляется с финансами, обнаружить отклонения и принимать правильные решения для корректировки плана.

- Казначейское сопровождение

Этот раздел предназначен для хранения всех документов, связанных с финансовыми операциями и контрактами. Тут можно найти разные файлы — отчёты, заявки на технику, условия договоров, акты и другие документы, связанные с расходами.

- Управление трудовыми ресурсами

Модуль Управление трудовыми ресурсами позволяет:

✓ Использовать систему распознавания лиц для идентификации;

✓ Автоматически создавать таблицы учета рабочего времени в программе MStroy;

✓ Интегрировать с системой 1С для начисления зарплаты;

✓ Связывать оплату труда с фактическим присутствием работников;

✓ Сделать учет рабочего времени более точным и уменьшить влияние ошибок человека.

- Управление машинами и механизмами

Платформа MStroy получает информацию о движении и работе техники из навигационной системы ТИС-Online. Затем специальные программы превращают эти данные в графики и карты, показывающие, как и куда ездит техника.

- Управление материалами

План быстро создается без лишних задержек. Требования к материалам формируются автоматически на основе заранее выбранных конструкций и данных, внесённых раньше. Инженер в любой момент может проверить правильность своих действий с помощью специального дерева конструкций.

- Строительный контроль

Модуль «Строительный контроль» — это онлайн-сервис для организации контроля на стройке и создания нужных отчетов. Он позволяет:

- Создавать заявки на проверки, записывать нарушения, давать задания на их исправление и следить за этим; добавлять фото, видео и документы для подтверждения нарушений и их устранения.

- Исполнительная документация

Модуль «Исполнительная документация» — это программа для ведения всех важных документов по строительным работам в электронном виде. С его помощью можно:

- Создавать акты проверки выполненных работ вместе с нужными приложениями (чертежи, сертификаты и т.п.), а также вести журналы учета работ в цифровом формате;

- Подписывать документы электронной подписью для официального подтверждения;

- Отправлять готовые электронные документы в другие системы.

Если провести сравнение применения привычных программ и MStroy, можно наглядно увидеть, насколько уменьшается время на оформление исполнительной документации, также становится гораздо проще и удобнее формировать отчетные документы.

Таблица 1 – Продолжительность выполнения работ

Вид работы	Продолжительность выполнения в MStroy, дни	Продолжительность выполнения в иных программах, дни
Составление актов освидетельствования скрытых работ (АОСР)	1	3
Отправка документов	2	4

- Управление стоимостью

Раздел Контракт в модуле «Управление стоимостью» помогает:

- Создавать и работать с разными типами контрактов и договоров, как коммерческих, так и государственных;

- Вносить изменения в условия контрактов, например, добавлять соглашения или менять цену и сроки;

- Формировать необходимые документы для завершения работ, такие как акт о выполненных работах, справка о стоимости и акты по услугам;

Раздел «Смета контракта» помогает создавать и вести расчет стоимости работ. В нем можно разбивать сумму по разделам и позициям, указывать объемы, стоимость за единицу и итоговую сумму.

- Управление задачами

Модуль помогает создавать и управлять задачами для себя и других сотрудников. С помощью данного модуля возможна реализация следующих операций:

- Создавать задачи, редактировать их;

- Настраивать процесс согласования и утверждения задач;

- Группировать задачи по проектам или другим признакам;

- Следить за выполнением задач в режиме реального времени, смотреть, кто за них отвечает, и анализировать причины задержек или отклонений;

- Создавать отчеты по выполненным и текущим задачам.

- Классификатор строительной информации

Модуль «Классификатор строительной информации» — это единое место для хранения и использования справочной информации в компании. Он помогает всем отделам работать с одними и теми же актуальными и упорядоченными данными на каждом этапе работы

- BI-аналитика и отчетность

«BI-аналитика и отчетность» помогает организациям собирать и анализировать данные для принятия правильных решений. Модуль способен выполнять такие функции, как:

- Создавать специальные хранилища, где удобно собирать и хранить большие объемы информации;

- Подготавливать данные для анализа: удалять ошибки и повторяющиеся записи

- Создать понятные и наглядные отчеты и панели, чтобы легко видеть результаты;

- Анализировать прошлые данные, чтобы предсказывать, что может произойти в будущем с помощью умных моделей.

- MStroyAI

Онлайн чат-бот — это главный модуль MStroyAI. Он работает прямо сейчас и умеет отвечать на разные вопросы, общаясь с пользователем, как в живом разговоре.

Пользователь может:

- Быстро получить справочную информацию, задать вопросы о документах проекта, этапах работы или статусах задач;

- Получить советы по нормативным правилам и внутренним инструкциям компании;

- Узнать информацию о конкретном объекте или проекте

Второй важный элемент модуля — умный конструктор отчетов. Он помогает легко создавать разные аналитические и управленческие отчеты на основе данных из системы.

Литература:

1. MStroy: цифровое управление строительством [Электронный ресурс]. – URL : https://mstroy.tech/ (Дата обращения: 13.10.2025).

УДК 504.064.36

Мониторинг напряженно-деформированного состояния пролетного строения на стадии надвижки

***Потреба Вероника Георгиевна**, магистрант*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Гречухин В.А., канд. техн. наук, доцент
кафедры «Мосты и тоннели»

В ходе мониторинга НДС конструкции на стадии надвижки пролетного строения рассматривается мост через реку Днепр, который находится на Юго-Западном обходе г. Могилева. Тип мостового сооружения – большой автодорожный мост с пятью неразрезными стальными пролетными строениями, который запроектирован в виде двух неразрезных стальных балок двутаврового сечения постоянной высоты, объединенных ортотропной стальной плитой.

Формула сооружения – 63,0+3×84,0+63,0 м. Габариты мостового полотна по ширине - Г-11,00+2×0,75 м. Грузоподъемность возводимого моста по проекту – А14, НК-112, пешеходная нагрузка на тротуары – 2,0 кПа.

Цели проведения испытания:

1)Проконтролировать планово-высотное положение промежуточных русловых опор при надвижке металлического пролетного строения;

2)Проконтролировать напряженно-деформированное состояние конструкций на стадиях надвижки.

В процессе надвижки пролетного строения осуществлялся мониторинг планово-высотного положения русловых промежуточных опор №4 и №5 моста. Целью работы являлось выявление возможных осадок промежуточных русловых опор путем контроля планово-высотного положения промежуточных опор на всех стадиях надвижки и монтажа вышележащих конструкций моста.

Мониторинг осуществлялся с помощью датчика – инклинометра (от латинского inclino, что значит «наклонять»). Это устройство позволяет замерить угол наклона объекта и проверить вертикальную осевую симметрию. Датчики угла наклона, независимо от типа и модели, простые и надежные в работе, практически не имеют погрешности, их легко настраивать и они не требуют больших затрат на эксплуатацию.

Опора №4 (Рис.1) – железобетонная монолитная, состоит из четырех рядов вертикальных буронабивных столбов, объединенных ростверком, на котором устроено массивное тело с подферменными площадками.

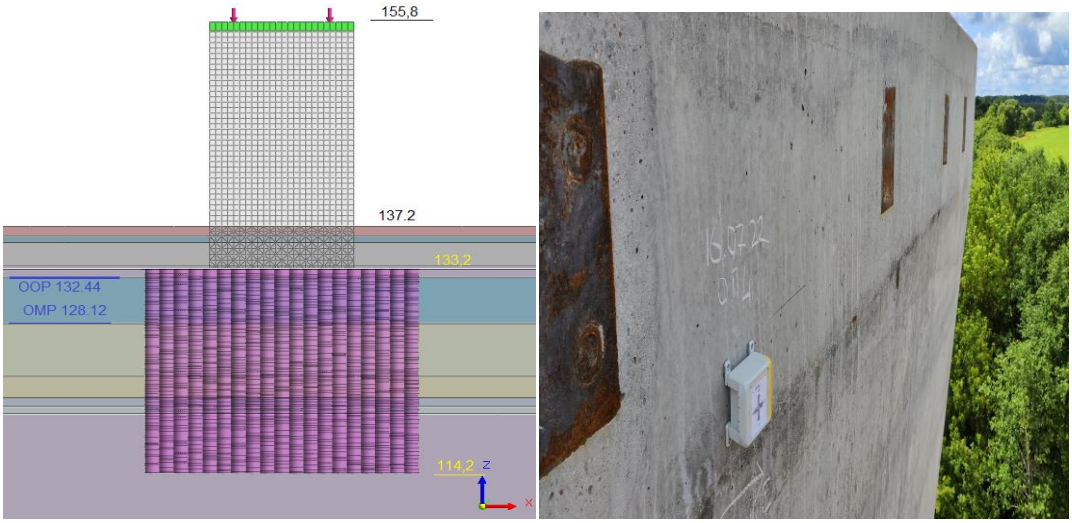


Рисунок 1 – Расчетная схема опоры №4 (высота ростверка не показана). Инклинометр (датчик угловых перемещений), установленный на «ригель» опоры №4

Опора №5 (Рис.2) – железобетонная монолитная, состоит из четырех рядов вертикальных буронабивных столбов (38шт) , объединенных ростверком, на котором устроено массивное тело с подферменными площадками.

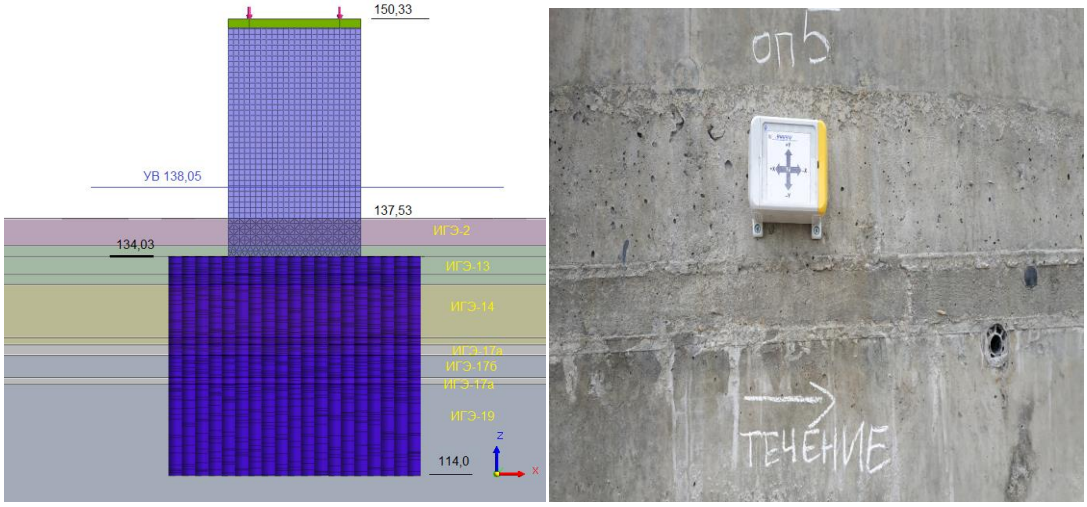


Рисунок 2 – Расчетная схема опоры №5 (высота ростверка не показана). Инклинометр (датчик угловых перемещений), установленный на «ригель» опоры №5

Все результаты контроля отклонения опоры от вертикальной оси, измеренные на уровне ригеля, заносятся в таблицу. По результатам проведенного испытания делают выводы о перемещениях опор поперек, вдоль оси, а также максимальные вертикальные и горизонтальные перемещения.

В результате контроля высотно-планового положения русловых опор установлено, что значения перемещений опор от надвижки пролетного строений оказались значительно ниже расчетных (теоретических) значений (Рис.3).

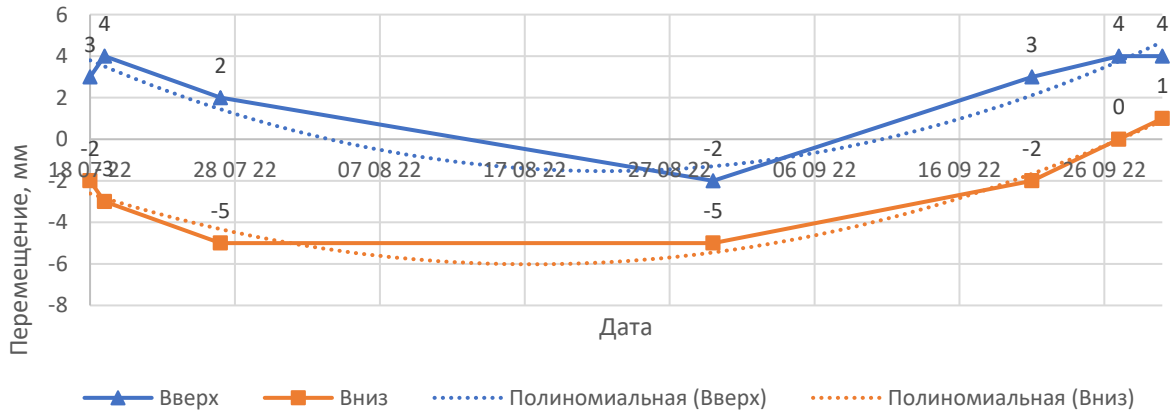


Рисунок 3 – График вертикальных перемещений контрольных марок на теле опоры №5

Целью работ являлся контроль напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов пролетного строения для обеспечения безопасного выполнения работ по его надвижке в пролет. Для этого был разработан и реализован проект автоматизированной системы удаленного мониторинга в соответствии с ТКП 633. Для контроля напряженно-деформированного состояния была разработана расчетная схема и выполнен расчет пролетного строения в программном комплексе SCAD.

По результатам расчета определены напряжения во всех элементах пролетного строения на стадиях надвижки №2-№7. Из результатов расчета следует, что на этапе строительства максимальные напряжения будут возникать в нижнем поясе стальной балки пролетного строения.

В соответствии с проектом автоматизированной системы удаленного мониторинга напряженно-деформированного состояния пролетного строения до начала надвижки на нижний пояс главных балок были установлены электронные датчики линейных перемещений в двух расчетных сечениях №3с и №4с (Рис. 4).

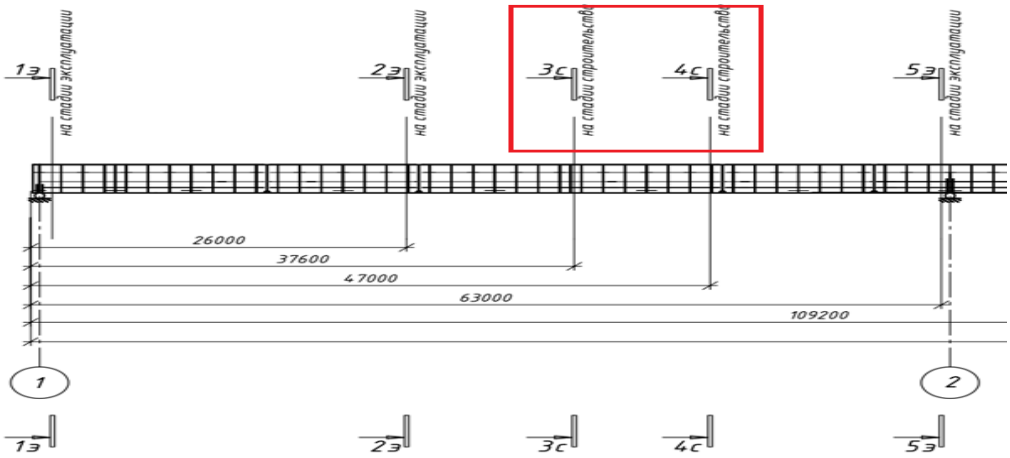


Рисунок 4 – Расположение в пролетном строений расчетных сечений 3С и 4С

Сечение №3с находится на расстоянии 37,6 м от начального торца пролетного строения, а сечение №4с – на расстоянии 47,0 м. В сечении №3с установлены датчики №Т3-№4 марки ДЛП 3с-Н-НС и ДЛП 3с-Н-ВС, а в сечении №4с установлены датчики №Т1-№Т2 марки ДЛП 4с-Н-НС и ДЛП 4с-Н-ВС (Рис.5, Рис.6).

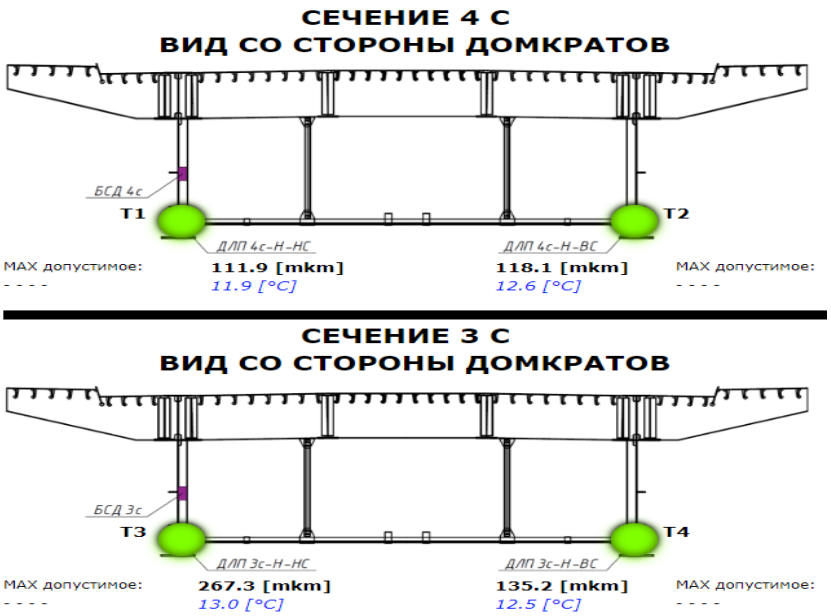


Рисунок 5 – Расположение и номера датчиков деформаций Т1-Т4 на нижнем поясе в расчетных сечениях



Рисунок 6 – Датчик линейных перемещений (деформаций), установленный на нижнем поясе стального пролетного строения (слева), Блок сбора данных (справа)

В процессе надвижки по электронным датчикам линейных перемещений контролировались напряжения, возникающие в нижнем поясе и сравнивались с расчетными значениями напряжений.

Первым этапом (Рис.8) надвижка осуществлялась в пролет длиной 63 м в осях опор №6-№5. На момент начала надвижки на берегу была собрана часть пролетного строения длиной 63,0+57,75 = 120,75 м. На опоре №6 пролетное строение опиралось на перекаточное устройство. Аванбек длиной 24,9 м выдвинут в пролет. На расстоянии 63,0 м от оси опоры №6 пролет опирался на скользящую опору, а конец на толкающее устройство (Рис.7). На аванбеке было смонтировано подъемное устройство для выборки прогиба. Движение пролетного строения осуществлялось при помощи двух гидравлических домкратов грузоподъемностью 200 т каждый по рельсовому накаточному пути левобережной подходной насыпи.



Рисунок 7 – Толкающее устройство

Первые 4 блока общей длиной 52,2 м надвигались без смонтированных тротуарных консолей. Сборка металлоконструкций пролетного строения производилась с использованием гусеничного стрелового крана.

Надвижка металлоконструкций производилась по карточкам скольжения с рабочей поверхностью из фторопласта, обеспечивающей расчетный коэффициент трения скольжения Кр ≤ 0,06. Толщина карточек скольжения 56 мм. Длина распределения давления на перекаточное устройство не менее 3,0 м.



Рисунок 8 – Аванбека у опоры №5. 1 этап надвижки – пролет 63 м

Следующие 4 этапа происходили в течение двух месяцев после начала надвижки. Надвижка осуществлялась сначала в пролеты 84 метра (Рис.9), в осях у опор №5-№3, а закончилась в пролете 63 метра (Рис.10) в осях у опор №2-№1.

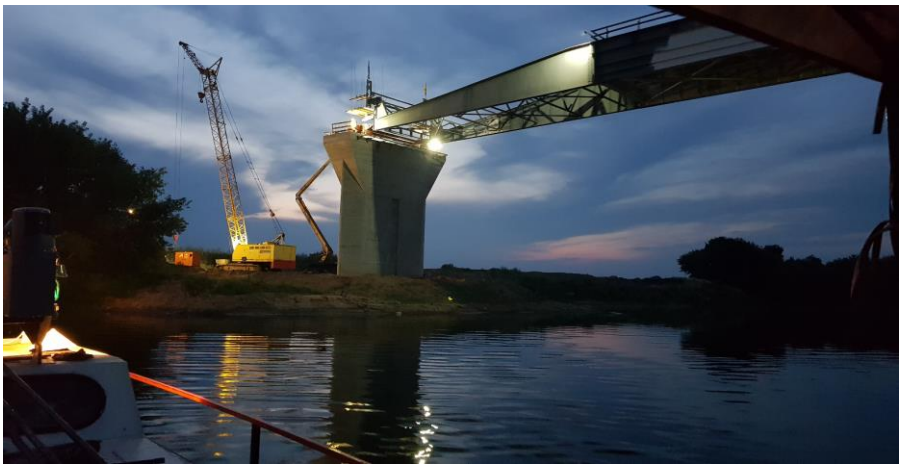


Рисунок 9 – Этап 2: Надвижка пролетного строения
в осях опор №5-№4. Аванбек у опоры №4



Рисунок 10 – Этап 5: Надвижка пролетного строения в осях опор №2-№1

В результате контроля напряженно-деформирования состояния пролетного строения построены графики напряжений в металле нижнего пояса, которые возникали в расчетных сечениях 3С (37,6 м) и 4С (47,0 м) в процессе надвижки в пролеты моста (Рис. 11). Напряжения контролировались через каждые 1,5 м надвижки.

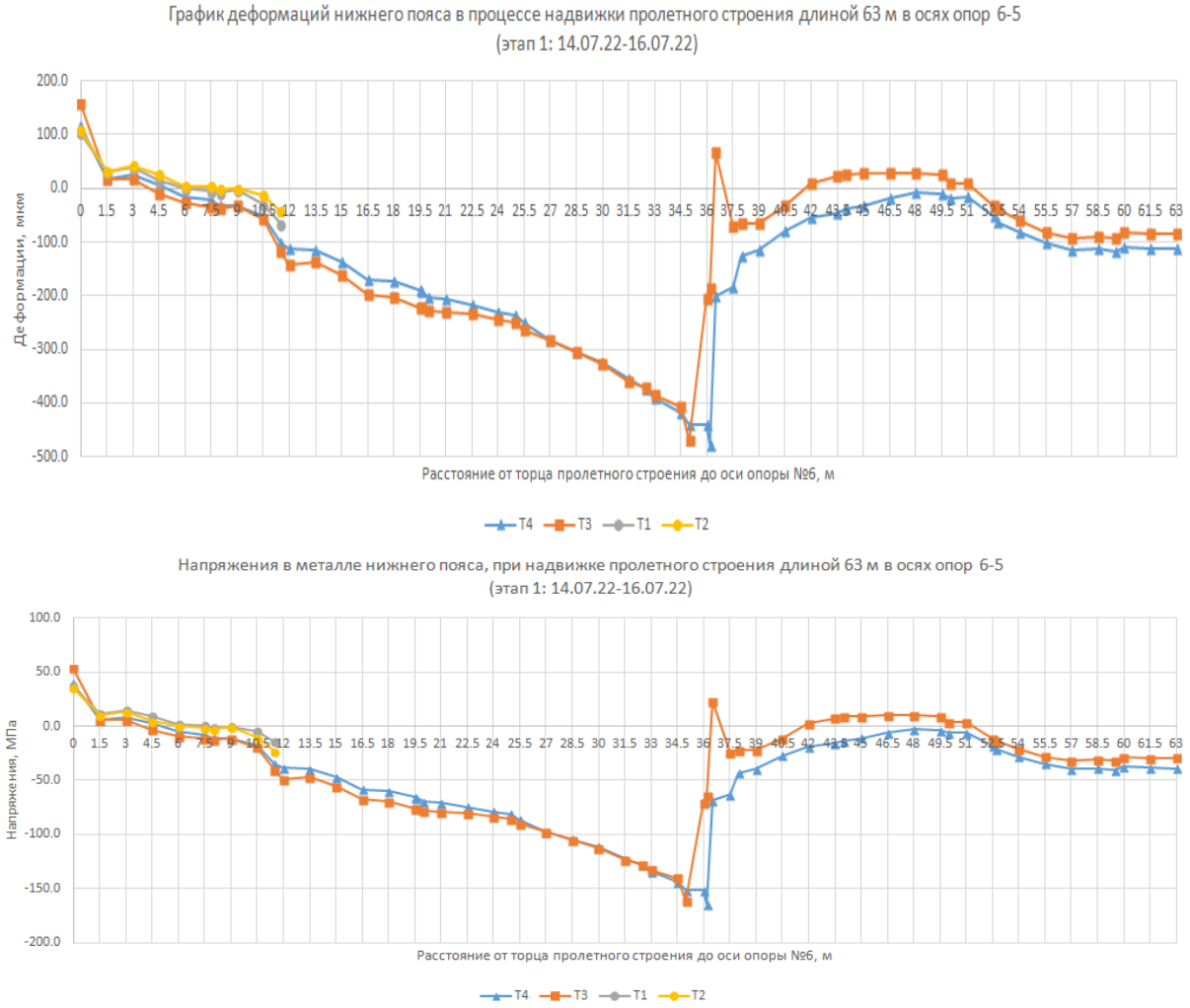


Рисунок 11 – График напряжений и деформаций

В результате контроля напряженного деформированного состояния пролетного строения в процессе его надвижки в пролет установлено, что максимальные значения деформаций и напряжений не превышали расчетных значений и расчетного сопротивления стали на всех этапах надвижки.

Таким образом, в результате проведенного научно-технического сопровождения объекта строительства «Юго-Западный обход г.Могилева» можно сделать вывод, что безопасность возведения опор и пролетного строения была обеспечена, так как за период наблюдений не выявлено осадок, кренов опор, а также деформаций и напряжений в контрольных сечениях пролетного строения, превышающих расчетные и нормативные значения.

Литература:

1. Техническое заключение №7981/2022 по результатам научно-технического сопровождения объекта строительства «Юго-Западный обход г. Могилева». Мост через р. Днепр: Гос. Предприятие «БелдорНИИ»; исполн.: В.А.Зверинский, Ю.И.Павуков, Е.Н. Меркушев, М.Ю.Дединкин, А.О. Коликов. – Минск 2022. – 83с.

УДК 624.21

Оперативное восстановление мостовых сооружений на железной дороге

Давтян Карина Эдуардовна, Пужайкин Дмитрий Андреевич,
студенты 5 курса кафедры «Транспортное строительств»
Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А., г. Саратов
Научный руководитель – Церех С.Г., старший преподаватель
кафедры «Транспортное строительство»

Введение

В условиях постоянного развития транспортной инфраструктуры России оперативное восстановление мостовых сооружений на железных дорогах становится ключевым фактором обеспечения надежности и эффективности грузоперевозок. Устаревание и износ основных средств, включая инвентарные конструкции мостов, приводят к снижению их прочности и надежности. Многие из этих сооружений, построенные десятилетия назад, не соответствуют современным нагрузкам транспортных потоков и подвержены разрушению из-за накопленных дефектов, отсутствия должного ухода или изначально недостаточного расчета на подвижные нагрузки (например, нормы Н-6 или Н-7). В результате сбои в работе мостов вызывают значительные простои в движении поездов, что наносит ущерб экономике страны.

Актуальность проблемы

Сроки восстановления пролетных строений мостов зависят от степени повреждения, масштаба работ и типа конструкции. Временное восстановление может занять от нескольких дней до нескольких недель, а капитальный ремонт — от нескольких месяцев. Однако ключевой проблемой является необходимость прерывания движения поездов, что приводит к образованию технологических окон. Эти окна вызывают существенные убытки для системы грузоперевозок, поскольку перегон простаивает, а грузы задерживаются. В эпоху высоких требований к логистике и скорости транспорта такая ситуация недопустима.

Традиционные методы восстановления часто требуют значительных ресурсов, времени и специализированного оборудования, что усугубляет проблему. Необходимость унификации подходов к ремонту становится очевидной, особенно в условиях растущего объема перевозок и старения инфраструктуры.

Предлагаемое решение

В ответ на эти вызовы предлагается концепция рационализации оперативного восстановления мостовых сооружений путем актуализации методических материалов и типовых проектов. Идея заключается в разработке унифицированных сборочных элементов и способов для краткосрочного восстановления поврежденных пролетных строений. Основным элементом решения является использование сборных блоков, которые можно быстро монтировать для перекрытия поврежденных участков пролетным строением длиной до 36 метров.

Сборные блоки предлагается хранить на базах запаса по всей стране в необходимом количестве, с учетом потребностей РЖД. Они будут иметь стандартные размеры: 3, 6 и 9 метров, что обеспечит гибкость в применении. Эти блоки предназначены для временного использования на срок до 3 лет, предоставляя время для полноценной подготовки к капитальному восстановлению, включая изыскания, проектирование, экспертизу и строительные работы.

Преимущества концепции

Предложенная концепция обладает рядом значительных преимуществ, которые делают ее эффективным инструментом для модернизации инфраструктуры:

- Отсутствие необходимости в тяжелом крановом оборудовании: Монтаж блоков осуществляется с использованием простых средств, что снижает затраты и ускоряет процесс.
- Обеспечение запаса прочности и устойчивости: Восстановленное сооружение выдерживает современные нагрузки без ограничений по скорости и весу подвижных составов, гарантируя беспрерывное движение поездов.
- Минимизация временных затрат: Оперативное восстановление сокращает простои перегонов, экономя средства и минимизируя ущерб для экономики.
- Унификация и готовность к применению: Сборные блоки стандартизированы, что упрощает логистику и позволяет быстро реагировать на аварии.
- Временный характер решения: Блоки служат мостом к полноценному ремонту, обеспечивая стабильность инфраструктуры в переходный период.

Таблица 1 – Стартовый этап

Стартовый этап проекта	
Этапы проекта	Стоимость
Патентный поиск, регистрация изобретений, публикации, оформление патентов	2 млн.руб
Разработка автоматического метода расчета для последующей обработки входных данных	3 млн.руб
Оформление типового проекта и технологических схем для оперативного, обновление баз ПЧ и ПЧ ИССО (на 10 сооружений малой и средней длины)	1,5 млрд.руб (вкл. командировочные расходы)
Бюджет стартового этапа: 1,505 млрд.руб (из условия восстановления 10 сооружений единовременно)	

Таблица 2 – Основной этап проекта

Основной этап проекта (ФОТ постоянных участников проекта)		
Этапы проекта	Количество людей	Стоимость
Руководитель подразделения	1 чел.	150
Специалисты по направлениям :		
Службы заказчика	2 чел.	2х110 тыс.руб
Проектирование	5 чел.	5х110 тыс.руб
Строительные организации	2 чел.	5х110 тыс.руб
Эксплуатация	2 чел.	2х100 тыс.руб
IT специалист	1 чел.	200 тыс.руб
Методист	3 чел.	3х80 тыс.руб
БЮДЖЕТ ОСНОВНОГО ЭТАПА: 1,76 млн.руб (в месяц)		

Заключение

Концепция рационализации оперативного восстановления мостовых сооружений представляет собой инновационный подход к решению актуальных проблем железной дороги. Она способствует повышению надежности транспортной сети, снижению экономических потерь и улучшению качества услуг. В случае заинтересованности со стороны Министерства транспорта, Министерства строительства и Центральной дирекции инфраструктуры ОАО РЖД, авторы готовы подготовить альбом типовых решений, методическую документацию и технологические схемы, соответствующие современным требованиям по срокам и нагрузкам.

Реализация этой идеи не только унифицирует процессы восстановления, но и обеспечит долгосрочную устойчивость инфраструктуры в условиях растущих транспортных вызовов. Это шаг вперед к более эффективной и безопасной железной дороге.

УДК 624.21

BIM-технологии: от чертежа к цифровому двойнику и эффективному управлению жизненным циклом объекта

Рахунок Кирилл Александрович, Янушкевич Ксения Евгеньевна,
студенты 4 курса кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулаго Ю.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

Строительный процесс часто сталкивается с рядом проблем: ошибки в чертежах, недостаточная координация между отделами, перерасход материалов и срыв сроков. Все это ведет к удорожанию и снижению качества. Решением таких проблем может стать внедрение BIM-технологий.

BIM (Building Information Modeling) — это не просто 3D-модель. Это процесс создания и использования скоординированной, последовательной и вычислимой информации об объекте на протяжении всего его жизненного цикла. BIM позволяет нам перейти от плоских чертежей к информационной модели – цифровому двойнику, содержащему все данные об объекте.

Чтобы лучше понять потенциал BIM, необходимо подробнее рассмотреть его уровни (Рис. 1).



Рисунок 1 – Уровни «зрелости» BIM

BIM 3D – это объемная модель объекта, где проектная информация собрана в единую базу данных, и участники проекта работают в единой среде, где всё взаимосвязано: документы, бизнес-процессы, элементы проектируемого объекта, исполнители и контролирующие.

BIM 4D содержит все то же самое, что и BIM 3D, но дополнена информацией о сроках выполнения строительно-монтажных работ. Она позволяет точно прогнозировать и планировать процесс строительства. Готовая BIM 4D-модель содержит календарные графики, систему управления логистикой, визуализацию строительства.

В дополнение к вышеперечисленному, BIM 5D содержит сметную информацию по каждому элементу объекта. Мы видим, какое количество материалов потребуется, сколько это стоит, кто за это отвечает и на какой стадии находится исполнение. BIM 5D-модель позволяет прогнозировать финансовые потоки, выгружать объёмы материалов/работ/оборудования для моделирования расходов, контролировать стоимость проекта.

В случае BIM 6D мы получаем цифровой двойник возведённого объекта для его эффективного мониторинга. Это переход на уровень, где BIM-модель «оживает» — она должна быть интегрирована с оборудованием и системами диспетчеризации, чтобы наглядно отображать, что происходит с объектом.

Модель BIM 7D содержит сведения об эксплуатации и информацию о том, какое оборудование, когда и как нужно обслуживать с подробными указаниями и эксплуатационной документацией.

Таким образом BIM используется на всех этапах:

1. Проектирование: совместная работа архитекторов, конструкторов и инженеров в единой информационной среде (CDE).
2. Строительство: передача модели в поле для контроля хода работ, использования мобильных приложений, автоматизации поставок.
3. Эксплуатация: интеграция модели с системами управления зданиями (BMS/FM) для мониторинга и обслуживания.

Начиная с 3-го курса на кафедре «Мосты и тоннели» начинается изучение программных комплексов по проектированию AutoCAD и Revit.

На рисунке 2 приведены общие виды моделей, которые мы разрабатывали в прошлом году в рамках Студенческой научно-технической конференции «Креатив и инновации».

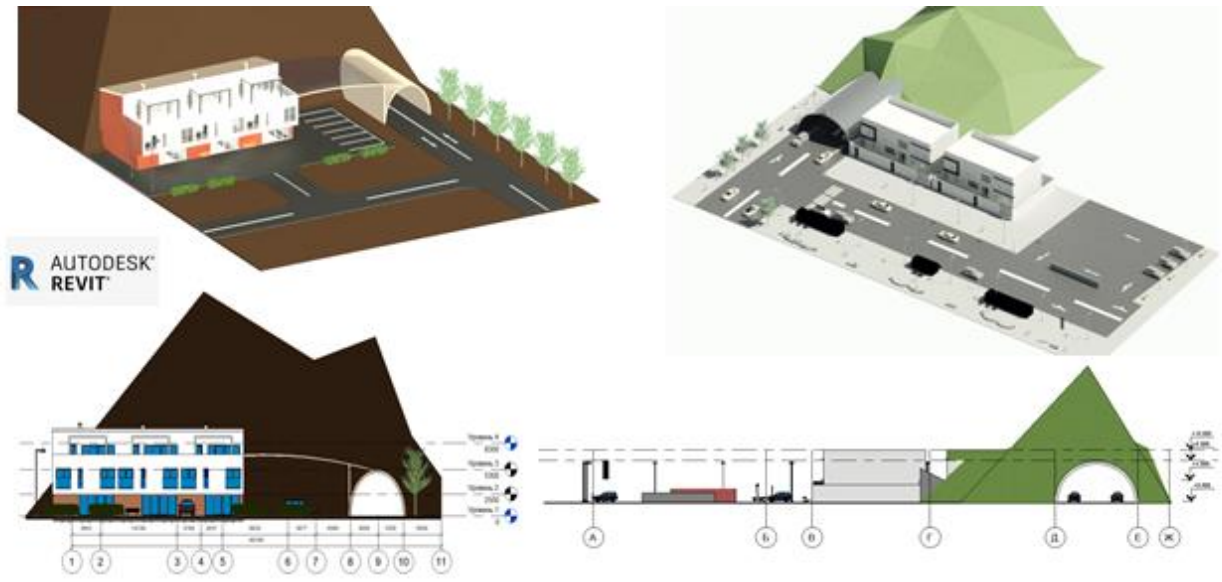


Рисунок 2 – Примеры цифровых моделей студентов

Внедрение BIM позволяет:

1. Снизить риски (обнаружить и устранить несоответствия между инженерными системами и конструкциями еще на стадии проектирования, а не на стройке);
2. Повысить точность и прозрачность: (смета и объемы работ формируются автоматически, что исключает ошибки "человеческого фактора");
3. Оптимизировать сроки: (на этапе 4D-моделирования можно планировать работы максимально эффективно);
4. Эффективно эксплуатировать сооружения (вся информация об объекте остается в модели и используется управляющей компанией)

BIM — это не просто модная технология, это обязательный инструмент для повышения конкурентоспособности и эффективности в современном строительстве. Переход на BIM — это переход от "рисования" к управлению информацией.

УДК 624.21

Проектирование моделей транспортных сооружений

***Саванович Никита Андреевич**, студент 4 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулаго Ю.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

В данной работе описано проектирование BIM модели автодорожного тоннеля, совмещенного с балочным мостом, созданная на базе программного комплекса Autodesk Revit (Рис. 1).

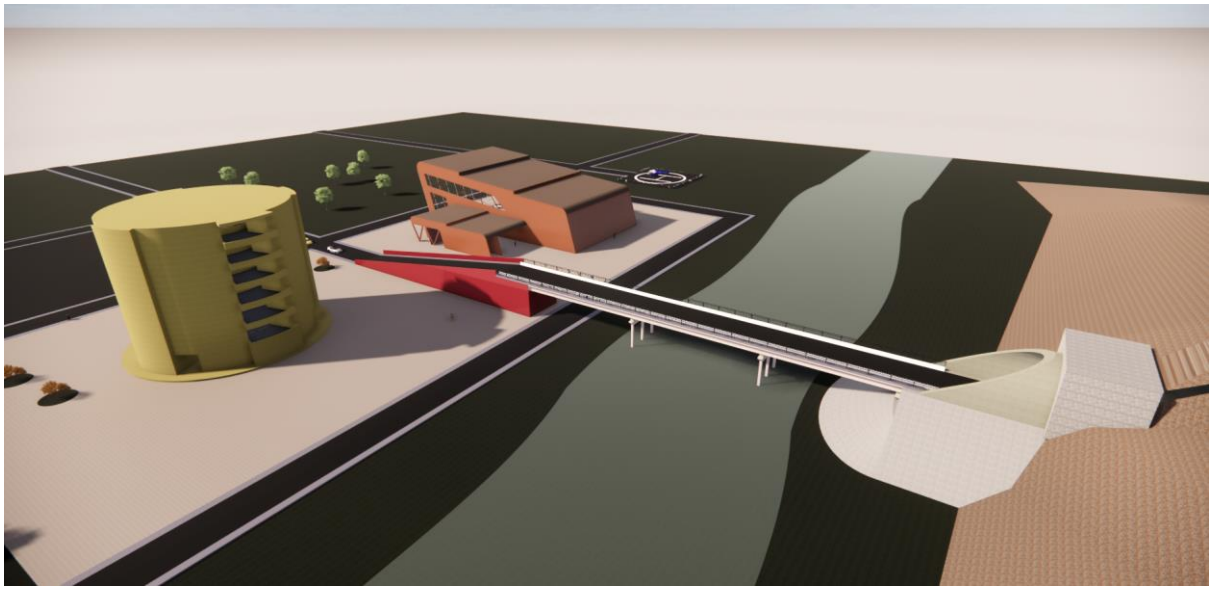


Рисунок 1 – Модель транспортных сооружений

Autodesk Revit – это программный комплекс для автоматизированного проектирования, использующий принцип информационного моделирования зданий. Главными преимуществами программы является возможность работать в 2D и 3D пространстве.

Проект, созданный в Autodesk Revit, можно экспортировать в разные программы под разные нужды (Табл. 1).

Таблица 1 – экспортируемые форматы Autodesk Revit

Формат	Назначение	Программы для использования
DWG	Бинарный формат файла, используемый для хранения двухмерных и трёхмерных проектных данных и метаданных.	AutoCAD, CorelCAD, BricsCAD, nanoCAD, IntelliCAD
FBX	Формат, используемый для обеспечения взаимодействия между различными приложениями для создания цифрового контента.	Autodesk Maya, Autodesk 3ds Max, Blender, Modo
DXF	Формат используется в качестве связующего звена между десятками и даже сотнями программ для автоматизированного проектирования (CAD) и черчения.	AutoCAD, nanoCAD, Autodesk 3ds Max, Blender,
DGN	Формат DGN используется в строительных проектах, включая здания, автомагистрали, мосты, технологические установки, судостроение. Формат DGN является конкурентом формата DWG от Autodesk.	MicroStation Bentley OpenRoads, OpenBridge, OpenBuildings, AutoCAD, Civil 3D,
SAT	Это 3D-модель, сохраненная в формате твердотельного моделирования ACIS компании Spatial. Он хранит информацию о трехмерной геометрии в стандартном формате текстового файла.	AutoCAD, SpaceClaim, IronCAD, BricsCAD,
STL	Формат файла, широко используемый для хранения трёхмерных моделей объектов для использования в аддитивных технологиях. Информация об объекте хранится как список треугольных граней, которые описывают его поверхность, и их нормалей.	Kompas-3D, Autodesk 3ds Max, Blender, AutoCAD, Ultimaker Cura,
DWF	Открытый формат файлов, разработанный компанией Autodesk для обмена проектными данными, их просмотра, печати и рецензирования.	AutoCAD, Autodesk 3ds Max, Civil 3D,

Помимо всего, для проектирования мостов и тоннелей необходимо пользоваться другими программными комплексами. Самыми популярными для использования являются: AutoCAD, SCAD Office, SOFiSTiK, Autodesk Civil 3D.

AutoCAD — двух- и трёхмерная система автоматизированного проектирования и черчения, разработанная компанией Autodesk. В области двухмерного проектирования AutoCAD позволяет использовать элементарные графические примитивы для получения более сложных объектов.

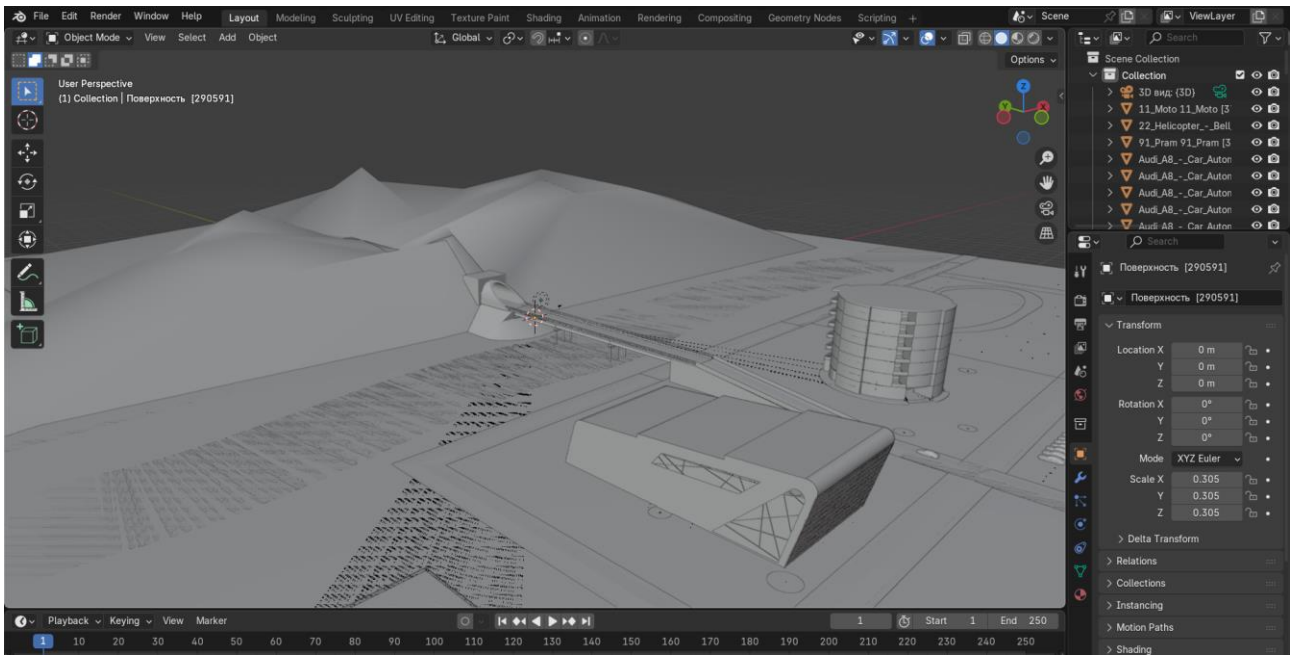


Рисунок 2 – Экспорт модели в Blender

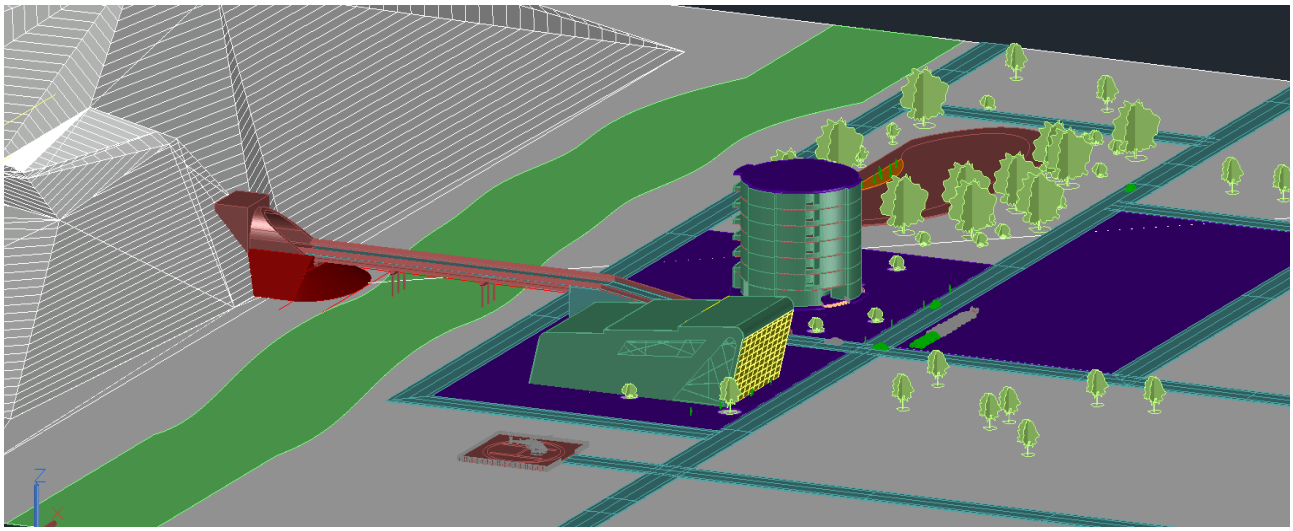


Рисунок 3 – Экспорт модели в AutoCAD

SCAD Office — это мощный российский программный комплекс, предназначенный для расчета и проектирования строительных конструкций. Его основными направлениями является: проведение прочностных расчетов, проектирование и проверка сечений элементов, работа с широкой номенклатурой конструкций.

Литература:

1. Revit: программный комплекс [Электронный ресурс]. – URL : www.t-s.today/PDF/06SATS224.pdf (Дата обращения: 12.11.2025).
2. Revit: программный комплекс [Электронный ресурс]. – URL : www.autodesk.com. (Дата обращения: 12.11.2025).

УДК 624.21

Модель наземного паркинга

***Эртман Виткор Алексеевич**, студент 4 курса*
кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Научный руководитель – Кулаго Ю.В., ассистент
кафедры «Мосты и тоннели»

Revit поддерживает концепцию информационного моделирования здания (BIM). Проектировщик создаёт единую цифровую модель проекта, содержащую всю необходимую информацию о зданиях и конструкциях: размеры, материалы, характеристики несущих конструкций, инженерные системы и многое другое.

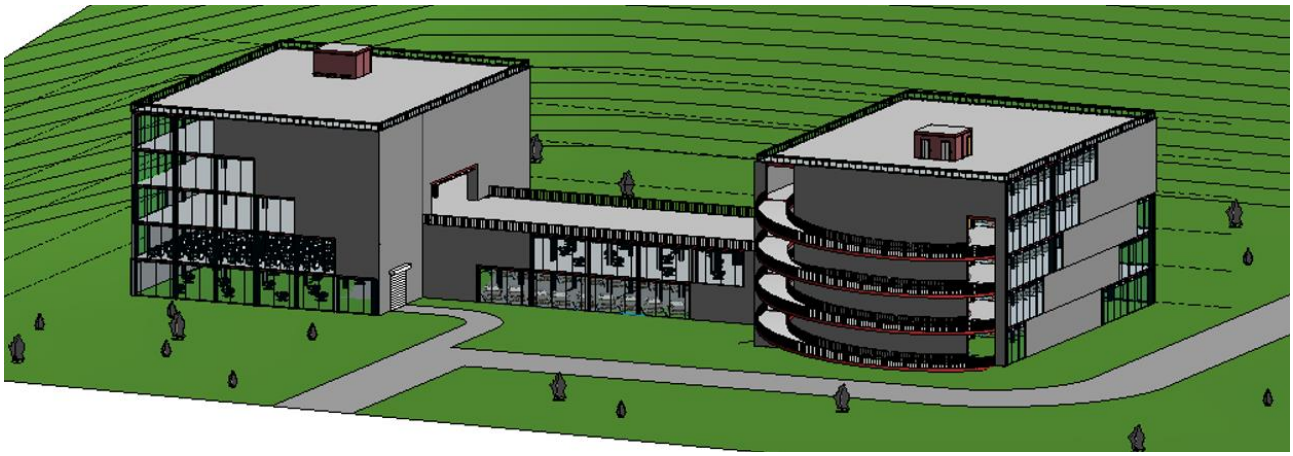


Рисунок 1 – Пример модели

Программа помогает соблюдать строительные нормы и правила благодаря встроенным инструментам проверки проекта. Например, расчет нагрузок на перекрытия, проектирование пожарной безопасности и проверка соответствия нормам доступности для маломобильных групп населения осуществляются автоматически.

Revit ускоряет процесс подготовки рабочей документации, чертежей, спецификаций и смет. Модели, созданные в программе, сразу содержат исчерпывающие сведения обо всех компонентах, используемых материалах и оборудовании, значительно упрощая создание комплекта документов.

Основные преимущества надземного паркинга включают экономию городского пространства, защиту автомобиля от внешних воздействий и повышенную безопасность.

Экономия пространства

Эффективное использование территории: многоуровневые парковки позволяют использовать пространство над землёй, освобождая территорию для других целей. Это особенно актуально в плотно застроенных районах и крупных городах.

Сохранение эстетики: Отсутствие большого количества машин на виду улучшает внешний вид дворов и улиц.



Рисунок 2 – Разрез модели

Защита автомобиля

От атмосферных явлений: Автомобиль защищён от дождя, снега, града, наледи, палящего солнца и перепадов температур. Благодаря этому не происходит преждевременное выцветание краски и коррозия кузова.

От пыли и грязи в крытых паркингах автомобиль меньше загрязняется, это позволяет реже мыть.

В паркинге положительная температура в зимний период.

Благодаря ограниченному доступу посторонние люди не имеют свободного доступа на территорию паркинга, это снижает риск угона автомобиля.

Надземные паркинги оснащены круглосуточным видеонаблюдением и охраной, что повышает уровень безопасности.

Внутри паркинга действуют чёткие правила движения, что минимизирует вероятность мелких столкновений по сравнению с переполненными дворами.

Владелец машиноместа всегда уверен, что ему не придётся искать свободное место после долгого дня.

УДК 624.011.2

Исследование работы полимеркомпозитных стержней на срез при различной влажности древесины

***Юрьева Арина Алексеевна**, студент 4 курса*
кафедры «Автомобильные дороги, мосты и тоннели»
Казанский государственный
архитектурно-строительный университет, г. Казань
Научный руководитель – Зиннуров Т.А., канд. техн. наук, доцент
кафедры «Автомобильные дороги, мосты и тоннели»

Быстровозводимые деревянные конструкции занимают особое место в современном строительстве, особенно при восстановлении инфраструктуры в чрезвычайных ситуациях и освоении новых территорий [1-3]. Ключевые преимущества таких конструкций: экологичность, экономичность и высокая скорость монтажа, делают их незаменимыми в условиях, когда время играет решающую роль. Однако надежность таких конструкций напрямую зависит от параметра, которому часто не уделяют должного внимания – влажности древесины.

Современные подходы к повышению несущей способности деревянных конструкций включают использование полимеркомпозитных элементов, в частности стеклопластиковой композитной арматуры с песчаным покрытием [4-5]. Эти изделия обладают уникальным сочетанием свойств: они в 9 раз легче стальной арматуры, в то же время прочнее ее на разрыв, абсолютно устойчивы к коррозии, не создают мостиков холода и являются диэлектриками. Особое значение имеет песчаное покрытие – оно создает шероховатую поверхность, обеспечивающую надежное сцепление с древесиной и равномерное распределение нагрузки. Но как ведет себя сочетание традиционных натуральных материалов и современных композитов при изменении условий влажности? Именно этот вопрос стал центральным в нашем исследовании.

Методология эксперимента

Для проведения исследований были разработаны симметричные трехсоставные нагельные системы, соединяющие деревянные брусья с помощью стеклопластиковых стержней (Рис. 1). Опытные образцы собраны из трех брусков сечением 150х100 мм и объединённые по схеме, соответствующей ГОСТ Р 56711-2015. Особенностью эксперимента стало моделирование реальных условий строительства и эксплуатации через четыре строго контролируемых влажностных режима:

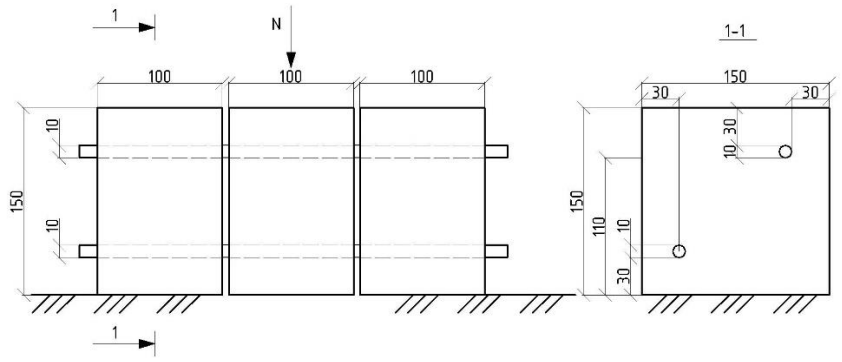


Рисунок 1 – Вид образца нагельной системы на стеклопластиковых стержнях

– постоянно сухой режим: на объект привозят сухой материал и используется без повышения уровня влажности (обозначение СС);

– режим постоянной влажности: при возведении сооружения был использован влажный материал, и в дальнейшем объект будет эксплуатироваться в условиях повышенной влажности (обозначение ВВ);

– режим увлажнение: на объект доставляют сухое сырье, из которого возводят конструкцию, но в процессе эксплуатации влажность материалов повышается (обозначение СВ);

– режим осушение: при возведении используется влажная древесина, а последующая работа конструкции происходит со снижением уровня влажности при эксплуатации (обозначение ВС).

Каждая группа образцов прошла полный цикл испытаний на гидравлическом прессе с точной фиксацией деформаций и нагрузок (Рис. 2).



Рисунок 2 – Оборудование для проведения испытания нагельной системы.
1 – электронный информационный блок динамометра ДЭП/6-2Д-100С-1; 2 – индикатор перемещений; 3 – тензодатчик динамометра ДЭП/6-2Д-100С-1; 4 – испытываемый образец; 5 – гидравлический пресс П-125

Параллельно создавалась численная модель в программном комплексе ANSYS, где ключевым переменным параметром выступал модуль упругости древесины, определенный экспериментально. Согласно нормативной методике ГОСТ 16483.24-73, были получены следующие начальные модули упругости для сухой древесины − 11300 МПа, и для влажной древесины – 6500 МПа

Ключевые результаты

Проведенные испытания выявили четкую зависимость между влажностным состоянием древесины и несущей способностью соединений. Полученные результаты отображены в графике (Рис. 3), в виде зависимости «Нагрузка (кН) – деформация (мм)». С целью выявления четких закономерностей и отклонений между разными режимами, экспериментальные данные были подвергнуты статистической обработке с определением аппроксимирующей функции. (Табл. 1).

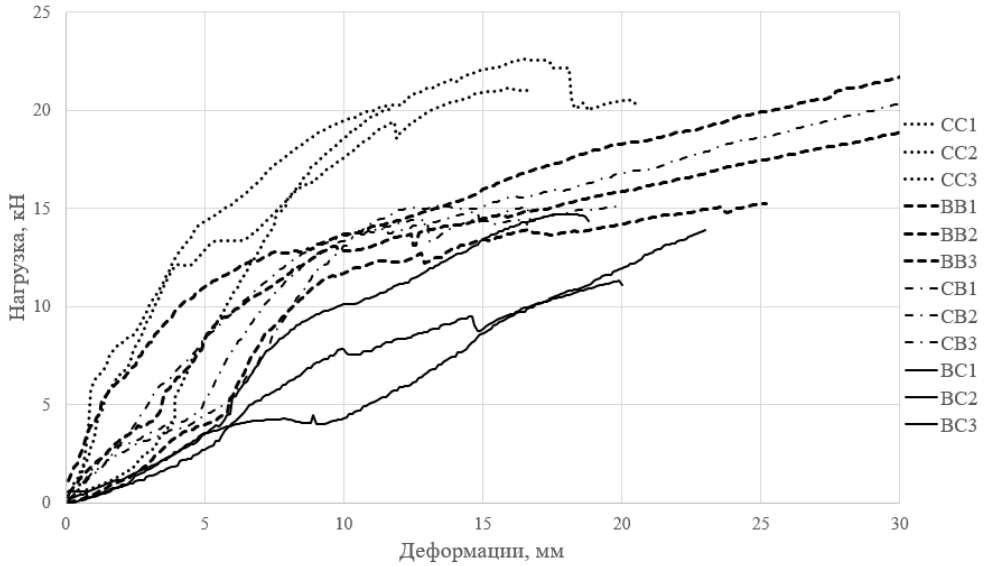


Рисунок 3 – График «нагрузка (кН) – деформация (мм)» для образцов при разных влажностных режимах

Таблица 1 – Значения аппроксимирующих функций и показатели их точности

Наименование влажностной группы	Аппроксимирующая функция	Величина достоверности аппроксимации	Среднее значение предельной разрушающей нагрузки, кН
Сухой режим (СС)	y = 6.2577ln(x) + 3,0481	R^2 = 0,8365	20,53
Режим постоянной влажности (ВВ)	y = 4.6601ln(x) + 1,8062	R^2 = 0,8259	18,61
Режим увлажнение (СВ)	y = 4.7247ln(x) + 1,1545	R^2 = 0,8206	16,59
Режим осушение (ВС)	y = 0,6921x + 0,0533	R^2 = 0,8260	13,12

Образцы в постоянно сухом состоянии показали наилучшие результаты с предельной нагрузкой 20,53 кН. Именно такие соединения демонстрировали максимальное сопротивление деформациям и предсказуемый характер разрушения.

Влажные образцы, независимо от начальных условий, показывали схожие значения, уступая сухим на 40-45%. Но самый неожиданный результат продемонстрировали образцы в режиме осушения, их деформации превышали показатели сухих образцов на 180-200%.

Анализ характера разрушения показал интересные особенности. В сухих образцах наблюдалось классическое расщепление волокон древесины, вплоть до полного раскалывания бруса на части. Во влажных образцах картина была иной: образовывались грушевидные зоны смятия вокруг стержней. Сами стеклопластиковые стержни разрушались не по чистой схеме среза, а с выраженным U-образным искривлением, что указывает на значительный изгибающий момент (Рис. 4).



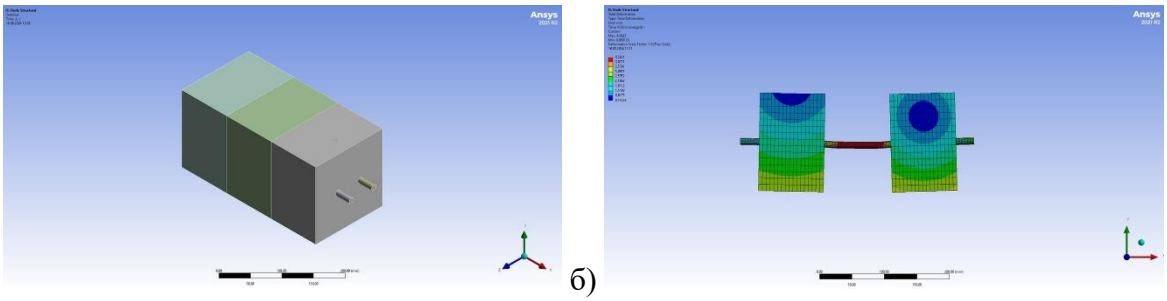
Рисунок 4 – Форма разрушения экспериментального образца

Сравнительный анализ и численное моделирование

Созданная численная модель в ANSYS успешно воспроизвела ключевые особенности поведения реальных образцов. Модель показала ту же картину деформаций – U-образный изгиб стержней и грушевидное распределение напряжений в отверстиях древесины (Рис. 5)

Сравнение графиков «нагрузка-деформация» (Рис. 6) для натурных испытаний и численного эксперимента выявило хорошую сходимость результатов (Табл. 2). Для сухих образцов отношение результатов моделирования к экспериментальным данным составило: 1,38-1,42, для влажных: 1.27-1,31. Эта разница может быть объяснена локальными неоднородностями древесины, которые сложно учесть в модели.

а) б)



в)

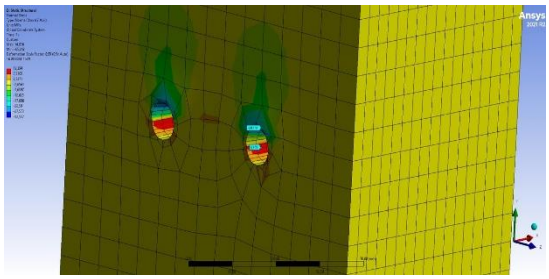


Рисунок 5 – а) общий вид численной модели нагельной системы; б) напряженно-деформированное состояние нагеля; в) эпюра напряжений отверстий в брусе.

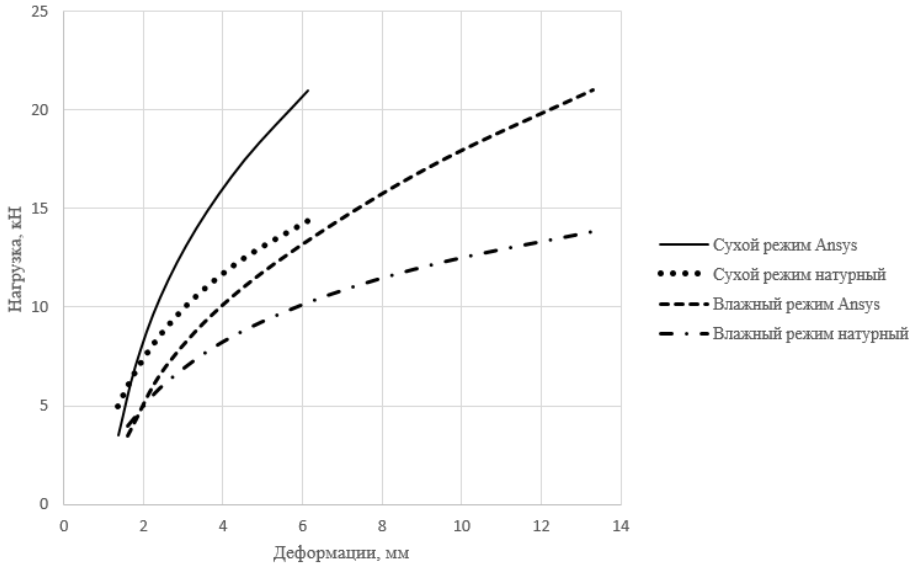


Рисунок 6 – График «нагрузка-деформация» нагельных систем численного и натурного эксперимента

Таблица 2 – Значения показателей перемещений и прогибов разными методами

Наименование функции	Уравнение графика функции	Величина достоверности аппроксимации (R2)	Отношение графиков функций (K)
Сухой режим численный	y = 6,035ln(x) + 8,1388	0.9995	1,38-1,42
Сухой режим натурный	y = 6,2577ln(x) + 3,0481	1	
Влажный режим численный	y = 8,0916ln(x) - 0,6374	0.9941	1,27-1,31
Влажный режим натурный	y = 4,648ln(x) + 1,8327	1	

Практические рекомендации

На основании проведенных исследований можно сформулировать конкретные рекомендации для проектировщиков и строителей. Монтаж нагельных систем на полимеркомпозитных стержнях следует проводить с использованием древесины нормативной влажности не более 20%. Особенно важно избегать сценария, при котором конструкция собирается из влажной древесины с расчетом на ее последующее высыхание – именно такой режим показывает наихудшие результаты.

Предложенная и верифицированная численная модель позволяет с достаточной для инженерной практики точностью прогнозировать поведение соединений при различных влажностных условиях. Это открывает возможности для оптимизации проектных решений без проведения дорогостоящих натурных испытаний.

Проведенное исследование демонстрирует, что контроль влажности древесины является критическим фактором, определяющим надежность и долговечность деревянных конструкций. Современные композитные материалы требуют современного подхода к работе с традиционными материалами, и именно на стыке этих направлений лежит путь к созданию более надежных и эффективных строительных конструкций.

Литература:

1. Приказчикова, Н. П. Тенденции в использовании быстровозводимых конструкций при последствиях чрезвычайных ситуаций / Н. П. Приказчикова, А. С. Приказчиков // Русский инженер. – 2023. – № 4(81). – С. 38-40.
2. Михалева, С. А., Деревянные быстровозводимые конструкции: перспективы и вызовы. / С. А. Михалева, Д. В Дмитриев // Строительство и архитектура. – 2023. – №4, – С. 12-23.
3. Зиннуров Т. А., Исследование совместной работы деревянных составных балок / Т. А. Зиннуров, К. А. Нурмухаметов // Современное строительство и архитектура. – 2017. – № 4(08). – С. 20-23.
4. Стоянов, В. О. Исследования балки, армированной полимерными композитами на участках с максимальными нормальными и касательными напряжениями / В. О. Стоянов, А. А. Погорельцев // Строительная механика и расчет сооружений. – 2018. – № 3(278). – С. 70-74.
5. Зиннуров Т. А., Новицкий Е. В., Пермяков С. В., Определение сопротивления вырыву гибких связей из различных материалов. // Известия вузов. Строительство. – 2024. – №6. – С. 18-28.