МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Белорусский национальный
технический университет

XII Форум вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства

Сборник научных трудов

г. Минск, 23–27 октября 2023 г.

Второе издание,
дополненное и переработанное

Минск
БНТУ
2024

УДК [378+621+625+629+65+744]
ББК 39я43
А22

Редакционная коллегия:

ректор Белорусского национального технического университета,
доктор технических наук, доцент *С. В. Харитончик*;
Государственный секретарь Союзного государства *Д. Ф. Мезенцев*;
ректор Нижегородского государственного технического университета
имени Р. Е. Алексеева *С. М. Дмитриев;*
проректор по воспитательной работе
Белорусского национального технического университета,
кандидат технических наук, доцент *Т. В. Матюшинец*

Рецензенты:

член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси,
доктор физико-математических наук, профессор *А. М. Маляревич;*
проректор по научной работе
Белорусского национального технического университета,
доктор экономических наук, доцент *К. В. Якушенко*

Сборник составлен на основе материалов докладов XII Форума вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства, состоявшегося в Белорусском национальном техническом университете 23–27 октября 2023 года, тематика которых посвящена приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности вузов Союзного государства, развитию инженерного образования в Союзном государстве, молодежному инновационному предпринимательству.

ISBN 978-985-31-0094-5

© Белорусский национальный
технический университет, 2024

БНТУ
1920

XII ФОРУМ ВУЗОВ

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ
СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА

XII ФОРУМ ВУЗОВ

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ
СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА

XII ФОРУМ ВУЗОВ

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ
СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА

РЕЗОЛЮЦИЯ
XII Форума вузов инженерно-технологического профиля
Союзного государства
23–27 октября 2023 года, г. Минск

Ежегодно в мероприятиях Форума принимают участие более 150 ученых и специалистов вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства. С 2013 года с целью стимулирования молодежного инновационного предпринимательства в рамках Форума на постоянной основе проводится определение лучшего молодежного стартап-проекта Союзного государства. По итогам XII Форума также были награждены лучшие молодежные инновационные проекты: первое место – Александр Вихарев и Иван Антонов с проектом «Blatta. Технологичная тактическая спецодежда для строительных бригад» (Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова); второе место – Алексей Густов с проектом «Повышение устойчивости узлов камер приема/пуска систем очистки и диагностики для газопроводов в сложных условиях» (Санкт-Петербургский горный университет); третье место – Александр Борзенков, Екатерина Воробьева, Алена Глушкова и Артемий Шмонин с проектом «Aeroguard» (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет).

Почетные гости пленарного заседания Форума проектов программ Союзного государства – XII Форума вузов инженерно-технологического профиля:

– **Мезенцев Дмитрий Федорович** – Государственный секретарь Союзного государства;

– **Иванец Андрей Иванович** – министр образования Республики Беларусь;

– **Грызлов Борис Вячеславович** – чрезвычайный и полномочный посол Российской Федерации в Республике Беларусь;

– **Чижик Сергей Антонович** – заместитель председателя Президиума НАН Беларуси;

– **Рапота Григорий Алексеевич** – член Комитета Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации по международным делам, почетный профессор БНТУ;

– **Щеткина Марианна Акиндиновна** – руководитель Представительства Постоянного Комитета Союзного государства в городе Минске;

– **Дмитриев Сергей Михайлович** – ректор Нижегородского государственного технического университета имени Р. Е. Алексеева;

– **Ильина Наталья Анатольевна** – ректор Псковского государственного университета;

– **Абдурахманов Одил Каландарович** – начальник Департамента социального развития Администрации Президента Республики Узбекистан, ректор Ташкентского государственного транспортного университета;

– **Турабджанов Садритдин Махаматдинович** – ректор Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова;

– **Усманкулов Алишер Кадиркулович** – ректор Джизакского политехнического института;

– **Махкамов Бахтиёр Шухратович** – ректор Ташкентского университета информационных технологий;

– **Исоков Максуд Узокович** – ректор Университета геологических наук;

– **Саломов Уктам Рахимович** – ректор Ферганского политехнического института;

– **Эргашев Шариббой Туланович** – ректор Наманганского инженерно-строительного института;

– **Сиддикова Садокат Гафоровна** – ректор Бухарского инженерно-технологического института;

– **Джураев Абдугаффор Сафарович** – ректор Термезского института агротехнологий и инновационного развития;

– **Турдиалиев Умид Мухтаралиевич** – ректор Андижанского машиностроительного института.

Заслушав и обсудив доклады и выступления почетных гостей и участников на пленарном и секционных заседаниях, а также поступившие предложения по результатам работы секций, XII Форум вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства отмечает следующее:

– учреждения высшего образования инженерно-технологического профиля вносят существенный вклад в обеспечение минимизации негативных эффектов экономических санкций в отношении Республики Беларусь и Российской Федерации, осуществляя опережающую подготовку специалистов для ключевых производств, восполняя утечку кадров, разрабатывая и внедряя критические технологии, замещая импортную продукцию;

– преподаватели, научные работники, молодые исследователи учреждений высшего образования принимают активное участие в решении технологических запросов предприятий и организаций Республики Беларусь и Российской Федерации, вносят вклад в технологический прогресс Союзного государства;

– учреждения высшего образования в соответствии с передовой мировой практикой обеспечивают воспитание креативной молодежи, способной генерировать инновации, создавать и продвигать научно-техническую продукцию;

– активно развивается сетевое взаимодействие между учреждениями высшего образования Республики Беларусь и Российской Федерации в сфере подготовки инновационно ориентированных кадров, международного научно-технического сотрудничества.

Вместе с тем XII Форум вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства **считает необходимым:**

– продолжить развитие существующих и поиск новых эффективных форм взаимодействия учреждений высшего образования инженерно-технологического профиля с ведущими научными учреждениями и производственными предприятиями для укрепления технологического суверенитета и развития Союзного государства;

– обеспечить условия для повышения эффективности международного сотрудничества учреждений высшего образования в образовательной, научной, научно-технической и инновационной сферах;

– направить усилия на реализацию передовых образовательных программ в тесном взаимодействии с ведущими предприятиями для интенсификации осво-

ения обучающимися современного оборудования, производственных технологий, передовых приемов и методов труда.

В целях развития технологического прогресса отраслей реального сектора экономики XII Форум вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства **рекомендует**:

– внести предложение о создании Сетевого университета высоких технологий Союзного государства на базе одного из ведущих УВО Республики Беларусь с подготовкой инженерных кадров для Союзного государства в сфере станкостроения, машиностроения, двигателестроения, материаловедения, композиционных материалов, цифровых технологий, оптических материалов и лазерных технологий, новых материалов и технологий в здравоохранении и фармацевтике и др.;

– направить усилия учреждений высшего образования на развитие эффективных форм кооперации образования, науки и производства путем создания технологических полигонов, совместных субъектов инновационной инфраструктуры, центров коллективного пользования, обеспечения функционирования совместных учебных и научно-исследовательских (в т. ч. отраслевых) лабораторий и др.;

– выработать наиболее эффективные формы сотрудничества между учреждениями высшего образования Союзного государства для обеспечения создания заделов прорывного характера по приоритетным направлениям науки и техники для высокотехнологичных отраслей, в т. ч. расширение возможности участия белорусских ученых в реализации совместных научно-технических разработок путем обеспечения возможности участия белорусских УВО и научных организаций наряду с российскими организациями;

– продолжать поиск и разработку новых, ускоренных механизмов подготовки высокопрофессиональных кадров для функционирования всей цепочки создания и трансфера инновационных технологий – от разработчиков до специалистов промышленных предприятий, включая специалистов по инновационной деятельности;

– стимулировать и поддерживать развитие обменов и совместных творческих и образовательных инициатив молодежи Союзного государства в области научных исследований и патриотического воспитания молодежи;

– предложить Постоянному комитету Союзного государства, Министерству науки и высшего образования Российской Федерации, Министерству образования Республики Беларусь кандидатуру Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева в качестве организатора проведения XIII Форума вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства.

ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО МИНИСТРА ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ А. И. ИВАНЦА

Глубокоуважаемый Дмитрий Федорович, уважаемый Борис Вячеславович, уважаемые руководители учреждений высшего образования!

Разрешите от имени Министерства образования Республики Беларусь поприветствовать всех участников XII Форума вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства. Качественное инженерное образование является фундаментом экономического развития и национальной безопасности страны. Высококвалифицированные инженерные кадры являются одним из главных ресурсов технологического суверенитета государства и определяют перспективы его развития.

В условиях санкционного давления востребованность в инженерных кадрах является особенно актуальной для промышленного сектора Беларуси. Подготовку инженерных кадров в Республике Беларусь осуществляет более 10 ведущих университетов (БНТУ, БГУИР, БГТУ, БрГТУ, ПГУ, БРУ, ГГТУ, БГАТУ и другие). Ежегодный прием абитуриентов инженерного профиля составляет порядка 17 000 человек. Подготовка высококлассных специалистов в первую очередь обеспечивается за счет реализации подходов непрерывного образования «школа – университет – предприятие».

Подготовка специалистов осуществляется на основании заявок организаций – заказчиков кадров, с которыми УВО поддерживают тесные связи. Это позволяет оперативно реагировать на внедрение новых производственных процессов в организациях и формировать планы приема с учетом реальной потребности в конкретных специалистах.

В образовательном процессе широко используются современные образовательные технологии: проектное обучение, студенческие стартап-проекты, модульное обучение, специализированные курсы и другое. В целях усиления практико-ориентированной подготовки специалистов значительная часть лабораторных и практических занятий, курсового и дипломного проектирования проходит более чем на 500 филиалах кафедр крупных промышленных предприятий: МАЗ, БелАЗ, МТЗ, МЗКТ, ММЗ, «Интеграл», «Атлант», БМЗ, «Амкодор» и других. Важную роль в связке «университет – наука – реальный сектор» выполняют отраслевые лаборатории, которыми реализуется ряд научных проектов для решения производственных задач. Полученные в отраслевых лабораториях результаты активно внедряются в образовательный процесс.

Отдельно хочу отметить, что с организациями – заказчиками кадров заключено более 1000 договоров о взаимодействии, ежегодно согласовывается около 2000 учебных программ. Ежегодно около 20 000 студентов проходят производственную практику в организациях – заказчиках кадров.

В организации образовательного процесса (чтение лекций, проведение практических занятий, курсовое и дипломное проектирование, итоговая аттестация) ежегодно принимают участие около 4000 специалистов-практиков. Более 1500 преподавателей ежегодно проходят повышение квалификации на производстве.

Сегодня подготовка инженерных кадров – это непрерывное образование: школа – вуз – предприятие.

Для повышения качества подготовки и мотивации школьников, поступающих на инженерные специальности, реализуется комплекс мер.

Первое – открыто новое направление в обучении – профильные классы инженерной направленности.

В 2023 году по всей республике открыто 235 профильных классов инженерной направленности, в которых получают образование более 2500 обучающихся. Учащиеся данных классов изучают программу факультативных занятий межпредметного характера «В мире техники и технологий: выбираем инженерную профессию».

Второе – развивается деятельность Национального детского технопарка по таким направлениям, как авиакосмические технологии, архитектура и дизайн, биотехнологии, виртуальная и дополненная реальность, зеленая химия и др. Выпускники имеют возможность поступления на инженерные специальности без вступительных испытаний.

Третье – проводится ряд конкурсов научно-технического творчества: «ТехноИнтеллект», «100 идей для Беларуси» и др.

Четвертое – медалисты и целевики имеют траектории для поступления на инженерные специальности без вступительных испытаний и вне конкурса.

Что касается развития международного сотрудничества, проводится работа по интеграции образовательного и научно-технологического пространства Союзного государства. Весомый вклад в этот процесс вносят ведущие университеты республики: БНТУ, БРУ, БГУ, БГУИР и другие. Только в прошедшем учебном году выполнялось более 70 совместных научно-исследовательских проектов с учреждениями и организациями Российской Федерации.

Взаимодействие университетов наших стран направлено на подготовку кадров для высокотехнологичных и новых отраслей экономики Беларуси и Российской Федерации путем объединения потенциалов в области фундаментальных и прикладных исследований. Сегодня налажен регулярный обмен студенческими группами, научными и преподавательскими кадрами.

Так, БНТУ и Псковский государственный университет принимают участие в Государственной программе «Научно-технологическое развитие Российской Федерации», в рамках которой создана «Передовая инженерная школа Союзного государства» для обеспечения сетевой подготовки межотраслевого инженера.

Одним из ярких примеров сближения образовательных пространств Республики Беларусь и Российской Федерации является Белорусско-Российский университет (БРУ), который осуществляет подготовку специалистов преимущественно по инженерным специальностям по образовательным стандартам Беларуси и России. Этот ряд можно продолжить.

Вместе с тем хочу остановиться на ряде вопросов, которые требуют нашего внимания, и внести конкретные предложения.

Во-первых, общее количество обучающихся по российским образовательным программам сегодня составляет порядка 700 человек, что не отвечает, на наш взгляд, запросам экономик наших стран и требует проведения дальнейшей работы по расширению контингента студентов. Для этого предлагаем рассмот-

реть вопрос выделения Белорусско-Российскому университету определенной части квоты Правительства Российской Федерации для приема на обучение белорусских граждан по российским образовательным программам.

Во-вторых, предлагаем проработать вопрос направления на первое рабочее место выпускников, обучающихся по квоте Правительства Российской Федерации, в организации Республики Беларусь. Это создаст равные условия для выпускников российских и белорусских УВО.

В-третьих, для подготовки высококвалифицированных инженерно-технических кадров Постоянным Комитетом предложено создать университет высоких технологий Союзного государства. Считаем целесообразным создание сетевого университета высоких технологий Союзного государства на базе одного из ведущих УВО Республики Беларусь с подготовкой инженерных кадров для Союзного государства по следующим направлениям: станкостроение, машиностроение, двигателестроение, материаловедение, композиционные материалы нового поколения, лазерные и цифровые технологии, новые материалы и технологии в здравоохранении и фармацевтике и другим.

В-четвертых, расширить возможности участия белорусских ученых в совместных научно-технических разработках путем обеспечения возможности участия наших университетов и научных организаций наряду с российскими организациями.

Уважаемые участники Форума! Желаю всем плодотворной работы и принятия значимых решений, реализация которых будет способствовать развитию инженерно-технического образования и науки на благо наших стран!

Уверен, что эти и ряд других важных вопросов мы рассмотрим в декабре текущего года на совместной коллегии с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

Уважаемые коллеги! Работу XII Форума вузов инженерно-технологического профиля объявляю открытой!

ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО ГОСУДАРСТВЕННОГО СЕКРЕТАРЯ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА Д. Ф. МЕЗЕНЦЕВА

Уважаемые участники!

Приветствую Вас на открытии очередного, XII по счету Форума вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства, который в эти дни начал свою работу в Минске. Белорусский национальный технический университет уже является традиционной площадкой для его проведения, поскольку объединяет под своей крышей не только руководителей вузов инженерно-технологического профиля Беларуси и России, но и представителей органов государственного управления, научных организаций, субъектов инновационной инфраструктуры и промышленных предприятий.

Данный Форум призван определять стратегические направления развития, повышать эффективность и результативность деятельности инженерных, технологических учебных заведений, вырабатывать предложения по модернизации и оптимизации образовательных, научных и административных процессов.

Значительное число участников и представительный формат мероприятий Форума свидетельствуют об его актуальности и значимости. Более того, востребованность данной площадки подтверждается временем: с начала проведения в 2012 году создана эффективная платформа для взаимодействия учебных заведений Беларуси и России, на которой проходит обсуждение актуальных вопросов развития инженерного образования, популяризация науки и активизация творческой деятельности обучающейся молодежи, обмен опытом.

В нынешних непростых геополитических условиях обострения отношений и углубления кризиса доверия между ключевыми центрами силы залогом успешного развития Союзного государства является в том числе более тесная кооперация научных потенциалов двух стран, направленная на создание технологических инноваций, разработку и выпуск функциональной, технически сложной продукции, конкурентоспособной на внешних рынках. Совместная работа вузов по подготовке кадров, реализация образовательных программ и проектов, проведение общих научных исследований будут способствовать выходу наших стран на новые технологические рубежи. Все это в совокупности будет способствовать обеспечению безопасности наших государств в экономической, научно-технологической и иных сферах.

Уверен, что нынешний Форум станет площадкой для дальнейшего обмена научным и практическим опытом и пройдет в творческой атмосфере, направленной на поиск новых решений.

Желаю всем участникам активной и плодотворной работы, а также конкретных практических результатов!

ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО ЧРЕЗВЫЧАЙНОГО И ПОЛНОМОЧНОГО ПОСЛА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ Б. В. ГРЫЗЛОВА

Уважаемые Дмитрий Федорович, Андрей Иванович, уважаемые руководители учреждений и организаций образования и науки, уважаемые участники XII Форума вузов!

Хотел бы сказать, что тот Форум, на котором мы сегодня находимся, в рамках которого мы работаем, уже многие годы является важной площадкой для обсуждения актуальных вопросов развития науки и высшего образования Союзного государства. Укрепление промышленного потенциала, внедрение в производство передовых технологий неразрывно связаны с повышением образовательного уровня населения, увеличением числа специалистов и высококвалифицированных работников в стратегически важных для государства отраслях экономики. Качество еще советского образования, уровень нашей инженерии десятилетиями являлись образцом и эталоном, ориентиром для всей мировой науки. России и Беларуси удалось сохранить и приумножить знания и компетенции, доставшиеся нам от общей советской Родины. Мы смогли не растратить базу прошлого, добавить в нее современные подходы к образовательному процессу, сформировать исходя из требований глобальной экономики, новые цели и задачи для нашей системы образования и науки. Россия и Беларусь являются мировыми лидерами в IT-технологиях. Учащиеся школ и студенты наших технических вузов регулярно становятся победителями мировых олимпиад и конкурсов по физике, химии, программированию. Так, российские школьники выиграли в 2022 году в очередной раз международную олимпиаду по физике, завоевав на ней пять золотых медалей.

Российское и белорусское образование не конкурируют, а гармонично дополняют друг друга. Решение о равных правах граждан Союзного государства давно требует от нас создания общего гуманитарного научно-образовательного пространства, где выпускники школ могли бы свободно поступать в вузы наших стран. Нынешние внешнеэкономические реалии, беспрецедентное санкционное давление создают уникальные условия, при которых основным источником развития становится опора на внутренние резервы. Это позволяет создавать новые рабочие места, запускать заводы и фабрики, размораживать и реанимировать, казалось бы, забытые производства. Все это требует специалистов. В этой связи важность создания единого образовательного пространства приобретает стратегическое значение и заставляет нас приложить все усилия по интенсификации межшкольных и межвузовских обменов. Отдельно хотелось бы акцентировать возможность получения дополнительного образования и повышения квалификации в ведущих технических вузах нашей страны для работников важнейших белорусских государственных предприятий, в том числе «Планар», «Пеленг», «БелОМО», «Интеграл» и многих других. Как справедливо заметил Президент Республики Беларусь Александр Григорьевич Лукашенко, после запуска Белорусской АЭС Беларусь при поддержке России стала полноправным участником мирового клуба атомных держав, которые используют энергию атома в мирных

целях. По сути, в республике создана новая индустрия, требующая высококвалифицированных специалистов. Российский Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», будучи одним из мировых лидеров в данной сфере, открыт для белорусских студентов и работников самой молодой отрасли народного хозяйства Беларуси – атомной энергетики. Здесь я хотел бы отметить еще и Нижегородский университет, который занимается аналогичными проблемами. Примечательно, что именно «МИФИ» наряду с петербургскими Политехом, Институтом точной механики и оптики, Государственным электротехническим университетом, а также Московским физико-техническим институтом являются наиболее популярными среди белорусских студентов отечественными техническими вузами.

Также необходимо работать и над расширением сети филиалов наших вузов в братской Беларуси. Например, в Узбекистане действуют 13 представительств отечественных вузов, в Казахстане – 8, в Армении – 6, в Беларуси, ближайшем союзнике России, пока функционируют лишь 2 филиала. Правильно ли это? Полагаю, что наши лучшие вузы должны быть представлены здесь шире. Россия всегда открыта для белорусских выпускников. В этой связи не могу не отметить высокую организацию, успешное проведение в феврале этого года в Минске специализированной выставки образования и карьеры, где отечественная высшая школа была представлена широкой зрительской аудитории на самом достойном уровне. Все это является важным элементом в строительстве гуманитарного пространства Союзного государства и может служить ответом на нечистоплотную политику Запада, вытягивающую, будто пылесосом, перспективную молодежь из наших братских стран. Достижению нашей стратегической цели способствовало бы скорейшее решение вопроса о предоставлении отсрочки от службы в армии для белорусских студентов, получающих высшее образование в России. Глубоко убежден, что наши усилия по созданию общей образовательной среды, четкое формирование задач перед высшей школой исходя из нужд нашей промышленности, сельского хозяйства позволит обеспечить экономическую безопасность единого пространства Союзного государства и успешно преодолеть все текущие сложности.

Дорогие друзья, пользуясь случаем, хотел бы пожелать Вам крепкого здоровья, благополучия и плодотворных дискуссий на благо наших союзных стран и братских народов!

ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО ЧЛЕНА КОМИТЕТА СОВЕТА ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО СОБРАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО МЕЖДУНАРОДНЫМ ДЕЛАМ, ПОЧЕТНОГО ПРОФЕССОРА БНТУ Г. А. РАПОТЫ

Дорогие друзья! Для меня большая честь участвовать в этом Форуме. Тем более, что 12 лет назад Постоянный Комитет, сотрудники БНТУ вложили много сил в то, чтобы Форум состоялся, и, к счастью, это случилось. Причем случилось это неслучайно именно здесь, потому что, во-первых, Беларусь – это страна с высокотехнологичным производством, причем так было и в советское время, так продолжалось после. В последующий период естественный интерес к Республике Беларусь, к ее достижениям, к ее возможностям в этой сфере существует во многих странах. Во-вторых, БНТУ – это авторитетная организация, которая известна далеко за пределами Республики Беларусь, поэтому здесь мы не ошиблись. Я, между прочим, обратил внимание, что выступавшие до меня и ваш покорный слуга – все выпускники технических вузов. И то, что один из них – чрезвычайный и полномочный посол, другой – государственный секретарь Союзного государства, причем до этого был и губернатором, и у меня тоже биография далеко не инженерная, и говорит о том, что инженерные вузы выпускают специалистов широкого профиля. И это тоже не удивительно, потому что технический вуз формирует способность к системному мышлению, это очень важно. Обратите внимание, что очень многие выпускники технических вузов с достаточной легкостью обретают вторую специальность юриста, экономиста, психолога, преподавателя. А вот наоборот – таких примеров не знаю, во всяком случае, это, наверное, редкость, поэтому я думаю, все, кто преподает, кто учится в техническом вузе, должны благодарить судьбу за этот предоставленный ею выбор. Сейчас я представляю законодательный орган и, естественно, мой интерес перед тем, как я вот сюда приехал, а законодательная база создана для того, чтобы способствовать этому развитию технической, научно-технической мысли и общению институтов научно-технического профиля. В 28 программах, о которых говорил здесь Дмитрий Федорович, фактически я нашел одну, которая имеет непосредственное отношение к нашей с вами работе. Это программа о создании единой промышленной политики. Соглашение подписано, оно небольшое, там всего пять позиций, но большинство соглашений не про результат, они про процесс. Это и хорошо, и плохо одновременно. Плохо, потому что трудно будет проверить потом выполнение этого соглашения, хорошо, потому что оно дает свободу действий в достаточно широкой степени, и в этом соглашении обозначены все основные позиции, которые наверняка здесь будут обсуждаться: научно-техническое сотрудничество, инновационные проблемы, венчурное финансирование и все, что связано с формированием единой промышленной политики. В этой связи я бы хотел выделить два пункта и мне бы хотелось, чтобы они тоже получили отражение в ходе наших конференций, настоящих и будущих.

Первое – это инновации. Инновации и венчурная форма работы с изобретателями. Здесь мы проседаем очень сильно. У нас идет процесс улучшения, так называемая поддержка изобретателей и поддержка внедрения результатов их

труда, но это процесс эволюционный. Сегодня здесь Дмитрий Федорович говорил о грантах, это очень важное дело, и у нас создаются фонды, комиссии, это тоже очень важное дело, но мне кажется, мы должны стремиться к тому, чтобы этот процесс приобрел революционные изменения. В чем они заключаются? Дело в том, что сейчас изобретатель находится в униженном положении (мне приходится с этим иметь дело в качестве государственного секретаря). Он ходит перед чиновниками, перед предпринимателями, просит рассмотреть его изобретение, помочь ему продвинуть его в производство, от него часто отмахиваются, мало кто вообще вникает в существо того, что предлагается, и часто это происходит не потому, что люди не хотят, а потому, что еще и квалификации не хватает. Это будет революция, когда наши законодательные органы, исполнительные органы, предприятия крупные будут охотиться за такими людьми, и будут за ними бегать, и будут их уговаривать поработать у них на предприятии, вот тогда мы можем сказать, что проблема инновационного внедрения будет решена. Собственно, эта практика была, и мы иногда с восторгом об этом рассказываем. Это то, что происходило в Японии в свое время и позволило им резко подняться в своем развитии. Вот это очень важный фактор.

И второе – профессия инженера, к сожалению, в общественном мнении не столь популярна, как профессия актера, певца эстрадного и так далее. И средства массовой информации, к сожалению, вносят очень маленький вклад в то, чтобы общество осознало, насколько это важная профессия, насколько важно молодежи стремиться ее обрести. Дело в том, что у нас и журналистика не готова к этому, поэтому давайте мы вместе, вот на этом Форуме, и в будущем будем думать и об этом, будем формировать какие-то предложения. Я заверяю Вас, что вот я, там, на своем месте, да, законодательном, с удовольствием поддержу любую инициативу в этом плане, и мои коллеги тоже. Но тут нужен профессиональный разговор и профессиональные суждения.

Дорогие коллеги, здесь собрались люди, которые делают благородное дело, люди, которые говорят не о прошлом. О прошлом нужно говорить, историю нужно знать, об этом очень много говорится у нас в средствах массовой информации и, так сказать, в общении в частном, но здесь мы говорим не о прошлом, мы говорим о будущем. Вот это очень важно. Очень важно зажечь эту звезду, которая называется «Будущее», перед нашей молодежью. Тогда у нас у всех жизнь будет складываться так, как мы бы этого хотели. Спасибо.

ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО РЕКТОРА НИЖЕГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ Р. Е. АЛЕКСЕЕВА С. М. ДМИТРИЕВА

Уважаемые Дмитрий Федорович, Борис Вячеславович, уважаемые коллеги, дамы и господа!

Я бывал на многих заседаниях самого высокого уровня, а вот здесь мы сегодня находимся на одной волне, на волне людей, которые имеют высшее техническое образование и которые говорят на одном языке. Очень приятно понимать, что мы сегодня говорим о подготовке кадров. Известная фраза «Кадры решают все» – это первое, а второе – инженерный кадр – это основа экономики государств Союзного государства России и Беларуси. Безусловно, очень важная тема. Она особенно актуальна сегодня, поскольку действительно инженерных кадров не хватает. И первое, и второе – мы должны готовить инженерные кадры, говоря о будущем. Мы должны готовить сегодня инженерные кадры для тех производств, которых сегодня нет, которые сегодня развиваются. Я хочу первым поздравить всех с XII Форумом вузов инженерного профиля, который проходит традиционно в БНТУ. Хочу выразить огромную благодарность тем организациям, которые приняли решение – это Постоянный Комитет Союзного государства и Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Министерство образования Беларуси – о том, что полезно, наверное, было бы периодически проводить такие форумы в Беларуси и в России. Поэтому спасибо за это и спасибо, что Вы выбрали наш Нижний Новгород, Нижегородский государственный технический университет, но здесь уже говорили и Сергей Васильевич говорил о том, что мы обладаем компетенциями. Мы обладаем компетенцией в области атомного машиностроения систем высокой плотности энергии, компетенциями мирового уровня и выше. Вот сегодня мы прослушали прекрасный доклад о совместной «Передовой инженерной школе» БНТУ и Псковского университета. Я хочу сказать, что мы также находимся в числе 30 вузов, в которых создана единственная в России «Передовая инженерная школа» атомного машиностроения систем высокой плотности энергии, причем у нас – все наши индустриальные партнеры, с которыми мы работаем. Это предприятие государственной корпорации «Росатом», это в первую очередь Российский федеральный ядерный центр, предприятие госкорпорации «Росатом» «Атомстройэкспорт», «Атомэнергопроект», ряд других предприятий. Хочу сказать, что наши первые исследования позволили повысить мощность некоторых лазерных систем в шесть раз, как сказал академик Гаранин Сергей Григорьевич, директор Института лазерных исследований РФЯЦ-ВНИИЭФ. Сегодня, когда десять университетов представляли свои «Передовые инженерные школы» Президенту Российской Федерации Владимиру Владимировичу Путину, и Владимир Владимирович сказал о нашей «Передовой инженерной школе», о том, что даже дух захватывает, вы занимаетесь тем, чего еще нет в России, а будет только через 5–6 лет. У нас направление «Передовой инженерной школы», как я уже сказал, – это атомное машиностроение и системы высокой плотности энергии, а конкретно, это ядерно-водородная энергетика, это атомные станции, которые будут производить чистый

и дешевый водород. Здесь я не буду повторяться, но мы уже 5 лет создаем, точнее, у нас работают инженерные классы. Мы создали десять классов по судостроению вместе с «Объединенной судостроительной корпорацией», два атомных класса вместе с госкорпорацией «Росатом» и вот в этом году открыли пять авиационно-строительных классов. Мы идем примерно по одному и тому же вектору по подготовке инженеров. Это бесшовная система образования у нас работает. Мы, кстати, работаем со школьниками. Сегодня однозначно можно утверждать, что, не работая со школами университетов, мы не получим тех абитуриентов, которые должны прийти. Это больной вопрос, и сегодня мы работаем со школьниками начиная с первого класса, «Дом научной коллаборации» действует в университете, и на выходе мы получаем мотивированных студентов, и вот здесь, кстати, в этом участвуют и промышленные предприятия. Именно в инженерных классах, это конкретно авиастроительный авиационный завод «Сокол», завод «Красное Сормово» и «Атомстройэкспорт», это предприятия различного направления, именно они как раз и занимаются профессиональной ориентацией вместе с нашими преподавателями.

Уважаемые коллеги, да, сегодня время очень быстро меняется, меняется мир, но еще быстрее меняются техника и технологии. Поэтому вот я уже говорил о том, что необходимо думать над тем, что чего только нет или что только внедряется. Говоря про нано-, различные элементы, сегодня мы не пошли по пути там голландцев, американцев, мы сегодня в Нижнем Новгороде создаем центр микроэлектроники, причем это направление гораздо эффективнее, чем западное. Можно долго говорить, дорогие друзья. Я еще раз хочу выразить свое чувство, что здесь люди, которые озадачены и увлечены такой общей задачей подготовки именно инженерных кадров, и, дорогие друзья, заканчивая, хочу сказать, что, безусловно, нужно развивать наше инженерное пространство, давать новый импульс нашему Форуму вузов инженерно-технологического профиля. Мы предлагаем совместно с БНТУ, Сергеем Васильевичем, создать новые электронные цифровые платформы для размещения материалов по новым образовательным программам, по новым образовательным дисциплинам. Это первое. Выделять, – вот у нас есть такая система, – внутренние гранты для молодых ученых, в этом году у нас уже их пять. Можно совместные гранты для совместных программ, такое, кстати, широко распространено между Россией, нами и Китаем, с которым мы также активно работаем. Для молодых ученых наших университетов.

Дорогие друзья, я еще раз хотел бы поприветствовать всех и пожелать плодотворной активной работы, а в первую очередь – нашим студентам, магистрантам, аспирантам. Большое спасибо за приглашение. Еще раз большое спасибо за предложение следующий Форум проводить в Нижнем Новгороде. Кстати, Нижний Новгород из многих городов очень активно работает с Беларусью. У нас в Нижнем Новгороде открылось совместное производство с Беларусью трамваев «Минин», 15 ноября будет пущен первый железнодорожный состав «Нижний Новгород – Минск» непосредственно. Поэтому добро пожаловать в Нижний Новгород! Спасибо!

ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО НАЧАЛЬНИКА ДЕПАРТАМЕНТА СОЦИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ АДМИНИСТРАЦИИ ПРЕЗИДЕНТА РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН, РЕКТОРА ТАШКЕНТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТРАНСПОРТНОГО УНИВЕРСИТЕТА О. К. АБДУРАХМАНОВА

Уважаемые участники Форума! Искренне рад приветствовать всех участников Форума вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства – руководителей вузов, исследовательских центров, институтов, крупных ученых, авторитетных специалистов и экспертов. Хочу выразить благодарность организаторам за приглашение делегации Республики Узбекистан. Хотел бы подчеркнуть, что данный Форум утвердился как востребованная и авторитетная платформа международного взаимодействия и диалога научно-педагогической, а также инженерно-технической общественности стран-участников. В этом году Узбекистан впервые принимает участие в Форуме, и надеемся, что наше участие будет способствовать дальнейшему развитию сотрудничества между нашими вузами.

Я хотел бы коротко коснуться основных аспектов проводимых в Узбекистане реформ в области высшего образования, а также поделиться с вами некоторыми соображениями о развитии инженерно-технологического образования в стране благодаря личной инициативе и поддержке Президента Республики Узбекистан уважаемого Шавката Миромоновича Мирзиёева. Реформами в сфере образования осуществлена колоссальная работа по расширению доступа молодежи к высшему образованию. Так, за последние 6 лет в республике создано 135 новых вузов, и их общее количество достигло 212, причем 30 из них – это зарубежные университеты, а 66 – это частные. Уровень охвата высшим образованием по сравнению с 2016 годом вырос с 9 % более чем в 4 раза и составил 42 % в текущем учебном году, при этом в 2 раза увеличилось количество остепененных преподавателей: с 7500 в 2016 до 15 000 в 2023 году. Исходя из приоритетов и потребностей текущего этапа социально-экономического развития Республики Узбекистан, мы придаем большое значение модернизации инженерно-технического образования. Так, за последние шесть с половиной лет объем промышленности увеличился в полтора раза. Доля ВВП увеличилась с 18 до 25 %. За этот период в промышленной отрасли реализовано 570 крупных проектов на сумму более 30 миллиардов долларов, производство электроэнергии выросло до 74 миллиардов киловатт-часов с 54 миллиардов киловатт-часов в 2016 году. Особенно большой скачок наблюдается в металлургической, химической, электротехнической, автомобильной, текстильной, строительной, фармацевтической промышленности, где были созданы тысячи новых современных предприятий. В целом за этот период в отраслях промышленности создано более миллиона рабочих мест. Поэтому задача – поднятие высокотехнологичного промышленного потенциала страны на более высокий уровень. Это ставит перед нами задачи по подготовке кадров в этой области, по развитию научно-инновационной деятельности инженерно-технической сферы, поэтому мы придаем важное значение подобного рода площадкам, которые дают возможность обсудить наиболее актуальные вопросы развития инженерного образования в наших странах,

что, несомненно, закладывало бы основу для укрепления научно-технологического сотрудничество. В этой связи для дальнейшего наращивания многостороннего взаимодействия мы бы хотели предложить учреждениям такую же возможность участия в этом ежегодном инженерно-технологическом Форуме вузов в Узбекистане вместе с Россией и Беларусью. В следующем году Форум намечается в Нижнем Новгороде, Узбекистан готов также принять подобный Форум. Во-вторых, это создание совместных «Передовых инженерных школ» для подготовки высококвалифицированных кадров по наиболее востребованным для отраслей экономики специальностям. В-третьих, это разработка совместных фундаментальных прикладных инновационных проектов по таким направлениям, как энергетика, металлургия, машиностроение, горное дело, транспорт и логистика, также создание совместных программ послевузовского образования по целевой подготовке научно-педагогических кадров. Также хотелось бы предложить создание инновационных площадок для расширения взаимодействия и обмена опытом в вопросах интеграции науки и производства, привлечения производственных компаний в учебный процесс, а также предоставление доступа современным высокотехнологичным лабораториям и технопарком. Я уверен, что на данном Форуме состоятся плодотворная дискуссия, обмен опытом и обсуждение перспективных планов. Спасибо за внимание!

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ИНЖЕНЕРНАЯ ТРАЕКТОРИЯ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА

С. В. Харитончик
доктор технических наук, доцент

Глубокоуважаемые почетные гости, уважаемые участники Форума! Прежде чем перейти к своему докладу, я хочу поделиться поздравлением и приветствием, которое поступило в адрес организаторов нашего Форума от Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

«Организаторам и участникам XII Форума вузов инженерно-технологического профиля России и Беларуси!

Уважаемые участники Форума! От имени Министерства науки и высшего образования Российской Федерации рад приветствовать вас на XII Форуме вузов инженерно-технологического профиля.

Форум стал одной из самых востребованных площадок российско-белорусского диалога на треке научно-образовательного сотрудничества.

Стремительное развитие технологий и производств диктует необходимость постоянно наращивать сотрудничество образовательных и научных организаций.

Мы реализуем комплекс мер, направленных на поддержку и постепенную концентрацию научных исследований в вузах: усиление кадровой составляющей вузовской науки, обновление оборудования, участие вузов в технологических платформах, в создании малых предприятий, содействие их кооперации с предприятиями, поддержка молодых ученых.

Работа, которая будет проводиться в эти дни на полях Форума, является одним из ключевых элементов в успешном развитии потенциала вузов двух стран, а именно реализации новых совместных научных и образовательных проектов, расширении академической мобильности и увеличении межвузовских контактов в целом.

В заключение хочу выразить уверенность, что обмен опытом и идеями в рамках проходящего Форума станет новым витком расширения возможностей межвузовского сотрудничества на благо развития народов России и Беларуси.

Желаю всем участникам здоровья и благополучия!

Заместитель министра науки и высшего образования Российской Федерации К. И. Могилевский».

Уважаемые участники Форума, прежде чем перейти к своему выступлению, хочу сказать, что действительно поднимаются очень правильные и нужные злободневные вопросы, и, учитывая то, что эстафета переходит в Нижний Новгород, хочу остановиться и сделать акцент на том опыте, который уже наработан в рамках Форума, передать, поделиться. И, думаем, мы его будем в дальнейшем использовать, поэтому от имени организаторов, а также многотысячного коллектива ведущего технического учреждения высшего образования Республики Беларусь – Белорусского национального технического университета – я искренне рад приветствовать вас на XII Форуме вузов инженерно-технологического профиля!

В первую очередь позвольте выразить слова благодарности Постоянному Комитету Союзного государства, Министерству образования Республики Беларусь, Министерству науки и высшего образования Российской Федерации, участникам Форума и всем, кто нашел время и возможность приехать в Беларусь, чтобы принять участие в предстоящих дискуссиях.

Год от года наш Форум становится все более авторитетным и влиятельным. На его заседаниях, круглых столах обсуждаются самые актуальные проблемы современности. Представители научной общественности, деловых кругов и общественных организаций обмениваются опытом, предлагают прорывные решения в разных областях техники и технологий. Форум вузов инженерно-технологического профиля проводится с 2012 года ежегодно, на базе Белорусского национального технического университета в виде пилотного проекта и является авторитетной и доступной площадкой, на которой представители вузовской науки и студенчества Беларуси, России и других государств получают уникальную возможность демонстрировать свои инновационные идеи, технологии и разработки в самых различных областях науки и техники, обмениваются опытом по широкому кругу вопросов, включая сферу образования. В этом году мы с особой гордостью принимаем Форум как мероприятие, входящее в план постоянных мероприятий Союзного государства.

Форум в этом году проходит по трем секциям:

1) «Приоритетные направления научной, научно-технической и инновационной деятельности вузов Союзного государства»;

2) «Развитие инженерного образования в Союзном государстве»;

3) «Молодежное инновационное предпринимательство».

Актуальность тем этого года очевидна. Стремительное развитие технологий и производств диктует необходимость наращивать сотрудничество образовательных и научных организаций, поддерживать исследования и совершенствовать качество подготовки квалифицированных кадров для развития высокотехнологичных отраслей наших стран.

Традиции инженерии очень сильны и крепки на постсоветском пространстве, и если только посмотреть на историю нашего университета, то этим традициям уже более 100 лет. Среди первых факультетов были механический, строительный, энергетический, которые за этот период не только не потеряли своей актуальности, но и востребованы на очень высоком уровне реальным сектором экономики.

Обращаясь с Посланием к народу и Национальному собранию, Президент Республики Беларусь Александр Григорьевич Лукашенко отметил: «Сегодня Беларусь является образовательным хабом Восточной Европы, где созданы все условия для получения фундаментального и прикладного образования по самому широкому спектру специальностей. Именно поэтому в нашу страну едут в том числе и за знаниями. Однако в первую очередь отечественное образование должно отвечать запросам белорусской экономики, а это дорога с двусторонним движением. Кто, если не руководство предприятий, знает, в каких кадрах нуждается отрасль. И помним, что вся система образования должна быть устремлена в будущее, формировать работника нового типа, грамотного, гибкого, инициативного, готового жить и трудиться в открытом информационном обществе. Касается всех специальностей: от комбайнеров и строителей до врачей».

Начиная с советских времен, система подготовки инженера опиралась на взаимодействие и преемственность трех звеньев: школы, вуза и производства (работодателя). Современный этап развития общества ставит перед системой высшего образования, в том числе перед высшими техническими учебными заведениями, задачу формирования и подготовки специалистов высокой квалификации, которые обладают не только навыками практической деятельности, но и широким мировоззрением, опирающимся на социально значимые ценностные ориентиры. В связи с нарастающим объемом информации, усложнением социально-экономических, политических, других условий жизни в целом и, как следствие, возрастанием требований к специалисту эту задачу необходимо решать как можно раньше, начиная с довузовской подготовки абитуриента.

Решение данной задачи связано с созданием и реализацией интеграции общего среднего и высшего образования. Интересы и стремления у молодых людей закладываются и развиваются еще до поступления в университет. Сотрудничество в этом направлении школ, гимназий и высших учебных заведений позволит создать насыщенную образовательную среду и ступенчатую систему подготовки мотивированных и заинтересованных в своем профессиональном развитии инженеров. Перспективной формой такого взаимодействия уже стало создание профильных классов инженерной направленности в учреждениях общего среднего образования под комплексным сопровождением технических университетов.

С целью повышения интереса молодежи к инженерным профессиям Министерством образования Республики Беларусь были предложены меры по созданию инженерных классов на базе учреждений общего среднего образования. Так, с этого учебного года в белорусских школах открылись первые инженерные классы. Министерство образования Республики Беларусь определило Белорусский национальный технический университет координатором данного проекта. Связано это отчасти с тем, что в течение 2022/2023 учебного года БНТУ успешно осуществлял взаимодействие со школами города Минска для реализации факультативных занятий «В мире техники и технологий: выбираем инженерную профессию». С 1 сентября 2023 года в школах Беларуси для учащихся десятых классов открылись 237 профильных классов и групп, в которых изучаются основы технических наук, где обучаются более 2500 ребят. Белорусским национальным техническим университетом заключено более 70 договоров с учреждениями общего среднего образования страны.

В процессе обучения ребята посещают вузы инженерного профиля, где получают не только теоретический, но и практический опыт. Например, с 15 сентября в Белорусском национальном техническом университете для учащихся инженерных классов организованы экскурсии по Научно-технологическому парку БНТУ «Политехник» и кампусу университета. Ребята с энтузиазмом знакомятся с факультетами, процессом обучения и научно-технологическими исследованиями вуза. Отметим, что проведение подобных экскурсий запланировано до конца октября.

Также с сентября в БНТУ для учащихся стартовал блок практических занятий. На них ребята из школ и гимназий города Минска и области осваивают принципы работы в программах по 3D-моделированию и развивают пространственное мышление.

Организация классов инженерной направленности прежде всего выполняет не только функцию популяризации инженерного образования, а непосредственно организации непрерывной подготовки будущего инженера.

В системе взаимодействия «школа – университет» необходимо отметить особую роль Национального детского технопарка. Учреждение реализовывает программу поддержки одаренной молодежи, и уже традиционно выпускники технопарка рассматриваются как самые перспективные абитуриенты для каждого университета. С этого года выпускники детского технопарка зачисляются на основе рекомендаций наблюдательного совета без вступительных испытаний в соответствующие университеты.

Другим важным аспектом непрерывной подготовки инженерных кадров является участие предприятий реального сектора экономики в данном процессе. И здесь особое место уделяется вопросу организации производственных практик и процессу взаимодействия университета с промышленными предприятиями – заказчиками кадров, которые заинтересованы в мотивированных специалистах. Ежегодно БНТУ заключает более 3500 договоров об организации преддипломной практики и более 6000 договоров об организации производственной практики по специальности.

В среднем производственную практику в организациях – заказчиках кадров проходит около 13 000 студентов. Количество организаций, в которых проходят практику обучающиеся, достигает 4000. Студенты проходят практики на таких предприятиях, как ГПО «Белэнерго» (в том числе филиалы), Минский автомобильный завод, «Беларуськалий», Минский тракторный завод, Таможенный комитет Республики Беларусь, Минский моторный завод, «Белгорхимпром» – 124 человека, ГП «Минсктранс» (в том числе филиалы), Минский завод колесных тягачей – 119 человек, Минский завод шестерен – 67 человек, БЕЛАЗ, Минский электротехнический завод имени В. И. Козлова, «Интеграл», Белорусская атомная станция, строительные организации и так далее.

Организация филиалов кафедр БНТУ в производственных условиях направлена прежде всего на повышение профессиональной подготовки будущих специалистов, ознакомление студента с будущим местом своей работы и функциональными обязанностями, реализацию траектории обучения. Филиал кафедры на производстве является важной формой сотрудничества учреждения высшего образования с работодателями и создается в целях улучшения качества подготовки квалифицированных специалистов.

На передовых предприятиях и организациях Республики Беларусь, в институтах Национальной академии наук Беларуси функционирует более 100 филиалов кафедр БНТУ. Среди них – Минский автомобильный завод, Минский тракторный завод, Минский завод колесных тягачей, АМКОДОР, Минский моторный завод, «Белгорхимпром», «Мингаз», Научно-производственный центр многофункциональных беспилотных комплексов Национальной академии наук Беларуси, Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси, Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси и многие другие организации.

Деятельность филиалов кафедр на современном этапе направлена на модернизацию содержания инженерного образования и согласование учебно-

программной документации, улучшение качества научно-методического обеспечения, рецензирование учебных изданий и электронных учебно-методических комплексов, совместную научно-исследовательскую деятельность, проведение учебных занятий и практик на филиалах кафедр, руководство дипломным и курсовым проектированием, проведение совместных конференций, подготовку диссертаций и многое другое.

Так, к примеру, открытие в феврале 2022 года на Минском автомобильном заводе совместного учебно-практического центра МАЗ – БНТУ позволило расширить сотрудничество промышленного гиганта и Белорусского национального технического университета. Современная учебная база (интерактивный компьютерный класс, аудитория для теоретического обучения, лабораторная зона) и привлечение к образовательному процессу опытных специалистов МАЗ позволяет будущим инженерам погрузиться в реалии конструирования грузовых автомобилей, автобусов, сложных мехатронных систем.

Зарекомендовала себя и такая форма взаимодействия с представителями реального сектора экономики, как выполнение конкурсных, курсовых и дипломных работ по заказам государственных органов и предприятий. Например, ежегодно архитектурный факультет получает множество предложений и просьб о включении в курсовое и дипломное проектирование вопросов архитектурной проработки отдельных городских территорий, спортивных площадок, зон отдыха, объектов благоустройства и тому подобного. Созданные в итоге архитектурные решения проходят серьезную приемку и находят практическое воплощение. Так, студентами архитектурного факультета по заказам Минскэнерго и объединения «Минскмелиоводхоз» были разработаны и представлены десятки творческих идей по оформлению трансформаторных подстанций, которые были реализованы после отбора на конкурсной основе.

Также сегодня, как показывает практика, одним из путей объединения усилий вузов в деле подготовки специалистов является создание сетевых образовательных программ и структур. На данный момент БНТУ реализует около 100 совместных образовательных программ с вузами различных стран, что позволяет предложить и сделать доступным обучение в БНТУ для большего числа студентов и укрепить межуниверситетские взаимодействия в культурной и научно-технической сферах.

Сотрудничество Белорусского национального технического университета с вузами Российской Федерации относится к приоритетным направлениям белорусско-российского взаимодействия и служит фундаментом развития торгово-экономических, научно-технических и социально-культурных отношений.

Сегодня в рамках Союзного государства создана необходимая основа для взаимодействия в образовательной и научно-технологической областях. Белорусский национальный технический университет установил тесные контакты с ведущими российскими вузами в области обучения, организации стажировок, повышения квалификации, выстроив для этого единую цепочку непрерывной системы образования.

Белорусский национальный технический университет ведет активное сотрудничество по подготовке инженерных кадров с Нижегородским государственным техническим университетом имени Р. Е. Алексеева, Ижевским

государственным техническим университетом имени М. Т. Калашникова, Псковским государственным университетом, Московским инженерно-физическим институтом, Томским политехническим институтом, Санкт-Петербургским горным университетом и рядом других вузов Российской Федерации.

Так, сотрудничество с опорным вузом Российской Федерации – Нижегородским государственным техническим университетом имени Р. Е. Алексеева – направлено на подготовку кадров для атомной энергетики Беларуси. За годы партнерства налажен регулярный обмен студенческими группами, научными и преподавательскими кадрами.

Благодаря сотрудничеству с Санкт-Петербургским горным университетом ежегодно студенты факультета горного дела и инженерной экологии принимают участие в этапе международных летних школ Международного центра компетенций в горнотехническом образовании, проводимых на базе Санкт-Петербургского горного университета. Образовательная программа включает лекционные и практические занятия, мастер-классы, лекции престижа, семинары, тренинги, производственные экскурсии.

В августе этого года БНТУ присоединился к Межвузовской студенческой инженерно-технологической кооперации, подписав соглашение с МГТУ имени Н. Э. Баумана, и стал первым иностранным участником этого проекта. Соглашение между университетами предусматривает совместное проведение исследований, подготовку специалистов и научно-педагогических кадров в сферах перспективных технологий, организацию и управление инновационными наукоемкими производствами в автомобилестроении на основе интеграции научного и научно-педагогического потенциала.

Студенты автотракторного факультета БНТУ уже приступили к работе над моделью машины «родстер», с которой в дальнейшем смогут принимать участие в соревнованиях и выставках. На данном этапе наши ребята пока делают первые шаги в области проектирования такого необычного для нас объекта. Они создали цифровую модель рамы родстера, работают над дизайном и компоновкой, впереди у них еще очень большой, но в то же время интересный путь.

В сентябре 2023 года в Великом Новгороде прошел финал первого в России чемпионата высоких технологий. Республику Беларусь и Белорусский национальный технический университет в частности представляли команды факультета транспортных коммуникаций (компетенция – «Геопространственная цифровая инженерия»), факультета информационных технологий и робототехники (компетенция – «Летающая робототехника»), а также учащиеся филиала БНТУ «Минский государственный архитектурно-строительный колледж» (компетенция – «Технологии развития городов и территорий»). По итогам чемпионата представители БНТУ удостоены серебряных наград в своих компетенциях в международном зачете. На встрече с победителями Президент Российской Федерации Владимир Владимирович Путин заявил, что чемпионат станет ежегодным, и я надеюсь, что наши представители станут его постоянными участниками и призерами.

По поручению президентов Беларуси и России Белорусский национальный технический университет совместно с Псковским государственным университетом реализует проект «Школы по инженерным наукам Союзного государства»,

целью которого является укрепление связей между молодыми инженерами и углубление взаимодействия академических кадров двух государств. Проект «Школы по инженерным наукам Союзного государства» прошел в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого, Псковском государственном университете и Новгородском государственном университете имени Ярослава Мудрого.

Белорусский национальный технический университет и Псковский государственный университет объединили свои усилия для решения стратегической задачи – модернизации станкостроения Союзного государства. Сегодня на базе двух университетов и пяти высокотехнологичных компаний создана «Передовая инженерная школа гибридных технологий в станкостроении Союзного государства» с целью подготовки межотраслевого инженера-2030, способного создавать новые знания, технологии и продукты в области станкостроения через систему повышения квалификации и переподготовки в вузы Евразийского экономического союза. В рамках этой школы разрабатываются и создаются уникальные мехатронные и роботизированные системы для цифрового производства с целью возрождения станкостроения Союзного государства. Подробное сообщение о нашей работе сегодня сделает ректор Псковского государственного университета Наталья Анатольевна Ильина.

Мне приятно отметить, что наше сотрудничество не ограничивается только сотрудничеством университетов России и Беларуси., и наш Форум тому самое яркое подтверждение. Сегодня в работе Форума принимают участие представители из Зимбабве, а делегации представителей университетов из Узбекистана стали нашими постоянными участниками, и это вовсе не случайно. На текущий момент БНТУ заключил и активно поддерживает более 100 соглашений о сотрудничестве с узбекскими партнерами. Только за последний год было заключено более 20 новых соглашений о взаимовыгодном сотрудничестве. Как результат, созданы совместный Белорусско-Узбекский межотраслевой институт прикладных технических квалификаций в городе Ташкенте и совместный факультет между БНТУ и Ташкентским государственным транспортным университетом. Такое сотрудничество получило высокую оценку со стороны профессорско-преподавательского состава, и решением Совета нашего университета ряд руководителей университетов Узбекистана стали почетными профессорами нашего университета. Вчера прошло еще одно вручение: почетным профессором стал ректор Ташкентского государственного транспортного университета Одил Каландарович Абдурахманов.

Не остаются без внимания вопросы трудового воспитания и получения практических навыков студентами, которую мы с узбекскими партнерами реализуем через совместные студенческие отряды. Первый студенческий отряд был организован совместно с Ташкентским государственным техническим университетом имени Ислама Каримова в 2019 году. В 2023 году в соответствии с соглашением о сотрудничестве между Белорусским национальным техническим университетом и Национальным исследовательским университетом «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» студенты факультета энергетического строительства БНТУ были направлены в город

Ташкент, где в составе студенческого отряда прошли производственную практику на строящихся объектах «Нижне-Чаткальская ГЭС» и «Пскемская ГЭС».

Одним из важнейших направлений сотрудничества является научно-техническое сотрудничество. Ученые совместно реализуют гранты международного конкурса, организованного Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований и Министерством инновационного развития Республики Узбекистан, выполняются совместные научно-технические проекты, результатом которых являются совместные научные статьи, индексированные в международных наукометрических базах, а также осуществляется коммерциализация научных разработок. Так, в ноябре 2021 года в результате сотрудничества Научно-технологического парка БНТУ «Политехник» и узбекской компании Akbars Pharm в Узбекистане зарегистрировано совместное предприятие ООО «ТашБелМед» для выпуска высокотехнологичной продукции на территории Республики Узбекистан. На базе этого совместного предприятия организовано производство медицинских изделий для травматологии.

Не остается без внимания и развитие общественно-культурных связей. В мае 2022 года в городе Ташкенте был открыт Центр белорусской культуры и образования в Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова, и уже в декабре 2022 года в БНТУ состоялось торжественное открытие Центра узбекской культуры и образования при БНТУ.

Также мы надеемся на развитие плодотворного сотрудничества с Зимбабве, которое получило импульс во время январского рабочего визита нашего Президента в Хараре в январе 2023 года. Среди множества достигнутых тогда договоренностей меморандум о сотрудничестве подписали и министерства образования наших стран, и совсем недавно в БНТУ были приняты на обучение первые граждане.

Хочется отметить и такую плодотворную форму развития международного сотрудничества, как проведение форумов ректоров и участие в консорциумах. Форумы ректоров университетов России и Беларуси стали весьма эффективными по развитию научного и образовательного сотрудничества. В частности, благодаря таким встречам наш университет прорабатывает возможность создания резидента своего Научно-технологического парка «Политехник» в Инновационном научно-технологическом центре «Воробьевы горы» Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова.

Благодаря активной позиции Министерства образования Республики Беларусь только за последнее время прошли форумы с ректорами Кубы, Таджикистана, заседание Научно-образовательного консорциума высших учебных заведений и научно-исследовательских институтов Республики Беларусь и Республики Казахстан. Позавчера состоялся и первый Форум ректоров университетов Республики Беларусь и Республики Узбекистан. Такая форма взаимодействия и развития международного сотрудничества через взаимодействие образовательных учреждений способна решать задачи интернационализации, поддерживать конструктивные взаимоотношения между университетами разных стран, способствует взаимовыгодному использованию потенциала высших учебных заведений стран – участников форумов, реализации совместных научных и образовательных проектов, развитию академической мобильности.

В марте 2023 года представители БНТУ приняли участие в Российско-белорусском форуме студенческих СМИ «Индустрия медиа», который прошел в Псковском государственном университете. В мероприятии приняли участие делегация Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, ректоры и проректоры 20 российских и белорусских вузов, 100 представителей молодежных университетских медиа.

Знаковым событием стало подписание соглашения о создании консорциума «Российско-белорусский университетский союз "Вместе"» во время Форума студенческих медиа. В объединение вошли Псковский государственный университет, Белорусский национальный технический университет, Витебский государственный университет имени П. М. Машерова и Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины.

В рамках реализации межправительственного соглашения между Республикой Беларусь и Удмуртской Республикой в мае 2003 года в честь 58-й годовщины Победы в Великой Отечественной войне была проведена первая патриотическая международная акция «Легкоатлетический пробег "Минск – Ижевск"», которая стала ежегодной. Она направлена на патриотическое воспитание, популяризацию легкой атлетики и здорового образа жизни среди студенческой молодежи двух стран. В этом году БНТУ продолжил добрую традицию, дал старт пробегу в Минске, и делегация БНТУ направилась по маршруту пробега в наши партнерские университеты через Нижний Новгород в Ижевск.

В ноябре 2022 года Белорусский национальный технический университет принял делегацию из числа студентов, магистрантов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава Санкт-Петербургского горного университета, которые участвовали в матчевых встречах по волейболу, баскетболу, минифутболу, открытом Кубке БНТУ по плаванию в рамках студенческой спартакиады БНТУ, посещали профильные машиностроительные предприятия. И сегодня мы рады приветствовать многочисленную делегацию партнерского Горного университета.

Белорусский национальный технический университет в преддверии Дня Победы присоединился к Всероссийской патриотической акции «Научный полк», цель которой – рассказать о вкладе научных коллективов в Победу над врагом, а также о том, как развивалась наука в годы войны, и ее восстановлении в послевоенное время. В рамках реализации проекта выпускается серия публикаций – историй о студентах, преподавателях и ученых, которые в годы Великой Отечественной войны своим подвигом и храбростью внесли значительный вклад в приближение Победы.

Говоря о подготовке инженерных кадров высокого уровня, хочется отметить, что мы видим дальнейшей траекторию профессионального движения молодых людей через призму инженерных классов, Национальный детский технопарк, высшее образование, университетский научно-технологический парк в направлении создания собственного высокотехнологичного бизнеса, а также новых рабочих мест с высокой добавленной стоимостью. Эта траектория сегодня доступна всем желающим для реализации в Белорусском национальном техническом университете, поскольку технологический парк нашего университета уже более 30 лет занимается коммерциализацией технических разработок на высоком уровне.

Новое поколение специалистов должно владеть классическим набором знаний, а также иметь навык их коммерциализации для создания различного рода стартапов и развития из них успешного бизнеса. Например, для этого в учебную программу БНТУ введены специальные дисциплины по развитию культуры молодежного предпринимательства и предпринимательской инициативы, которые преподают практикующие предприниматели с большим опытом. С первого курса у студентов есть возможность узнать и продемонстрировать свои способности, реализовать свои перспективные идеи и даже открыть собственное предприятие в Научно-технологическом парке БНТУ «Политехник». Обучаться и развить навыки, необходимые для разработки и производства новых продуктов, студенты могут на базе лаборатории быстрого прототипирования FABLAB. Сегодня резидентами технопарка являются более десятка предприятий, которые выросли из университетских стартапов.

Поэтому, говоря о конкурсе стартап-проектов в рамках Форума, стоит отметить, что он направлен на стимулирование реализации перспективных молодежных инновационных проектов, содействие в поиске инвестиционной поддержки, коммерциализации результатов научных исследований и разработок. Уверен, что данное мероприятие станет отправным пунктом для разработчиков и молодых исследователей на пути реализации и внедрения в реальный сектор экономики своих проектов.

Белорусский национальный технический университет подчеркивает крайне важную роль Форума в развитии интеграционных процессов в образовательной и научной сферах, которые позволяют сформировать взаимовыгодные партнерские отношения в вопросах непрерывной подготовки кадров будущего, создания совместных высокотехнологичных и инновационных производств.

Я очень рад, что в работе Форума участвуют представители общественности, учреждений науки, культуры и образования, благодаря успешной и плодотворной работе которых реализуются новые творческие идеи, происходит углубление интеграции в строительстве Союзного государства. Наши совместные усилия в этой сфере являются стратегическим вкладом в будущее.

Форум, который мы сегодня открываем, предоставляет возможность расширить свои горизонты, поделиться своими идеями с коллегами и найти новые пути для своего профессионального роста. Вузы – участники Форума – это центры знаний и опыта, и я призываю вас активно взаимодействовать с нашими коллегами, находить новые пути сотрудничества и вместе строить будущее в области инженерии и технологий.

Желаю участникам Форума успехов и творческого подхода в деле развития образовательного и научно-технологического сотрудничества, конструктивного диалога и партнерства, плодотворной работы и реализации новых творческих идей и выражаю уверенность в том, что ученые, преподаватели и студенчество наших государств внесут реальный вклад в развитие Союзного государства и всех стран-участников!

ПОДГОТОВКА НАУЧНЫХ КАДРОВ ДЛЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ЭКОНОМИКИ

Чижик С. А.,
академик НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор

Уважаемый высокий президиум, уважаемые участники! Я сегодня выступаю от имени Белорусского национального технического университета. Несмотря на то что работаю и все силы отдаю работе Национальной академии наук Беларуси, нахожу еще немного сил, чтобы участвовать в подготовке инженерных кадров в БНТУ. Тема, я ее немного сузил, не просто инженерных кадров, а именно инженерных кадров для наукоемких отраслей экономики звучит актуально, особенно в условиях санкций, ограничений. Мы все время ставим вопрос: «Как дальше жить? Как сохранить вот эту технологическую самостоятельность?», – и решительно беремся за импортозамещение. Да, можно построить заводы, можно создать инфраструктуру. Несмотря на ограничения мы приобретем оборудование, нет сомнений, у нас будут современные конвейеры. Когда речь о специалистах, здесь, конечно, немного сложнее, поскольку мы знаем о демографических условиях, условиях старения кадров, условиях утечки специалистов. Все не так просто. Я хочу спуститься на уровень немного ниже. С этой трибуны мы все обо всем говорим правильно, но дела все делаются на кафедрах, что и как там происходит, какие там есть проблемы.

Конечно, очевидна озабоченность, сегодня я утром, собираясь, собственно, на Форум, посмотрел на российском новостном канале информацию о развитии видеоигр в России. Все это необходимо. Но прозвучала такая фраза: «Индустрия видеоигр станет кузницей кадров для экономики». Если мы будем надеяться на эту кузницу, то наша надежда на высококвалифицированных специалистов может остаться иллюзией и растянуться на долгие годы, потому что подготовка инженера – сложный длительный комплексный процесс. И здесь, конечно, одними такими игровыми вещами не возьмешь.

В чем еще сложность подготовки кадров для наукоемких отраслей? Нам приходится работать в условиях приобретения компетенций. Часто преподаватель сам не знает и до конца не понимает, не имеет компетенций для этих отраслей, и тут процесс обоюдный: обучение и преподавателя, и, конечно же, студента. Это усложняет вопрос. Сейчас мы все понимаем, что обучение инженерным кадрам направлено на ту экономику, от которой мы ждем отдачи, самостоятельности. Здесь на примере одного из кластеров показаны эти три платформы: предприятия, институты НАН Беларуси, учреждения образования. Мы в советское время восхищались той системой образования, которую, например, дает МФТИ (Московский физико-технический институт). Те кадры, которые там готовились, с третьего курса проходили работу в научных лабораториях. Это были всегда ожидаемые люди в научных лабораториях, люди с прекрасным знанием иностранных языков. Они быстро защищали диссертации и становились лидерами в науке. Сегодня, когда мы говорим о наукоемких отраслях, необходимо учитывать этот опыт и его перенимать.

Вот, допустим, технология Индустрии 4.0. Какие навыки, знания должен иметь инженер? Безусловно, это межотраслевые знания. Тут намникуда не уйти от цифровых технологий (компьютерное моделирование, цифровые двойники, облачные технологии, искусственный интеллект, большие данные, аддитивные технологии, технологии виртуальной дополненной реальности, суперкомпьютерные технологии). Видите, все выведено вроде как на цифровые компьютерные вещи. Сюда надо было бы добавить еще нравственно-этические принципы, потому что инженер, обучаясь, должен понимать, что следует на передний план выдвигать не свои личные интересы, высокую зарплату, но думать об интересах общества, государства. Это обязательный элемент подготовки таких кадров, чтобы не происходило утечки трудовых ресурсов. Здесь тоже схема показывает, что требуется взаимоувязка по разработке цифровых двойников, которые, собственно, сегодня могут смоделировать машину, процесс ее эксплуатации (если брать автомобиль, это краш-тесты, производство, аналитика). Круг замыкается.

Сегодня мы многое умеем. Были упомянуты наши институты: Объединенный институт машиностроения, где прекрасно это все делается, но я хочу продемонстрировать микроуровень. Вот здесь приведена диаграмма, которая показывает тренды, тот мир, в котором мы живем, такой метрический мир. Сегодня в Беларуси это глобальные машины: БЕЛАЗ – чемпион мира по Книге рекордов Гиннеса (450 тонн). В природе происходит то же самое. Это тот же человек, крупные животные. Далее. Это тот мир, в который проникают сегодня технологии. Технологии МС, микрометрический мир, когда размер машин деталей вкладывается в сотни микрометров, это десятая доля миллиметра. Далее. Животное в природном мире. Это насекомое, клетка, биологическая клетка, и вот есть я, поставил стрелки, которые выводят этот микромир на уровень машин. Сегодня ни одна машина не обходится без таких современных сенсоров, датчиков без ума. Смарт-машина не будет конкурентной на рынке, а в природе от жизнедеятельности этих клеток биологически зависит здоровье и функции нашего организма. Поэтому сегодня буду говорить об этом микромире.

И у нас в стране, и в нашем Союзном государстве совсем недавно обсуждалась проблема микроэлектроники. Наши «доброжелатели» решили перекрыть кислород. Я понимаю, мы все понимаем, что это козырь в их рукаве – держать электронику за высоким забором, потому что это сложно, это тонко, это очень денежно. Выйти туда чрезвычайно непросто, но нужно. Вот здесь, на этой схеме, показаны некоторые направления развития электроники, которые были выделены.

Я обвел красным разработку датчиков-микросенсоров для роботизированных систем широкого применения, в том числе МЭМС-датчики. МЭМС – это микроэлектромеханические системы. Это то срочное, что мы можем потянуть, потому что наша индустрия нацелена на микроэлектронику, здесь применяются планарные технологии. Да, это не нанотехнологии, это не выход на десятки нанометров, но это уверенная работа в области микрометров и оборудования для таких технологий. И вот поэтому МЭМС-датчики, сенсоры могут быть созданы на базе той структуры, которая уже сложилась. Но здесь тоже надо сильно поработать, поскольку традиции пока, скажем прямо, отсутствуют. Да, мы их набираем. Да, наше предприятие, ведущее предприятие «Интеграл», имеет это оборудование, эти технологии. «Планар» делает оборудование для таких технологий.

Но вот в 2007 году я опускаюсь на уровень кафедры. По инициативе ректора академика Хрусталева Бориса Михайловича была создана кафедра в 2007, кафедра микро- и нанотехники. На первых порах казалось: это что-то может и надумано. В седьмом году. Но мы взялись. Член-корреспондент Дмитрий Михайлович, я, мы взялись создавать кафедру, и вот, надо сказать, что мы немножко угадали, мы ее оснастили лабораторным оборудованием атомно-силовыми микроскопами. Они разработаны у нас в Беларуси, мы их поставили в БНТУ совсем за маленькие деньги: шесть таких приборов по цене одного. И вот сегодня уже больше 15 лет эта техника имеет допуск. Каждый студент, обучающийся на кафедре, имеет доступ, проходит лабораторные курсовые работы, таким образом они открывают дверь в наномир. Вот эти микроскопы позволяют увидеть наномир, измерить, представить в 3D-форме. Кроме того, эти приборы позволяют не только увидеть, но потрогать этот наномир, пощупать, сравнить количественно, понюхать, даже есть датчики типа «искусственный нос». Мы работаем, чтобы и озвучить наномир. Здесь стучу так, а здесь вот так. Видите, звук разный, вот в наномире то же самое.

Таким образом, очень важно, чтобы мы пробуждали интерес, интерес того же студента к работе с этими тонкими вещами. Они могут загораться, зажигаться, это уже важно. Эти специалисты, честно говоря, – уникальные люди, которые обладают навыками работы на таких приборах, что в мире ценится. Здесь показана специальность: наши выпускники работают на тех предприятиях, которые я упомянул, это, конечно, ОАО «Интеграл», ООО «Планар», в целом ряде институтов Академии наук, конструкторских бюро машиностроения, материаловедения. Места для распределения выпускников имеются, и, в принципе, подготовкой выпускников мы довольны. Они двигаются, уже многие защитили диссертации. Вот буквально недавно, понимая ответственность момента вопроса, скорректировали новую специальность – «технологии микросенсорных систем». Как готовить этих людей? Конечно же, нужна техника, нужно оборудование. Мы создали буквально не так давно, в 2019 году, отраслевую научно-исследовательскую лабораторию инновационных приборов МЭМС-технологий. Значит, она оснащена. Мы сегодня получили целый ряд приборов. Вот здесь перечислены наиболее крупные приборы: установки монтажа контроля выводов, установка присоединения кристаллов элементов поверхностного монтажа, установка лазерной обработки. Вот, допустим, установка лазерной обработки, лазерная литография. Сегодня можно создать систему микродатчиков на этой установке. Да, она не сильно производительна, но необходима для приобретения навыков. Сегодня с помощью студентов мы изучаем поведение лазерной обработки на разных типах материалов.

Кроме того, сегодня много было сказано о филиалах кафедр. Сергей Васильевич упомянул как важнейший фактор обучения. Мы на своей кафедре создали четыре филиала, как на «Интеграле», так и на «Планаре», два филиала в институтах НАН Беларуси. Филиалы позволяют проходить практику, обучаться. Конечно же, они готовят кадры для себя. Безусловно, представители этих организаций работают преподавателями на кафедре, по одному-два представителя с каждого филиала, что тоже очень важно, потому что это люди с опытом, они приходят, они уже знают, о чем идет речь, они развивают, создают эту технику.

Мы ценим такой подход, такую возможность. Вот, например, я сейчас покажу, какие возможности дает, допустим, НИИ радиоматериалов. Во-первых, вот это их направление работы: это СВЧ монолитные интегральные схемы, микроэлектромеханические чувствительные элементы, те же МЭМС, полупроводниковые пластины на базе новых материалов и другие материалы, которые перспективны в электронике. Научно-исследовательский институт радиоматериалов смог создать небольшое мелкомасштабное производство, скажем, 1000 таких датчиков в сутки. Здесь показаны результаты 2022 года. Это те датчики для машиностроения, для станкостроения, которые необходимы и могут сделать эти приборы конкурентными. И, обучая наших студентов на таких примерах, мы готовим для этих предприятий также специалистов. Здесь показаны эти элементы уже с помощью микроскопов: это «Микромед», контроль газового состава атмосферы, кремниевые чувствительные элементы для акселерометров, датчики скорости, датчики ускорения, угла наклона, кремниевое сопло для медицинских ингаляторов, двухрамные гироскопы, элементы, датчики теплового потока – все это возможно сделать на базе НИИ радиоматериалов. И всему этому обучаются студенты. Это только 2022 год. Конечно, будет движение вперед, конечно, появятся новые изделия и навыки. То, что я сказал, – приобретение компетенций – идет одновременно с обучением. Еще важный элемент. Мы сотрудничаем с Центром по материаловедению. У них есть своя фишка; фишка – это создание электроники, защищенной от радиационных воздействий электромагнитных полей. Это очень востребованные подходы сегодня. Четыре года назад ушел аппарат на Меркурий, японцы его подняли, запустили вместе с Европейским союзом. Так вот, электромагнитная защита на этих аппаратах стоит наша, белорусская. Уже имеются первые кадры с Меркурия, 4 года летел. Мы получили хорошие заказы от Российской Федерации, потому что в условиях спецтехники, космической техники это все очень важно. Вторая лаборатория на базе Института тепло- и массообмена, лаборатория нанопроцессов. Это вот наши микроскопы белорусские, атомно-силовые микроскопы. По существу, работы в наномир дают нам информацию о материалах, о структуре материалов, геометрии. Обработка до атомарного уровня. Сегодня нужны атомарные гладкости, где отклонение по высоте не превышает единицы, десятые доли нанометра. Это единицы атомов. Есть техника американская. Сравниваем – ничем не хуже. Нам, в принципе, надо двигаться, надо развиваться. Вот то же оборудование для наноинженерии поверхности. Технология BL – мы можем создавать покрытие молекулярной толщины, причем регулировать толщины, один молекулярный слой, два, три, можно управлять этими вещами. Тоже создавать оборудование, как свое, так и импортное для контроля. Вот это контроль с помощью микроскопа. Робот в наномире. По свойствам также наноинденторы, в данном случае это «Брукер» США. Это локальное, индентирование на наномасштабе на площадках в десятки нанометров скретчинг, да, износостойкость, как сегодня звучало, важный момент. Износостойкость на этом малом уровне тоже очень важна, поскольку это часто незаменимые вещи, они должны служить, скажем, десятилетия без замены и без смазки. Конечно, я много мог бы еще говорить об оборудовании, которым обладают «Интеграл», «Планар». Это тоже задействуется в процессе обучения. Вот уже, в принципе, с привязкой на будущую работу выпускников. Важный момент –

участия в конференциях. Здесь я показал свою конференцию по методологическим аспектам; но на приборостроительном факультете есть своя очень мощная конференция по приборостроению. Выпускается также журнал приборостроения. Факультет тоже дает возможность публиковаться и сделать первые шаги в науку. Это та же инфраструктура, а дальше преподаватели. Здесь есть тоже целый ряд проблем, и я хочу показать данные, которые мне буквально вчера дали в Высшей институционной комиссии Республики Беларусь. Вот спор между лириками и физиками. Да, физики, технари, они всегда имели массу нюансов, и вот здесь количество советов по защите. Мы видим, технические науки больше всего – 28 советов. Да, вроде как тут внимание к точным наукам высокое, тогда перейдем к следующей диаграмме. Видите, количество по защитам. Синий цвет – это гуманитарии науки, они лидируют по количеству защит, вот лирики выигрывают. Так это хорошо, мы не спорим. Может это и правильно, но почему, почему при большом количестве советов защит больше все-таки гуманитариев? Потому что у технарей много соблазнов, они уходят за зарплатой, они могут уходить в мир информатики, работать с программистами, зарабатывать деньги по-другому, они более востребованы, и не хотят они упираться, защищать, потом приходить преподавателями. Это ключевой вопрос. Чтобы получить специалистов, которые будут готовить инженерные кадры, нужно своих защитить либо найти и привлечь, вот это вопрос. Вот здесь детализация. Видим проигрыш, причем из года в год. Так немножко в 2022 году чуть-чуть получше, но все равно это отставание. Я, конечно, рецепты дать не могу и не раскрою секреты, но думаю, что, безусловно, то, что я сказал – совмещение усилий, образования, науки, производства, – это просто обязательный элемент, это остро необходимо поощрять совместительство. Я знаю, ходят мнения, что вот человек пришел, да не пришел он зарабатывать на этом совместительстве, он пришел подготовить себе будущее, оставить после себя учеников и преподавать. Причем это надо уже поддерживать на государственном уровне. Этих людей надо очень уважать, которые готовы сегодня прийти и еще поработать со студентами. Увлеченность с обеих сторон: «студент – преподаватель». Без увлеченности тоже ничего не будет здесь, надо зажигать и себя, и зажигать того, кого ты обучаешь. Персональный подход с возможностью подработать где-то по специальности. На этих предприятиях, то есть на предприятиях, которые заинтересованы в наших специалистах, должны дать возможность этим молодым людям не распыляться по «Макдональдсам», по кафешкам, там еще где-то подрабатывать. Они должны подработать именно по специальности на своих предприятиях. Вот я вижу в вот таких моментах рецепты, что делать. Спасибо за внимание.

ПИШ ГИБРИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТАНКОСТРОЕНИИ КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА

Ильина Н. А.,
ректор Псковского государственного университета,
доктор биологических наук, профессор

Уважаемые члены президиума, уважаемое академическое сообщество, уважаемые студенты! Моя задача сегодня – рассказать и привлечь, особенно молодых ученых, студентов, в одну из моделей, в одну из правильных практик, которую удалось сделать двум братским государствам: Российской Федерации и Республике Беларусь. Я постараюсь ответить на те вопросы, которые уважаемые члены президиума сегодня поставили: что нужно сделать академическому сообществу для того, чтобы повысить отраслевую принадлежность вузов? Что нужно сделать для того, чтобы экономики наших стран независимо от внешнего потока определяли сами повестку в технологическом развитии? Но самое главное – что сделать для того, чтобы профессия «инженер» звучала не в нашем возрасте, а в возрасте молодых студентов, студенчества города? «Передовая инженерная школа» – это проект, который родился не в одно мгновение. «Передовая инженерная школа» – это большая работа, которую мы делали вместе с Комитетом Союзного государства. Дмитрий Федорович, спасибо Вам огромное за поддержку, потому что в 2019 году, когда два лидера – Владимир Владимирович Путин и Александр Григорьевич Лукашенко – встретились и призвали академическое сообщество для создания интегративного пространства именно вузовского сообщества, они указали, что академическое сообщество в рамках своей основной деятельности образовательной повестки, исследовательской повестки и молодежной должно создать такие проекты, в которых бы объединились разные целевые группы и начался большой проект «летнего университета». Когда впервые 700 студентов Республики Беларусь приехали в 8 федеральных округов в 12 вузов Российской Федерации и не просто познакомились с инфраструктурой, с социальным пакетом, они увидели, какие образовательные программы, какие научные проекты можно реализовать совместно. И, начиная от «летнего университета» «зимней инженерной школы» большого консорциума российско-белорусских университетов, родился этот проект – «Передовые инженерные школы». Но, говоря о нем, нужно сегодня отметить, и я уже докладываю перед Министерством образования Республики Беларусь: мы создали этот консорциум. Сегодня каждый вуз каждого региона Республики Беларусь реализует с тем или иным вузом Российской Федерации реальный проект, который работает на межгосударственную повестку. Например, российско-белорусский исторический журнал входит в ВАК Российской Федерации, и там одна из рубрик – это проекты без срока давности, проекты геноцида над мирным населением оккупированных территорий, начиная от работ магистрантов, курсовых работ и заканчивая кандидатскими, докторскими диссертациями. Если говорить о лабораториях от естественнонаучного цикла до непосредственно больших высокотехнологичных лабораторий, сейчас этот консорциум создал уже пять лабораторий со своими

научно-педагогическими школами. Отвечая на вопрос по диссертационным советам, сегодня уже два российско-белорусских диссертационных совета поданы в ВАК Российской Федерации. Я надеюсь, что вот эта ста-тистика, о которой вы говорите, уважаемая Академия наук Беларуси, она будет повышаться. То есть мы не проблемы, мы задачи ставим и решаем. Я бы хотела отметить, что сегодня академическое сообщество имеет примеры и успешные практики выстраивания от проблемы к задачам. Два года назад Министерство науки и высшего образования Российской Федерации запустило большой проект под названием «Передовые инженерные школы»: 30 университетов доказали экспертному сообществу, индустриальному сообществу, что они готовы ответить на три вопроса. Какие три вопроса звучали на тот момент? Нужно было внутри университетов создать такие управленческие решения, в которые бы загружался, погружался абитуриент и выходил, как результат, уже готовый специалист, встроенный в ту или иную отрасль инженерии. Второе – индустрия должна получить готовый продукт, который здесь и сейчас разрабатывается академическим сообществом и студентами и уже встраивается в экономику в определенную отрасль. И третий вопрос. Мы не реинжинирингом должны заниматься, мы должны создавать новые технологии. И эта новая технология, она должна, по сути дела, предоставлять технологический суверенитет. Совместно с БНТУ, Сергей Васильевич, в Вашем лице, огромное спасибо Вам и Вашей команде, мы представили такой проект, который отвечал на три этих вопроса для тяжелого машиностроения для того, чтобы сделать производство для производств (неважно, самолеты ли мы строим либо микроэлектроникой занимаемся), нам нужны производственные мощности. Вот для того, чтобы ответить на этот вопрос, мы и собрали эту команду: БНТУ, ПГУ и еще два вуза присоединились как партнеры в реализацию этих технологий (производство – производство). Второе, что нужно было придумать, модель образовательного процесса, в которой абсолютно два государства своими национальными системами образования смогли дать образовательные программы, в которых студенты бы получали не просто два диплома, а сразу же на этапе получения профессии осваивали три уровня профессии: рабочую профессию, инженера-технолога и инженера-конструктора. То есть он, проходя через уровни, искал и находил себе место в трудоустройстве. Третий вопрос – на самом деле это создание научно-педагогической школы. Главное, о чем сегодня говорили уважаемые коллеги, – той научной педагогической школе, которая бы могла из тех 5 % кривой Гаусса взять ребят и вырастить их до высококлассных конструкторов. И последнее. Чтобы индустрия взяла этот продукт и создала как минимум российско-белорусское предприятие. Мы взяли такую фронтирную задачу мирового вызова – это так называемые гибридные станки или гибридные производства, когда сочетаем традиционные методы лазерной и фрезеровочной установок с плазменной и высокотемпературными технологиями. То есть наша задача была такая. Для этого мы поставили три задачи: не просто создать станок, а создать новое компьютерное сопровождение. Это раз. Создать непосредственно отдельные детали и создать технологии производства этих деталей по отношению к этому станку.

С одной стороны, создать передовую инженерную школу в административном порядке – это одно, а с другой стороны, сделать это в правовом финансовом

поле, которое существует в двух государствах – это отдельно. Вот это отдельное структурное подразделение в двух университетах мы выделили из обычных институтов и непосредственно факультетов и вывели в полуавтономное их плавание. Здесь три уровня управления. Есть исполнительный директор – руководитель «Передовой инженерной школы» Могучева Анна Алексеевна, которая является лидером в Российской Федерации по материалам, есть уважаемый Олег Георгиевич, который любезно согласился быть научным руководителем именно «Передовой инженерной школы».

Уважаемые коллеги, посмотрите: два ученых в разных странах создают единую школу и определяют единую повестку. В еженедельном режиме, в ежедневном режиме идет не просто научный поиск, а реализация этой «Передовой инженерной школы». По сути дела, Сергей Васильевич, наша с Вами роль в данном случае очень маленькая – не мешать и создать такую финансовую модель, чтобы ученые могли правильно отрабатывать свои задачи. Но здесь я бы еще хотела обратить внимание, уважаемые коллеги. В системе управления «Передовой инженерной школы» есть ровно два звена – академический совет или академический департамент. Это все, что касается образовательного трека, и здесь обращаюсь к Горному университету. На самом деле то, что сейчас в эксперименте участвует Горный университет, это благодаря Вашей школе мы начали в том году. И второй департамент – это научно-производственный департамент. Именно заказы, логика развертывания «Передовой инженерной школы», прикладное образование осуществляется у индустриальных партнеров, при этом индустриальные партнеры сразу двух государств – это Российской Федерации и Республики Беларусь. В Республике Беларусь – это «Рухсервомотор» и «СтанкоГомель», а в Российской Федерации – это большая компания АФК «Система» как инвестор развития «Передовой инженерной школы» и создание экосистемы на базе Псковского государственного университета. Мы хотели создать одну совместную образовательную программу, запустили шесть. Сегодня ребята Республики Беларусь и Российской Федерации учатся на шести образовательных программах. Мы хотели сделать одну зеркальную лабораторию, но уже получается три зеркальных лаборатории, в рамках которых сотрудники Беларуси и Российской Федерации – в едином коллективе. Мы хотели создать в данном случае одну экосистему на базе Псковского государственного университета, но я так понимаю, что получается сделать интегрированную экосистему, которая разделена на три блока: учебный цех, научно-производственный цех и непосредственно так называемая внеучебная деятельность (экосистема создания коворкинг-пространств). Вот что касается учебного цеха, все помещения и все оборудование, которое сегодня реализуется и устанавливается на базе ПсковГУ и на базе БНТУ, сразу приобретает смысл коллективного пользования. При этом с Сергеем Васильевичем уже достигнута договоренность, и я благодарю Министерство образования за поддержку, тот проект, который мы начали в том году, мы в этом году хотим привлечь и другие белорусские университеты. Уважаемые коллеги, мы приглашаем Вас в «Передовую инженерную школу» как партнеров, для реализации продуктов совместных или междисциплинарных по отношению к «Передовой инженерной школе». То есть те белорусские вузы, которые готовят специалистов в рамках станкостроения, в рамках тяжелого машиностроения, естественно,

в этом центре коллективного пользования могут получать доступ. Если говорить непосредственно о проектах научно-производственного цикла, то все предприятия, которые вошли, создали центры ПИШ у себя, и один раз в квартал ребята проводят там практические курсы от двух недель до месяца как в Беларуси, так и в Российской Федерации. Мы пошли дальше, и на то натолкнули нас на самом деле ребята: они говорили о том, что, с одной стороны, учебная деятельность – хорошо, здорово, что вы сразу же нас трудоустраиваете научными сотрудниками. Мы в данном случае здесь точно приняли, чтобы ребята от подработок ушли с Макдональдсов так называемых, а пришли именно к нам научными сотрудниками, инженерами, старшими лаборантами и лаборантами, именно в те структурные подразделения и в те научно-образовательные центры, которые мы создали в рамках «Пере-довой инженерной школы», и ребята с удовольствием пришли. Вы знаете, даже показатель по Псковскому государственному университету: увеличение числа молодых ученых, которое помогла создать «Передовая инженерная школа», не поверите, – на 30 %. Ровно за полтора года на 30 % увеличилось число ребят, которые не просто вернулись, они остались в этой системе, они готовы расти как инженеры, как инженеры-конструкторы, как инженеры-ученые. Средний возраст, мы понимаем. Если мы сейчас друг другу в глаза посмотрим, мы увидим средний возраст тех людей, которые создают новые знания, а наша задача, которую поставили наши лидеры, – не просто омолодить, а сделать это омоложение активным, мотивационным и умным. И, когда с ребятами встречаемся на различных мероприятиях, коворкингах, стартапах, когда мы обсуждаем, они сами приходят к варианту: «Наталья Анатольевна, а давайте вокруг себя создавать инженерную среду».

Один из проектов, который будет 18 ноября на базе Псковского государственного университета, это форум «Мосты Дружбы», где соберутся проректоры по Молодежной политике Республики Беларуси и Российской Федерации, и мы будем обсуждать стратегию молодежной политики Союзного государства. Наполнять ее мероприятиями будут ребята, представлять уже заготовленные проекты. Один из проектов – это не просто городская точка кипения, цифровая российско-белорусская библиотека в рамках «Передовой инженерной школы», которая уже сейчас реализуется и строится, а это проект «Российско-белорусский инженерный ландшафтный парк». Когда мы говорим об инженерных классах и детских технопарках, мы должны приучать не только детей, но и общество. Когда ты гуляешь по парку или идешь по улице, и тебе попадается детская площадка, или спортивная площадка, или летний кинотеатр, в котором транслируются фильмы, в котором детская площадка в виде шестеренок и так далее, то мы изменяем смыслы. Мы изменяем у населения на самом деле подход к инженерному образованию, что физика и математика – это интересно, а инженер – это профессия будущего. Вот такие проекты предлагают сами ребята. И я надеюсь, вместе мы это все сделаем. И, подходя к продукту, что на самом деле получит «Передовая инженерная школа». Здесь огромное спасибо «Рухсервомотор» в первую очередь и команде, которая работает под руководством Олега Георгиевича Девойно. Мы сдадим не к тридцатому году, уважаемые коллеги. В этом году мы защищаем конструкторскую документацию – это раз. Уже в этом году, не в двадцать четвертом, а в двадцать третьем году. А в двадцать седьмом году

мы дадим станок, который получит отрасль для того, чтобы отрабатывать другие различные задачи, то есть до 2030 года появится расширенная линейка уже не одного станка, а двух на одной технологической идее, это будет уже абсолютно другая линейка. И последнее, что бы мне хотелось сказать. Извините, предпоследнее. Вот здесь вот схема работы, как заходит студент и какой результат мы этому студенту формируем.

Мне отдельно хочется сказать в данном случае и о БНТУ, об этой схеме Сергей Васильевич говорил. В «Передовую инженерную школу» заходят не только абитуриенты, но и на базе СПО мы делаем эксперимент для Министерства просвещения Российской Федерации: как на базе средних специальных образовательных учреждений формируются инженерные классы, и уже с девятого либо с десятого класса они сразу же заходят в тематику «Передовой инженерной школы» и, посмотрите, специально идет определенная воронка, но из этой воронки студент не выпадает, в этой воронке студент получает профессию и трудоустраивается. Он может выйти из этой воронки, если его индустриальный партнер забрал. И неважно, в рабочей только профессии он вышел или стал инженером-конструктором.

И последнее, о чем бы хотелось обязательно сказать. Вы знаете, студенты настолько активные, что, помимо того, что они вокруг себя среду изменяют: парки делают, библиотеки создают или коворкинг, другие пространства, – и вместе с учеными встают на разработку технологий, ученые, наши студенты, еще обращаются с определенными идеями. На встрече 25 января наш студент «Передовой инженерной школы» после того, как был в БНТУ, здесь, на практическом модуле, обратился к Владимиру Владимировичу Путину с предложением: «Владимир Владимирович, поддержите не просто “Передовую инженерную школу”, которая образуется на базе двух университетов, а давайте эту практику распространим в рамках “зимней инженерной школы” на вузы Республики Беларусь и Российской Федерации». То есть все, кто готовит инженеров, могли бы в рамках так называемого интенсива образовательного знакомиться между собой, обмениваться технологиями и проходить те образовательные курсы, по тем компетенциям, которых нет еще в университетах. Владимир Владимирович обратился к лидеру Республики Беларусь. Естественно, Президент Республики Беларусь поддержал. Мы провели в том году эту школу, и эта школа теперь будет проходить ежегодно, когда уже отдельно и студенты-инженеры будут встречаться на базе инженерных школ Республики Беларусь и Российской Федерации и работать над большими идеями.

Уважаемые коллеги, с одной стороны, большие вызовы стоят, а с другой стороны, академическое сообщество должно перейти от простой подготовки кадров к пониманию, что каждый результат должен перейти к следующей парадигме своей работы. Именно университет как интеллектуальная кладезь, как центр, в котором соединяются студенты, преподаватели, управленцы, может стать драйвером развития территории, может стать драйвером развития страны и может на самом деле в рамках гуманитарного сотрудничества интегрировать научно-образовательное пространство.

УДК 338.45

Экосистема молодежного технологического предпринимательства в Республике Татарстан

Аппалонова Н. А., канд. экон. наук, доцент
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ
420111, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Аннотация. В работе представлен анализ развития Федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства» в разрезе Приволжского федерального округа на примере Республики Татарстан. Представлена точка отсчета развития университетского предпринимательства в виде создания Национальной технологической инициативы (НТИ). Раскрыта экосистема технологического предпринимательства Платформы университетского технологического предпринимательства. Выделены тенденции развития данной экосистемы.
Ключевые слова: технологическое предпринимательство, университетское предпринимательство, молодежное предпринимательство, рынки НТИ, тренинги предпринимательских компетенций, экосистема, стартап.

Ecosystem of youth technological entrepreneurship in the Republic of Tatarstan

Appalonova N. A.
Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI

Annotation. The paper presents an analysis of the development of the Federal project “University Technological Entrepreneurship Platform” in the context of the Volga Federal District using the example of the Republic of Tatarstan. The starting point for the development of university entrepreneurship is the creation of the National Technology Initiative (NTI). The technology entrepreneurship ecosystem of the University Technology Entrepreneurship Platform is revealed. The development trends of this ecosystem are highlighted.
Keywords: Technological entrepreneurship, university entrepreneurship, youth entrepreneurship, NTI markets, entrepreneurial competency training, ecosystem, startup.

Введение. Необходимо признать, что в России система массовой подготовки технологических предпринимателей переживает период своего становления. «Инноваторы» найдены, есть «ранние последователи», ожидается период бурного расцвета. Идеальной площадкой для старта бизнеса выступают университеты: наукоемкая среда, человеческий капитал, доступ к лабораторно-технической инфраструктуре.

Формирование успешной экосистемы университетского технологического предпринимательства требует целостного подхода, учитывающего интересы всех вовлеченных заинтересованных сторон и взаимосвязи между ними. К построению таких систем следует подходить с позиций обеспечения роста инновационного потенциала и конкурентоспособности предприятий, организаций, отраслей и комплексов национальной экономики на глобальных рынках.

Основная часть. В современных условиях необходимо осваивать новые глобальные высокотехнологичные рынки, борьба за лидерство на которых состоится на горизонте ближайших 20 лет в процессе цифровизации мировой экономики. Разработка таких видов рынка началась еще в 2014 году путем создания Национальной технологической инициативы (НТИ). НТИ – это объединение представителей бизнеса и экспертных сообществ для развития в России перспективных технологических рынков и отраслей, которые могут стать основой мировой экономики.

Большинство рынков будут иметь сетевую природу (наследовать подходы, которые существуют в Интернете, или использовать инфраструктуру Сети). Новые рынки будут ориентированы на человека как конечного потребителя, расстояние между производителем и потребителем на них будет минимальным.

Выбор рынков для НТИ осуществляется исходя из следующих критериев:

1. Рынок станет значимым и заметным в глобальном масштабе: объем составит более 100 млрд долларов к 2035 году.
2. На текущий момент рынка нет либо на нем отсутствуют общепринятые/устоявшиеся технологические стандарты.
3. Рынок предпочтительно ориентирован на потребности людей как конечных потребителей (приоритет B2C над B2B).
4. Рынок будет представлять собой сеть, в которой посредники заменяются на управляющее программное обеспечение.
5. Рынок важен для России с точки зрения обеспечения базовых потребностей и безопасности.
6. В России есть условия для достижения конкурентных преимуществ и занятия значимой доли рынка.
7. В России есть технологические предприниматели с амбициями создать компании-лидеры на данном высокотехнологичном новом рынке [1].
8. В таких условиях требуется формирование новых систем управления с инновационно-технологическим потенциалом, способных определять успешные сферы инновационной деятельности и стратегические направления социально-экономического развития. К подобным системам относятся экосистемы университетского технологического предпринимательства. Роль университетов в инновационном предпринимательстве возрастает в связи с выполнением ими важной миссии – трансфера знаний, инноваций и технологий из академических кругов в промышленно-коммерческую сферу. В частности, стартапы как наиболее динамичный элемент новой экономики представляют собой возможность попробовать свои силы и направить энергию молодых в технологическое русло, в котором количество перерастет в качество.

Федеральный проект «Платформа университетского технологического предпринимательства» направлен на раскрытие предпринимательского потен-

циала молодежи и подготовку профессионалов в области технологического предпринимательства. Цель федерального проекта – формирование плеяды серийных предпринимателей, людей, массово запускающих новые бизнесы. Ключевой показатель ФП – вывести в экономику из университетов 30 тыс. технологических предпринимателей к 2030 году.

Задачи проекта:

– масштабное вовлечение студентов в технологическое предпринимательство;

– формирование эффективной системы коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности;

– повышение инвестиционной привлекательности сферы исследований и разработок через создание предпринимательской платформы для серийного производства стартапов [2].

Экосистема технологического предпринимательства Платформы университетского технологического предпринимательства включает в себя следующие элементы:

1. Тренинги предпринимательских компетенций (МФТИ). Тренинги предпринимательских компетенций на базе современных игровых assessment-технологий направлены на массовую диагностику предпринимательских компетенций и раскрытие способностей у молодежи к предпринимательству. Цель: вовлечение учащихся вузов в технологическое предпринимательство. Формат тренинга – деловая игра. Предполагает широкое вовлечение участников и партнеров за счет сетевого принципа организации проекта. Предполагается 180 000 студентов – участников тренингов за 2022–2024 гг. Университет – тренинговая площадка (ТП) обеспечивает доступ к большому числу студентов инженерного профиля и вовлеченность в мероприятия по технологическому предпринимательству (опыт), наличие экосистемы. Университет-партнер – это университет, заинтересованный в формировании компетенций технологического предпринимательства.

2. Акселерационные программы (Платформа НТИ). Акселерационные программы на базе университетов призваны поддержать проектные команды и студенческие инициативы, а также усовершенствовать идею студенческих команд и усилить их компетенции. Программы состоят из лекций, воркшопов, нетворкинга, встреч с менторами и экспертами (в 2022–2030 гг.)

3. Предпринимательские точки кипения (Платформа НТИ). Предпринимательская точка кипения призвана развивать повестку технологического предпринимательства, собственные студенческие стартапы и команды, привлекать трекеров и менторов для студенческих проектов, повышать заинтересованность индустриальных партнеров. Обеспечивать доступ к широкому пулу экспертов, работать над привлечением инвесторов и индустриальных партнеров к лучшим стартапам, обеспечивать навигацию по грантовым программам и мерам поддержки.

4. Грант «Студенческий стартап» (ФСИ). Программа направлена на создание обучающимися ООВО стартапов, стремящихся разработать и освоить производство нового товара, изделия, технологии или услуги с использованием результатов собственных научно-технических и технологических исследований, находящихся на начальной стадии развития и имеющих значительный потенци-

ал коммерциализации. КНИТУ-КАИ стабильно входит в тройку лидеров вузов по количеству подаваемых заявок на данный конкурс.

5. Университетские стартап-студии (ФИОП). Стартап-студия – это «фабрика стартапов»: ориентирована на быструю проверку бизнес-идей и массовое «производство» новых компаний. Это не бизнес-инкубатор, акселератор или центр трансфера технологий. Бизнес-идеи дает технологический предприниматель-партнер, ФИОП или корпорация, понимая и используя компетенции университета (рис. 1).

Параметр	Стартап-студия	Бизнес-инкубатор	Акселератор	Центр трансфера технологий
Цель	Серийное создание успешных бизнесов	Формирование команд и проверка бизнес-идей	Прокачка команд	Коммерциализация РИД
Источник бизнес-идей	Команда студии и корпорации-партнеры	Фаундеры и команда инкубатора	Фаундеры	Фаундеры
Целевая аудитория	«Потенциальный предприниматель (без команды, без юрлица)»	Команда (предприниматель + команда, часто исследователи)	Стартап (предприниматель + команда)	Команда исследователей
Что получает ц. а.	Команда Бизнес-гипотеза + капитал на ее апробацию	Проверка бизнес-гипотез Обучение Доступ к инвесторам	Обучение Доступ к инвесторам	Обучение Доступ к заказчикам/ предпринимателям
Формат работы	Совместный new product development	Проектно-образовательная программа	Проектно-образовательная программа	Проектно-образовательная программа + консалтинг
Подход	Market pull	Technology push Market check	Market check	Technology push
Результат	Валидированный новый продукт + юрлицо	Презентация для инвестора/заказчика	Презентация для инвестора	Презентация для инвестора

Рис. 1. Анализ ключевых составляющих системы молодежного университетского предпринимательства

Стартап-студия дает возможность обучающимся и сотрудникам вуза получить опыт технологического предпринимательства с эффективной поддержкой и в безопасных условиях.

6. Возмещение инвестиций в университетские стартапы (Фонд «СКОЛКОВО»). Цель данного элемента экосистемы: стимулирование инвестиций физических лиц (бизнес-ангелов) в университетские стартапы. Форма поддержки: возмещение до 50 % инвестиций в университетские стартапы (но не более суммы НДФЛ, уплаченной за 3 предшествующих года, и не более 20 млн рублей 1 инвестору за инвестиции в 1 стартап). Целевая аудитория – университетские стартапы, не менее 10 % УК которых принадлежит лицу, обучающемуся в ВУЗе или завершившему такое обучение не более 3 лет назад, научно-педагогическому работнику ВУЗа, ВУЗу или стартап-студии; а также физические лица, проявляющие интерес к прямым инвестициям, уплатившие в бюджет НДФЛ в достаточном размере [6].

Рассмотрим более подробно организацию и проведение тренингов предпринимательских компетенций. Университеты предоставляют доступ к студентам, организационные ресурсы и площадки для тренингов, поставщики тренингов – содержание тренингов, технологии проведения, методическую поддержку. Участники тренингов получают базовые знания о технологическом предпринимательстве, доступ к пакету материалов по предпринимательству, игровой опыт технологического предпринимательства, диагностированные компетенции.

Прокачиваются такие компетенции технологического предпринимательства, как:

– генерация и формирование продуктовых идей на основе описания научно-исследовательской технологии;

– формирование команды технологического стартапа и распределение ролей в ней;

– валидация потенциальных потребителей (подготовка и проведение проблемного интервью, определение потребностей потенциальных потребителей);

– формирование продуктовых решений (разработка гипотез и идей минимально жизнеспособного продукта (MVP));

– обоснование бизнес-модели стартапа;

– подготовка презентации для инвестора.

Татарстан входит в Поволжский федеральный округ (ПФО). По данным Самарского Стартап-центра в мае 2023 года федеральный проект охватил все 14 субъектов ПФО (рис. 2).

Рис. 2. Охват субъектов ПФО за 2022–2023 гг. [3]

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ выступает вузом-партнером Самарского университета при организации и проведении тренингов предпринимательских компетенций. За период 2023 года тренинги прошли 900 студентов КНИТУ-КАИ. Результаты тренингов встроены в прохождение проектной практики вуза, что дает более высокие шансы на победу в конкурсах и грантах различного уровня. И это не только конкурс «Студенческий Стартап». Например, Альбина Салахова и Розалина Гиниятуллина – студентки группы 6203 направления «Инноватика» Института инженерной экономики и предпринимательства (ИИЭиП) – представили проект онлайн-кинотеатра «Red-Cinema» на конкурсе «АлгаРитм», организованном Минцифры Татарстана и направленном на быстрое тестирование инновационных разработок и технологических решений студентов университетов Республики. Вышли в финал данного президентского конкурса. Работу над проектом де-

вушки начали именно на тренингах предпринимательских компетенций от Платформы студенческого предпринимательства в мае этого года [5].

За период реализации проекта в ПФО с 3 мая 2023 года по 25 мая 2023 года проведено 43 Тренинга. 26 тренеров были задействованы в ходе обучения. Из 3180 студентов, планируемых к обучению, только в мае 2023 прошли обучение уже 3568 человек. В 2022 году добавились два новых поставщика тренингов (рис. 3).

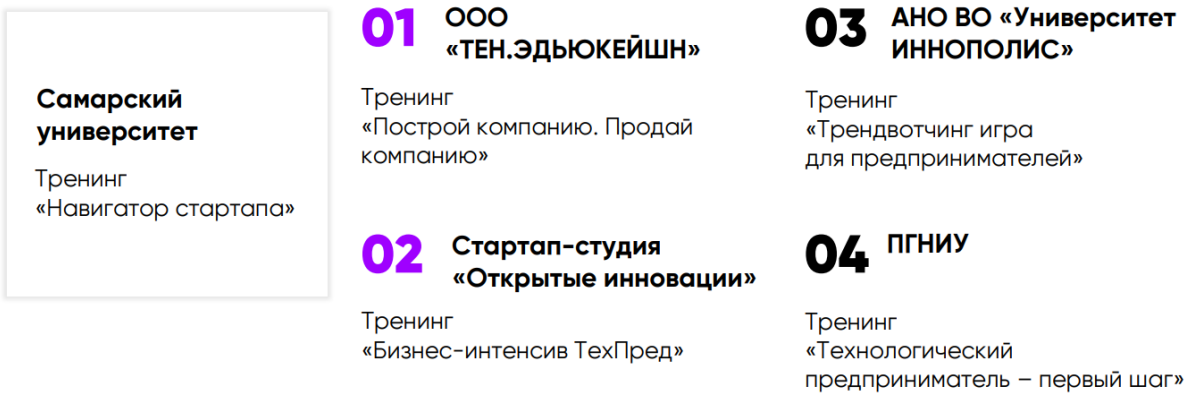


Рис. 3. Поставщики тренингов ПУТП в 2023 году [3]

Все это свидетельствует о всевозрастающем интересе к формированию предпринимательских компетенций.

Заключение. Таким образом, можно утверждать, что в экосистеме университетского технологического предпринимательства основными являются следующие тенденции:

1. Интеграция учебных и исследовательских проектов в процесс предпринимательства, трансфер технологий из лабораторий в реальную жизнь, например, через создание Центров проектной деятельности как элемента экосистемы предпринимательства в университетах.

2. Совершенствование взаимодействия между университетами, предприятиями и государством. Примером может быть проект, обеспечивающий новый механизм взаимодействия студента, образовательной организации и работодателя, инициированный государством (профстажировки.рф).

3. Развитие электронных платформ для объединения участников экосистемы в едином пространстве знаний, продуктов и технологий (Цифровая платформа Университета 2035 www.2035.university), платформа Leader-id (https://leader-id.ru), Платформа университетского технологического предпринимательства (https://univertechpred.ru).

4. Повышение инвестиционных вложений в технологическое предпринимательство университетов (Акселераторы, бизнес-инкубаторы, венчурные фонды и корпорации).

5. Повышение качества образования и подготовки высококвалифицированных профессионалов для технологического предпринимательства [4].

6. Выстраивание сетевого взаимодействия между учебными заведениями и бизнес-сообществами страны и региона, в частности, за счет интенсивной коммуникации между стейкхолдерами.

Все вышеперечисленное может не только являться драйвером развития молодежного технологического предпринимательства, но и способствовать формированию благоприятной экосистемы ведения бизнеса в целом.

Литература

1. Национальная технологическая инициатива [Электронный ресурс] / Национальная технологическая инициатива. – Режим доступа: https://nti2035.ru/nti.
2. Платформа университетского технологического предпринимательства [Электронный ресурс] / Федеральный проект «Платформа университетского технологического предпринимательства» (ФП ПУТП), официальный сайт. – Режим доступа: https://univertechpred.ru/.
3. Стартап-центр Самарского университета [Электронный ресурс] / Стартап-центр Самарского университета. – Режим доступа: https://startupcentre.ru.
4. Ибрагимова, Р. С. Проблемы формирования и развития экосистемы университетского технологического предпринимательства / Р. С. Ибрагимова, С. Г. Езерская, А. Е. Кирьянов // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2023. – № 2 (74). – С. 68–78.
5. КАИстки представили проект онлайн-кинотеатра на Kazan Digital Week [Электронный ресурс] / Официальный сайт Казанского национального исследовательского технического университета им. А. Н. Туполева – КАИ. – Режим доступа: https://kai.ru/news/new?id=12943460.
6. Возмещение инвестиций в университетские стартапы [Электронный ресурс] / Официальный сайт фонда «Сколково». – Режим доступа: https://sk.ru/pages/content/vozmeshenie-investicij-v-universitetskie-startapy.

УДК 338.001.36

Компаративный анализ рейтинговых оценок инновационного развития средних континентальных стран Европы и Беларуси

Бровка Г. М., канд. пед. наук, доцент; Потапчук Т. Д., Хархаль М. А.
Белорусский национальный технический университет
220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65

Аннотация. В работе анализируется уровень инновационного развития ряда средних континентальных стран Европы и Республики Беларусь. Оценка производится на основании занимаемых ими позиций в 2 основных индексах: Глобальном индексе инновационного развития, Индексе человеческого развития. Проделанный анализ позволяет разработать рекомендации в формирующуюся политику инновационного развития страны, выстроить определенную иерархию целей, определить приоритеты научно-технологического развития.
Ключевые слова: инновации; научно-технологическое и инновационное развитие, глобальный индекс инновационного развития, индекс человеческого развития, рейтинг.

Comparative analysis of rating assessments of innovation development of the middle continental countries of Europe and Belarus

Brovka G. M., Potapchuk T. D., Kharkhal M. A.
Belarusian National Technical University

Annotation. The paper analyzes the level of innovative development of a number of medium-sized continental countries in Europe and the Republic of Belarus. The assessment is made on the basis of their positions in 2 main indices: the Global Index of Innovative Development, the Human Development Index. The analysis made allows us to develop recommendations for the emerging policy of innovative development of the country, to build a certain hierarchy of goals, to determine the priorities of scientific and technological development.
Keywords: innovation; scientific, technological and innovative development, global innovation development index, human development index, rating.

Введение. В условиях непрерывного процесса научно-технологического развития, который охватывает все сферы жизни общества, основной упор делается на инновации.

Определение такого сложного понятия, как «инновация», появилось в начале XX века, и первоначально это означало лишь перенос данных из одной системы в другую. Несколько позже, во времена расцвета науки, закрепилось другое значение данного термина. Инновация – как метод преодоления упадков и переломных моментов в сфере экономики. К примеру, так толковал данную сферу Йозеф Шумпетер [1].

Основная часть. Некие нововведения в научно-технический прогресс, которые помогают отличить инновацию от уже существующего в мире продукта, и доказательство того, что созданная инновация даст плоды и реализуется на рынке – это те качества инновации, которые являются основными.

Вполне очевидно, что ни одно государство не хочет оставаться в стороне от этого процесса. Именно для этих целей Международными организациями было принято решение о необходимости ввода общих показателей, на основании которых будет производиться оценка уровня инновационного развития стран мира. Что в свою очередь позволит выстроить определенную пирамиду, вершину которой будет занимать самая мощная страна с точки зрения научно-технического развития, лидирующих позиций в той или иной сфере [2].

В данной работе был произведен анализ места Республики Беларусь в мировых рейтингах в сравнении с рядом средних континентальных стран Европы. В качестве анализируемых стран были выбраны такие государства, как: Чехия, Словакия, Австрия, Венгрия, Швейцария, не имеющие выхода к морю, сопоставимые по численности населения, научно-технологическому и промышленному потенциалу. Период наблюдения – 2020–2022 гг.

Анализ позволил судить о положении нашего государства в мировых рейтингах на основании занимаемых мест в различных индексах, а именно: в Глобальном индексе инноваций (далее – ГИИ); Индексе человеческого развития (далее – ИЧР) [3].

Глобальный индекс инноваций представляет собой максимально полное и углубленное исследование в области инновационного развития страны по целому ряду признаков. При расчете данного показателя учитываются 82 различные переменные, которые позволяют оценить уровень инновационного развития государств, находящихся на разных ступенях экономического развития [4].

Инновационный потенциал является неотъемлемым условием для развития страны в экономическом секторе, однако помимо потенциала должны быть созданы все условия для воплощения новых предложений [5].

Так считают и разработчики исследований, которые подразделяют все показатели на следующие важные компоненты:

1. Инновационная политика и институты: включает в себя оценку наличия и эффективности политических и организационных институтов, поддерживающих инновации. Это может включать правовые рамки, налоговую политику, программы поддержки инноваций и т. д.

2. Инновационная инфраструктура: оценивает качество и доступность инфраструктуры, включая научные и исследовательские организации, университеты, технопарки и т. д.

3. Человеческий капитал и исследовательский потенциал: включает уровень образования, наличие квалифицированных специалистов и научных исследователей, а также уровень вовлеченности населения в процессы инноваций.

4. Инновационные результаты: оценивает конкретные результаты инновационной деятельности, включая патенты, научные публикации, инновационные продукты и услуги.

5. Бизнес-среда: включает оценку предпринимательской активности и условий для бизнеса, в том числе доступность финансирования, инновационные стартапы и т. д.

6. Разработка рынка и продажи: оценивает наличие и доступность рынков для инновационных продуктов и услуг.

7. Экономические показатели: включает в себя показатели, связанные с экономическим ростом и устойчивостью, такие, как валовый внутренний продукт (ВВП), уровень безработицы, инфляция и др.

8. Социокультурная среда: включает аспекты, связанные с культурой, образованием, научными традициями и т. д.

9. Экологическая устойчивость: оценивает уровень устойчивости и ответственности в области экологии и устойчивого развития [6].

Структура глобального индекса сочетает в себе как затраты на инновационную составляющую, так и достигнутый от этого эффект в том или ином государстве.

Рейтинговые места сравниваемых государств в соответствии с ГИИ 2020–2022 гг. представлены в табл. 1.

Проанализировав имеющиеся данные, можно сделать вывод о том, что в целом стране в условиях жестких европейских санкций удалось сохранить инновационный потенциал развития.

Таблица 1. Рейтинг стран по ГИИ в период 2020–2022 гг.

Страна	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Республика Беларусь	64	62	77
Чехия	24	24	30
Словакия	39	37	46
Австрия	19	18	17
Венгрия	35	34	34
Швейцария	1	1	1

Глобальный индекс инноваций представляет собой неоценимый инструмент для оценки и сравнения уровня инновационной активности в различных странах мира. Разработанный совместно Всемирной организацией интеллектуальной собственности (ВОИС) и Корнелльским университетом, ГИИ стал неотъемлемой частью анализа инновационных трендов и политик.

Этот комплексный индекс учитывает множество аспектов, влияющих на инновационную активность в странах, включая институциональную поддержку, инфраструктуру, человеческий капитал, результаты инновационной деятельности и многое другое. В результате, ГИИ позволяет выявить сильные и слабые стороны инновационных систем, а также способствует разработке эффективных стратегий развития.

Важно отметить, что инновации становятся все более критическим фактором для экономического роста и устойчивого развития. Страны, инвестирующие в научные исследования, разработки и образование, часто достигают более высоких уровней экономического благополучия и социальной стабильности [7].

ГИИ также служит стимулом для стран развиваться в инновационном направлении, содействуя созданию благоприятной среды для инноваций, а также поддерживая сотрудничество между государством, бизнесом и образовательными учреждениями.

В итоге, Глобальный индекс инноваций является не только инструментом оценки инновационной активности, но и важным руководством для стран, стремящихся к улучшению своей инновационной деятельности и повышению конкурентоспособности в глобальной экономике.

А вот индекс человеческого развития – все-таки сводный показатель, поскольку именно он помогает нам понять, на каком уровне находится человеческое развитие во всех странах мирах. Эти сведения мы получаем от аналитиков, которые работают сообща с комиссией автономных иностранных специалистов, трудящихся в данной отрасли, опирающихся в своей деятельности, помимо аналитических исследований, на статистические сведения отечественных институтов и мировых ассоциаций [8].

Индекс человеческого развития обновляется ежегодно и предоставляет мировому сообществу важную информацию о состоянии человеческого развития в разных странах, что помогает выявлять тенденции и разрабатывать стратегии для улучшения качества жизни людей в мире.

В 1990 и 2010 годах были обнародованы различные доклады, где оценивался прогресс различных стран мира в секторах экономики и социальной сфере, а также предлагались различные концепции формулировки такого понятия, как «человеческое развитие». По прошествии всех обсуждений и переговоров было принято единое целесообразное толкования термина «человеческое развитие».

Развитие человека – это право субъекта на свободу, на возможность жить долгой жизнью и заниматься творческой деятельностью, на достижение тех целей, которые субъект считает главными в своей жизни; субъект имеет право быть активным участником в области благоустройства и развития планеты [9].

Индекс человеческого развития учитывает несколько основных факторов, влияющих на качество жизни и общий уровень развития населения в стране:

1. Продолжительность жизни (Ожидаемая продолжительность жизни при рождении):

– доступ к медицинской помощи: качество и доступность медицинских услуг, включая вакцинацию, предоставление лекарств, услуги акушерства и гинекологии;

– санитарные условия и гигиена: как чистая вода, гигиенические условия, доступ к средствам гигиены, что влияет на общее здоровье населения.

2. Уровень образования:

– доступ к образованию: наличие школ, университетов и других учебных заведений, а также доступность образовательных программ;

– качество образования: оценка эффективности образовательных программ и уровня подготовки учащихся.

3. Уровень дохода (Валовый Национальный Доход на душу населения):

– равенство доходов: разница в уровнях доходов между бедными и богатыми слоями населения, что влияет на социальную справедливость;

– занятость и рабочие условия: уровень безработицы, условия труда, заработная плата, что влияет на экономическое благосостояние;

– общий уровень знаний: оценка уровня общей осведомленности, умений и навыков населения, включая культурные и социальные аспекты.

4. Доступ к культурным и социальным ресурсам: включает в себя доступ к искусству, культурным мероприятиям, образованию, спорту, а также участие в общественных организациях.

5. Политическая и экономическая стабильность: факторы, такие, как политическая свобода, стабильность экономической среды, уровень коррупции и правовая система.

6. Среда обитания и природные ресурсы: уровень экологической устойчивости, доступ к природным ресурсам и состояние окружающей среды.

7. Социальная инклюзия и защита прав человека: включает в себя защиту прав меньшинств, борьбу с дискриминацией и обеспечение равенства возможностей для всех.

Эти факторы взаимосвязаны и влияют на общее качество жизни и уровень развития населения в стране [10].

Здоровье населения, качество получения образования, практический заработок лиц, проживающих в странах, это и есть основные и ключевые направления, которые разделяются на отдельные индексы: индекс ожидаемой продолжительности жизни; индекс образования; индекс валового национального дохода. Данные три коэффициента унифицируются в форме численных данных от 0 до 1, средняя величина каковых и составляет всеобъемлющий показатель ИЧР в пределах от 0 до 1. Впоследствии страны классифицируются на базе этого показателя [11]. Данные показателей за анализируемые годы представлены в табл. 2.

Таблица 2. Индекс человеческого развития стран 2020–2022 гг.

Страна	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Республика Беларусь	0,823	0,835	0,843
Швейцария	0,955	0,962	0,970
Австрия	0,913	0,916	0,919
Венгрия	0,854	0,860	0,867
Чехия	0,900	0,907	0,914
Словакия	0,860	0,867	0,873

В соответствии с опубликованными данными индекса человеческого развития 2020–2022 гг. наше государство занимает достойное 60 место рейтинга, из года в год укрепляя позиции в анализируемых областях человеческой деятельности. В силу этого требуется в последующем улучшать ключевые тенденции по уровню образования, здравоохранения и другим показателям [12].

Оценка ИЧР позволяет сравнивать различные страны и выявлять области, где можно улучшить условия жизни и развития. Он служит важным инструментом для разработки политики и стратегий, направленных на улучшение качества жизни людей в мире.

Заключение. Резюмируя итоги выполненной работы, можно говорить о том, что по положению в мировых рейтинговых оценках инноваций и человеческого

развития можно наблюдать изменения в политике государств по инновационному развитию в целом, в том числе по научно-инновационному потенциалу университетов, касающиеся улучшения данных процессов в нынешних условиях.

Литература

1. Шумпетер, Й. История экономического анализа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.shumpeter.ru/reading.php?book=analiz&id=3. – Дата доступа: 14.09.2023.
2. Сенченко, А. Н. Неравномерность инновационного развития стран мировой экономики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/282996/1/ Senchenko_dip.pdf. – Дата доступа: 14.09.2023.
3. Акулич, И. Л. Инновационное развитие Республики Беларусь / И. Л. Акулич, З. Н. Тарасенок // Вести института предпринимательской деятельности. – 2020. – № 1. – С. 66–74.
4. Глобальный индекс инноваций / Гуманитарный портал: Исследования [Электронный ресурс] // Центр гуманитарных технологий, 2006–2023 (последняя редакция: 06.09.2023. – Режим доступа: https://gtmarket.ru/ratings/global-innovationindex. – Дата доступа: 15.09.2023.
5. О государственной инновационной политике и инновационной деятельности [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 19 июля 2012 г., № 425-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=h11200425. – Дата доступа: 15.09.2023.
6. Никитенко, П. Г. Инновационная деятельность и устойчивое развитие: теория и методология / П. Г. Никитенко. – Минск : НО ООО «БИП-С», 2004. – 92 с.
7. Бутеня, В. Е. Инновации и их влияние на развитие национальной экономики / В. Е. Бутеня // Наука – образованию, производству, экономике: мат-лы 12-й Междунар. научно-технич. конф. В 4 т. – Минск : БНТУ, 2014. – Т. 1. – С. 105.
8. Цели устойчивого развития в Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sdgs.by/news_events/news. – Дата доступа: 16.09.2023.
9. Комаров, В. М. Основные положения теории инноваций / В. М. Комаров. – М. : Дело АНХ., 2012. – 190 с.
10. Калинин, А. В. Формирование индикативных экономических показателей России и ее регионов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: htpp://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-porogovyh-znacheniy-indikativnyh-pokazateleyekonomicheskoy-bezopasnosti-rossii-i-ee-regionov. – Дата доступа: 16.09.2023.
11. Индекс человеческого развития / Гуманитарный портал: Исследования [Электронный ресурс] // Центр гуманитарных технологий, 2006–2023 (последняя редакция: 06.09.2023). – Режим доступа: https://gtmarket.ru/ratings/human-development-index. – Дата доступа: 17.09.2023.
12. Бровка, Г. М. Прогноз отдельных показателей политики инновационного развития и обеспечения инновационной безопасности / Г. М. Бровка // Современный мир и национальные интересы Республики Беларусь: материалы международной научной конференции, Минск, 17 декабря 2021 / гл. ред. Е. А. Достанко. – Минск : БГУ, 2021. – С. 88–94.

УДК 625.084

Содействие развитию механизации дорожно-строительного комплекса Беларуси в условиях санкций

Вавилов А. В., доктор техн. наук, профессор
Белорусский национальный технический университет
220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65

Аннотация. Развитию механизации дорожно-строительного комплекса Беларуси в условиях санкций содействует распространение опыта передовых предприятий, производящих дорожно-строительные машины, их эксплуатирующих и реализующих. Распространение передового опыта осуществляется путем проведения семинаров, выставок и информации о деятельности предприятий, поощряемых на республиканских конкурсах.
Ключевые слова: механизация, дорожно-строительный комплекс, санкции, содействие, семинары, выставки, конкурсы.

Promoting the development of mechanization of the road construction complex of Belarus under sanctions

Vavilov A. V.
Belarusian National Technical University

Annotation. The development of mechanization of the road construction complex of Belarus under the conditions of sanctions is facilitated by the dissemination of the experience of leading enterprises that produce road construction machines, operate and sell them. The dissemination of best practices is carried out through seminars, exhibitions and information on the activities of enterprises encouraged at republican competitions.
Keywords: mechanization, road construction complex, sanctions, assistance, seminars, exhibitions, competitions.

Введение. В Беларуси постоянно в больших объемах ведутся дорожно-строительные работы. Выполнять такие объемы с наименьшими затратами и с высоким качеством возможно, используя эффективные дорожные машины. Введение в республике санкций предполагало остановку реализации таких импортных машин и отдельных комплектующих, используемых при производстве отечественной техники. Однако, несмотря на санкции, механизация дорожно-строительного комплекса Беларуси успешно развивается. О том, что способствует такому развитию на современном этапе, пойдет речь в этой статье.

Основная часть. Содействие развитию механизации дорожного комплекса в условиях санкций.

В связи с внедрением эффективных технологий и материалов в строительный комплекс Беларуси, для их реализации нужны машины, выполняющие процессы при минимальных затратах и высоком качестве [1, 2].

Машинный парк страны включает технику, производимую в Беларуси и за рубежом [2]. Причем отдельные комплектующие отечественной техники поступают также из-за рубежа [3]. Поскольку парк машин должен постоянно обновляться, санкции по вышеуказанной причине должны оказывать влияние. Какое?

Сегодня санкции по-разному повлияли на деятельность предприятий, производящих отечественную дорожно-строительную технику, ее реализацию и эксплуатацию. Вот выдержка из интервью республиканской газете выпускника кафедры «Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса» (МАДСК), а ныне технического директора предприятия «Амкодор-Семаш» Довидовича А. А. На вопрос корреспондента: «Санкции помогли предприятию?» Довидович А. А. ответил: «Еще как! Они нас очень здорово подстегнули. Сегодня риски непоставок или недопоставок сведены к минимуму. Санкции – время возможностей…». В связи с изложенным, поставлена задача создания отечественной компонентной базы. Причем комплектующие и машины в целом должны быть не хуже импортных.

Чтобы решить успешно поставленную задачу, необходимо активное содействие развитию механизации дорожно-строительного комплекса на современном этапе в условиях санкций. В этом направлении работает коллектив кафедры МАДСК БНТУ [4, 5]. В сентябре 2023 года нами в рамках 30-й юбилейной Международной строительной выставки «Будпрагрэс-2023» проведен семинар на тему: «Механизация дорожно-строительного комплекса Беларуси на современном этапе в условиях санкций». Все доклады были посвящены импортозамещению, а конкретней созданию отечественной конкурентоспособной дорожно-строительной техники. Соискатель ученой степени кафедры МАДСК Мазанович Д. В. свой доклад посвятил созданию импортозамещающего дорожного катка с применением вибратора с изменяемым вектором направления вибрации. Такой каток должен сформировать структуру асфальтобетона, которая была бы устойчива к внешним воздействиям, и обеспечить создание долговечного, прочного и износостойкого дорожного полотна [6, 7]. Была дана информация о продукции машиностроительных предприятий Беларуси, которые, несмотря на санкции, выпускают эффективную технику, востребованную в дорожно-строительном комплексе. Это ОАО «Амкодор» – управляющая компания холдинга, предприятие «Дорэлектромаш», ОАО «ЛМЗ Универсал», «БМЕ-Дизель» и др.

Эффективное содействие развитию дорожно-строительного комплекса в условиях санкций оказывает и проведение республиканских конкурсов «Лидеры в строительстве». На них в торжественной обстановке награждают предприятия, занявшие 1-е места или получившие «Гран-при». В сентябре 2023 года состоялась церемония награждения предприятий, победивших в XX республиканском конкурсе «Лидеры в строительстве-2023». Среди победителей было много дорожных организаций или организаций, работающих на дорожно-строительный комплекс. Это РУП «Могилевавтодор», дорожно-строительный трест № 5 (г. Минск), РУПП «Гранит» и др.

Такой конкурс стимулирует деятельность предприятий, создающих дорожную отечественную технику, ее эксплуатирующих и реализующих, в том числе импортную.

Заключение. Выполнение больших объемов дорожно-строительных работ возможно через внедрение передовых дорожных технологий, которые реализуются машинами, выполняющими технологические процессы с наименьшими затратами и с высоким качеством работ.

Введение санкций предполагало остановку продажи прогрессивной импортной дорожной техники и отдельных комплектующих, используемых при производстве отечественных машин.

В ответ на санкции найдены страны, производящие и продающие в республику дорожные машины и комплектующие не хуже предыдущих партнеров, и изысканы возможности производства машин и импортируемых комплектующих на белорусских предприятиях.

Развитию механизации дорожно-строительного комплекса в условиях санкций содействует распространение опыта передовых предприятий, производящих дорожные машины и их реализующих.

Литература

1. Машины по содержанию и ремонту автомобильных дорог и аэродромов / А. В. Вавилов [и др.]. – Минск : БНТУ, 2003. – 407 с.

2. Дорожно-строительные машины / А. В. Вавилов [и др.]. – Минск : Технопринт, 2000. – 515 с.

3. Вавилов, А. В. Конструктивные элементы, необходимые для создания многофункциональных машин / А. В. Вавилов, М. М. Гарост // Инженер-механик. – 2020. – № 3. – С. 6–12.

4. Вавилов, А. В. Совершенствование многофункциональности строительных машин в Беларуси с учетом зарубежного опыта / А. В. Вавилов, М. М. Гарост // Инженер-механик. – 2020. – № 3. – С. 13–19.

5. Вавилов, А. В. Предпосылки к развитию в Беларуси многофункциональности строительных машин / А. В. Вавилов, М. М. Гарост // Инженер-механик. – 2020. – № 3. – С. 2–5.

6. Особенности уплотнения асфальтобетонной смеси вибрационными катками / А. В. Вавилов [и др.] // Дороги Содружества Независимых Государств. – 2022. – № 3. – С. 96–99.

7. К созданию вибрационного дорожного катка / А. В. Вавилов [и др.] // Автомобильные дороги. – 2018. – № 1. – С. 93–97.

УДК 539.21

Метод расчета полей напряжений в двойникующемся материале в системе «механический клиновидный нанодвойник – трещина» в условиях одноосного растяжения

Василевич Ю. В.[1], доктор физ.-мат. наук, профессор;
Остриков О. М.[2], канд. физ.-мат. наук, доцент
[1]Белорусский национальный технический университет
220013, Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65
[2]Белорусский государственный университет транспорта
246653, Беларусь, г. Гомель, ул. Кирова, 34

Аннотация. Цель работы – исследование воздействия одноосного растяжения на конфигурацию распределения полей напряжений в системе «механический клиновидный нанодвойник – трещина». Разработан метод расчета полей напряжений в системе «механический клиновидный нанодвойник – трещина» в условии воздействия одноосного растяжения. Этот метод оценивает влияние напряженно-деформированного состояния механического нанодвойника на трещину. Проведены расчеты и рассмотрено поведение полей напряжений в системе «механический клиновидный нанодвойник – трещина» при меняющемся положении трещины относительно механического клиновидного нанодвойника.
Ключевые слова: клиновидный нанодвойник, трещина нормального отрыва.

A method for calculating stress fields in a twinning material in the “mechanical wedge-shaped nanodwire – crack” system under uniaxial stretching conditions

Vasilevich Yu. V.[1], Ostrikov O. M.[2]
[1]Belarusian National Technical University
[2]Belarusian State University of Transport

Annotation. The purpose of the work is to study the effect of uniaxial tension on the configuration of the distribution of stress fields in the “mechanical wedge-shaped nanotwin – crack” system. A method has been developed for calculating stress fields in the “mechanical wedge-shaped nanotwin – crack” system under the influence of uniaxial tension. This method evaluates the effect of the stress-strain state of a mechanical nanotwin on a crack. Calculations have been carried out and the behavior of stress fields in the “mechanical wedge-shaped nanotwin – crack” system with a changing position of the crack relative to the mechanical wedge-shaped nanotwin has been considered.
Keywords: sphenoid nanotwin, crack normal separation.

Введение. Изучение инициированных локализацией внутренних напряжений на неоднородностях процессов пластической деформации и разрушения деформируемых твердых тел является важной научной проблемой [1–3]. Для ее

решения необходима разработка специальных методов расчета смещений, деформаций и напряжений, учитывающих накопление повреждений.

Решение задач механики деформируемого твердого тела в большинстве случаев не предполагает учет напряжений, которые создают дефекты кристаллической решетки. Однако, такие дефекты, как границы механических двойников, создают локализацию напряжений, уровень которых иногда соизмерим с пределом прочности материала, что приводит к образованию микротрещин и последующему разрушению. Поэтому пренебрежение ролью механических двойников, образующихся в деформируемых сплошных средах, ведет к завышению оценки прочностных характеристик применяемых на практике материалов. Это особенно недопустимо в конструкциях, требующих высокой степени надежности.

Несмотря на имеющиеся обширные экспериментальные данные по исследованию двойникования, остается нерешенной важная научно-практическая проблема, заключающаяся в разработке моделей деформируемых сред с учетом наличия в них остаточных механических двойников. Решение этой проблемы позволит давать более точные оценки о степени надежности используемых на практике материалов, прогнозировать области зарождения трещин, дающих начало процессу разрушения, вести поиск эффективных методов обработки двойникующихся материалов, к которым относятся практически все используемые в машиностроении и приборостроении материалы.

Механические двойники, развивающиеся с высокой скоростью, локализуют на своих границах высокий уровень напряжений [4–8]. Это ведет к образованию микротрещин, способствующих разрушению твердых тел [9]. Интересен метод оценки напряженно-деформированного состояния в окрестности трещины в системе «механический клиновидный нанодвойник – трещина». Этот метод в дальнейшем позволит прогнозировать прочностные характеристики двойникующихся материалов [6, 7, 10, 11].

Цель работы – исследование воздействия одноосного растяжения на конфигурацию распределения полей напряжений в системе «механический клиновидный нанодвойник – трещина».

Постановка задачи. Рассмотрим схематическое изображение системы «механический клиновидный нанодвойник – трещина», представленное на рисунке 1. Трещина T_1T_2 расположена вблизи механического остаточного клиновидного нанодвойника ECD с параметрами: H – наибольшая ширина нанодвойника и L – длина некогерентного участка нанодвойника (рис. 1). Сквозная трещина нормального отрыва длиной $L_{тр}$ находится в однородном поле растягивающего напряжения σ_{11}^{∞} [12].

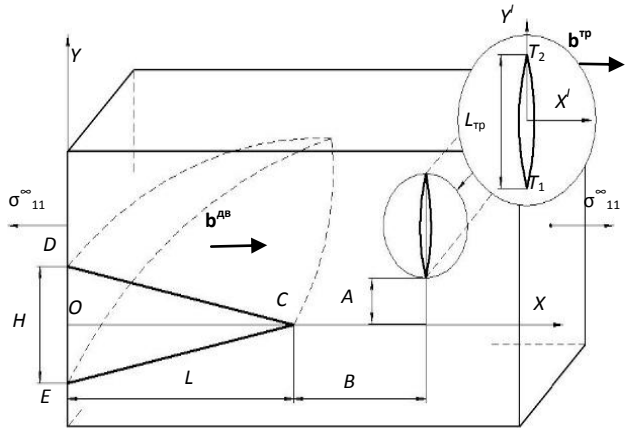


Рис. 1. Схематическое изображение системы «механический клиновидный нанодвойник – трещина» в изолированном поле одноосного растяжения

Представим дислокационную трещину как совокупность непрерывно распределенных краевых дислокаций [12]. Модуль вектора Бюргерса каждой дислокации параллелен OX и OX^{I} (рис. 1): $b_x = b^{тр}$, $b_y = 0$, $b_z = 0$ [12]. Расстояние между дислокациями в трещине $d_{тр}$ приравняем к межатомному a.

Для трещины нормального отрыва с модулем вектора Бюргерса $b^{тр}$ распределение напряжений определим с помощью соотношений:

$$\sigma_{xx}^{тр}(x,y)=\frac{\mu b^{тр}}{2\pi(1-\nu)}\int_0^{L_{тр}}\frac{(x-B)\left((x-B)^2-((y-\xi)-A)^2\right)}{\left((x-B)^2+((y-\xi)-A)^2\right)^2}\rho(\xi)\,d\xi, \quad (1)$$

$$\sigma_{yy}^{тр}(x,y)=\frac{\mu b^{тр}}{2\pi(1-\nu)}\int_0^{L_{тр}}\frac{(x-B)\left((x-B)^2+3((y-\xi)-A)^2\right)}{\left((x-B)^2+((y-\xi)-A)^2\right)^2}\rho(\xi)\,d\xi, \quad (2)$$

$$\sigma_{xy}^{тр}(x,y)=\frac{\mu b^{тр}}{2\pi(1-\nu)}\int_0^{L_{тр}}\frac{((y-\xi)-A)\left((x-B)^2-((y-\xi)-A)^2\right)}{\left((x-B)^2+((y-\xi)-A)^2\right)^2}\rho(\xi)\,d\xi, \quad (3)$$

где A, B, d_i, h_i – параметры, позволяющие задавать положение трещины относительно вершины C нанодвойника (рис. 1); μ – модуль сдвига; ν – коэффициент Пуассона; $\rho(\xi)$ – линейная плотность дислокаций; ξ – параметр интегрирования.

Исходя из допущения того, что расстояния между дислокациями трещины значительно меньше расстояний между двойникующими дислокациями, поля напряжений у нанодвойника рассчитываются на основании положений теории упругости и принципа суперпозиции в результате дискретного суммирования вклада каждой двойникующей дислокации по методике, описанной в [6, 13].

Тогда формулы расчета полей напряжений в системе «механический клиновидный нанодвойник – трещина» получим, применяя принцип суперпозиции для напряжений, обусловленных трещиной и нанодвойником, в виде:

$$\begin{cases} \sigma_{xx}(x,y) = \sigma_{xx}^{\text{дв}}(x,y) + \sigma_{xx}^{\text{тр}}(x,y) \\ \sigma_{yy}(x,y) = \sigma_{yy}^{\text{дв}}(x,y) + \sigma_{yy}^{\text{тр}}(x,y). \\ \sigma_{xy}(x,y) = \sigma_{xy}^{\text{дв}}(x,y) + \sigma_{xy}^{\text{тр}}(x,y) \end{cases} \quad (4)$$

Здесь $\sigma_{xx}^{\text{дв}}(x,y)$, $\sigma_{yy}^{\text{дв}}(x,y)$ и $\sigma_{xy}^{\text{дв}}(x,y)$ – напряжения, создаваемые нанодвойником и рассчитываемые по формулам [6; 13–15]:

$$\sigma_{xx}^{\text{дв}}(x,y) = -\frac{\mu b_{\text{кр}}}{2\pi(1-\nu)}\left(\sum_{n=0}^{N}\frac{(y+nh)[3(x+nd-L)^2+(y+nh)^2]}{[(x+nd-L)^2+(y+nh)^2]^2} + \sum_{n=1}^{N}\frac{(y-nh)[3(x+nd-L)^2+(y-nh)^2]}{[(x+nd-L)^2+(y-nh)^2]^2}\right), \quad (5)$$

$$\sigma_{yy}^{\text{дв}}(x,y) = \frac{\mu b_{\text{кр}}}{2\pi(1-\nu)}\left(\sum_{n=0}^{N}\frac{(y+nh)[(x+nd-L)^2-(y+nh)^2]}{[(x+nd-L)^2+(y+nh)^2]^2} + \sum_{n=1}^{N}\frac{(y-nh)[(x+nd-L)^2-(y-nh)^2]}{[(x+nd-L)^2+(y-nh)^2]^2}\right), \quad (6)$$

$$\sigma_{zz}^{\text{дв}}(x,y) = -\frac{\mu b_{\text{кр}}\nu}{2\pi(1-\nu)}\left(\sum_{n=0}^{N}\frac{y+nh}{(x+nd-L)^2+(y+nh)^2} + \sum_{n=1}^{N}\frac{y-nh}{(x+nd-L)^2+(y-nh)^2}\right), \quad (7)$$

$$\sigma_{xy}^{\text{дв}}(x,y) = \frac{\mu b_{\text{кр}}}{2\pi(1-\nu)}\left(\sum_{n=0}^{N}\frac{(x+nd-L)[(x+nd-L)^2-(y+nh)^2]}{[(x+nd-L)^2+(y+nh)^2]^2} + \sum_{n=1}^{N}\frac{(x+nd-L)[(x+nd-L)^2-(y-nh)^2]}{[(x+nd-L)^2+(y-nh)^2]^2}\right), \quad (8)$$

$$\sigma_{xz}^{\text{дв}}(x,y) = -\frac{\mu b_{\text{в}}}{2\pi}\left(\sum_{n=0}^{N}\frac{y+nh}{(x+nd-L)^2+(y+nh)^2} + \sum_{n=1}^{N}\frac{y-nh}{(x+nd-L)^2+(y-nh)^2}\right), \quad (9)$$

$$\sigma_{yz}^{\text{дв}}(x,y) = \frac{\mu b_{\text{в}}}{2\pi}\left(\sum_{n=0}^{N}\frac{x+nd-L}{(x+nd-L)^2+(y+nh)^2} + \sum_{n=1}^{N}\frac{x+nd-L}{(x+nd-L)^2+(y-nh)^2}\right), \quad (10)$$

где $b_{\text{в}}$ и $b_{\text{кр}}$ – модули винтовой и краевой составляющей вектора Бюргерса двойникующих дислокаций; d и h – проекции, соответственно, на оси OX и OY (рис. 1) отрезка, соединяющего две соседние дислокации; N – число двойникующих дислокаций на двойниковых границах; n – индекс суммирования; L – длина нанодвойника.

В формулах (5)–(10) учтено, что в вершине клиновидного двойника находится только одна двойникующая дислокация. Принято, что вектор краевой составляющей вектора Бюргерса двойникующей дислокации направлен в сторону

положительного направления оси *OX*, а винтовой – перпендикулярно плоскости рис. 1 в сторону положительного направления оси *OZ* правой декартовой системы координат.

Результаты и их обсуждение. Результаты расчетов полей напряжений в случае, когда трещина T_1T_2 перпендикулярна направлению развития нанодвойника, приведены на рис. 2–4. Принималось: μ = 81 ГПа; ν = 0,29; $b^{дв}$ = 0,5 нм; $b^{тр}$ = 0,3 нм; *A* = 10 нм; *B* = 50 нм; $L_{тр}$ = 20 нм; $\rho^{тр} = 10^6$ м$^{-1}$. Нанодвойник рассматривался состоящим из десяти двойникующих дислокаций на каждой из границ двойника.

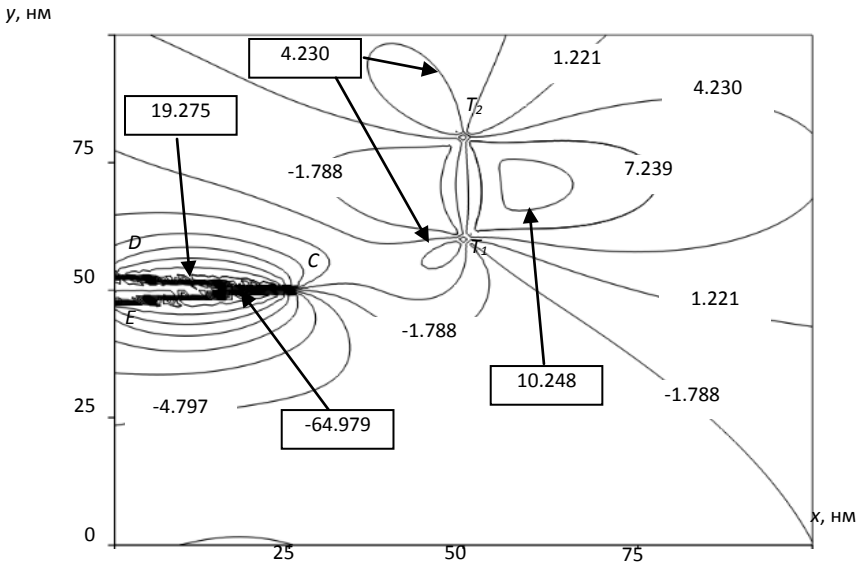


Рис. 2. Распределение нормальных напряжений $\sigma_{xx}(x,y)$ (ГПа)
в системе «механический клиновидный нанодвойник – трещина»

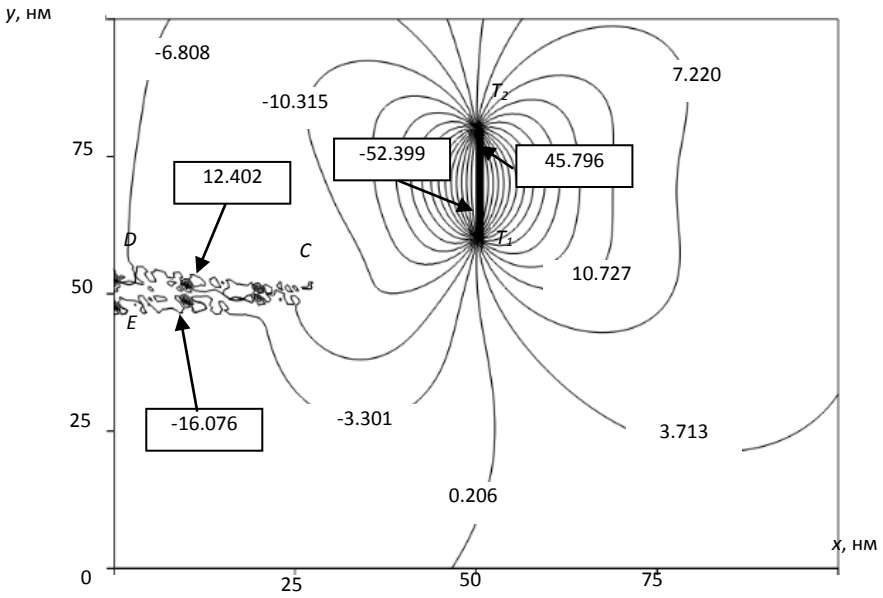


Рис. 3. Распределение нормальных напряжений $\sigma_{yy}(x,y)$ (ГПа)
в системе «механический клиновидный нанодвойник – трещина»

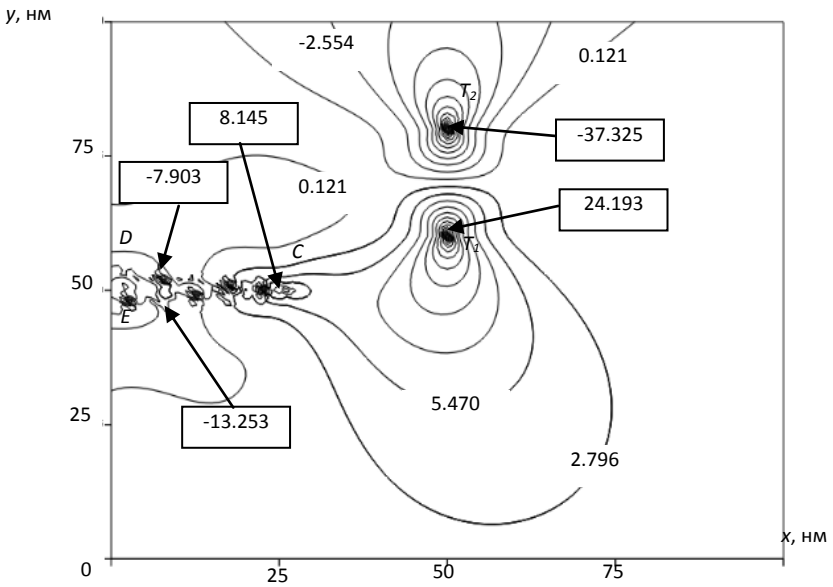


Рис. 4. Скалывающие напряжения $\sigma_{xy}(x,y)$ (ГПа)
в системе «механический клиновидный нанодвойник – трещина»

Как видно из рис. 2–4, полям напряжений системы «механический клиновидный нанодвойник – трещина» свойственна локализация, наблюдающаяся как у границ нанодвойника *CDE*, так и у трещины T_1T_2.

Перпендикулярное расположение трещины относительно направления развития нанодвойника влияет на поведение и локализацию напряжений нанодвойника *CDE*. Распределение нормальных напряжений σ_{xx} показано на рис. 2. По берегам трещины T_1T_2 напряжения знакопеременны. По правую сторону трещины напряжения положительны, а по левую – отрицательны. У вершин трещины напряжения положительны.

Нормальные напряжения σ_{yy} (рис. 3) по берегам трещины T_1T_2 справа максимально положительны, слева – отрицательны. У клиновидного нанодвойника *CDE* на участке *CD* напряжения σ_{yy} положительны, а со стороны *CE* – отрицательны.

Складывающие напряжения σ_{xy} (рис. 4) в области трещины T_1T_2 знакопеременны и имеют ярко выраженный максимум в вершине T_1 и минимум в вершине T_2. Поведение напряжений σ_{xy} у нанодвойника *CDE* своеобразно, так как у вершины *C* напряжения положительны, а по берегам ближе к *D* и *E* – отрицательны.

Так как расположение трещины влияет на локализацию напряжений, на рис. 5 схематически представлены три случая расположения трещины относительно нанодвойника. Все три случая рассчитывались приведенной выше методике. При этом задавались следующие параметры: A и $B \neq 0$ – первый случай (рис. 5, *а*); второй случай – $A = B = 0$ (рис. 5, *б*) и третий случай $A \neq 0$, $B = 0$ (рис. 5, *в*).

Расчеты показали рост напряжений у вершины нанодвойника при приближении к ней трещины.

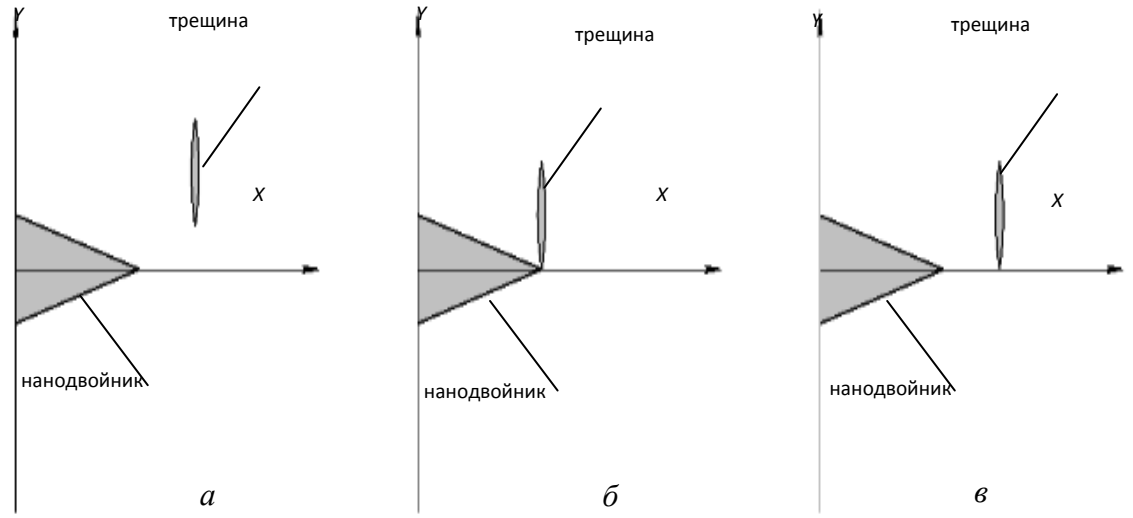


Рис. 5. Схематическое изображение расположения трещины относительно нанодвойника: *а* – когда A и $B \neq 0$; *б* – когда A и $B = 0$; *в* – когда $A \neq 0$, $B = 0$

Заключение. Таким образом, предложен метод расчета полей напряжений в системе «механический клиновидный нанодвойник – трещина» в условии воздействия одноосного растяжения. Рассмотрена эволюция полей напряжений в системе «механический клиновидный нанодвойник – трещина» при меняющемся положении трещины относительно механического клиновидного нанодвойника.

Авторы благодарят Влашевича В. В. за помощь в выполнении расчетов.

Литература

1. Остриков, О. М. Разрушение и сопутствующие ему эффекты в ферромагнитном монокристалле Ni_2MnGa с эффектом памяти формы / О. М. Остриков, Е. В. Шматок // Инженерно-физический журнал. – 2015. – Т. 88, № 1. – С. 271–277.

2. Остриков, О. М. Метод расчета распределения деформаций у клиновидного двойника с использованием подходов макроскопической дислокационной модели / О. М. Остриков // Известия РАН. Механика твердого тела. – 2009. – № 4. – С. 52–58.

3. Остриков, О. М. Дислокационная модель некогерентного нетонкого двойника / О. М. Остриков // Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82, № 11. – С. 38–42.

4. Федоров, В. А. О зарождении трещин на границах двойников в кальците / В. А. Федоров, Ю. И. Тялин // Кристаллография. – 1981. – Т. 26, № 4. – С. 775–781.

5. Карькина, Л. Е. Роль дальнодействующих напряжений при образовании дефектных деполей в TiAl / Л. Е. Карькина // Физика металлов и металловедение // 1995. – Т. 80, № 1. – С. 124–133.

6. Остриков, О. М. Методика прогнозирования распределения полей напряжений в реальных кристаллах с остаточными некогерентными двойниками. Монография / О. М. Остриков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. – 278 с.

7. Остриков, О. М. Методика прогнозирования распределения полей напряжений в системе «остаточный клиновидный двойник – трещина» / О. М. Остриков // Веснік Магілеўскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А. А. Куляшова. Серыя В. Прыродазнаўчыя навукі: матэматыка, фізіка, біялогія. – 2019, № 2 (54). – С. 69–78.

8. Шматок, Е. В. Расчет полей напряжений у единичного линзовидного двойника, находящегося в поле напряжений полубесконечной трещины антиплоского сдвига в монокристаллическом Ni_2MnGa / Е. В. Шматок, О. М. Остриков // Веснік Магілеўскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А. А. Куляшова. Серыя В. Прыродазнаўчыя навукі: матэматыка, фізіка, біялогія. – 2019. – № 1 (53). – С. 57–62.

9. Федоров, В. А. Дислокационные механизмы разрушения двойникующихся материалов / В. А. Федоров, Ю. И. Тялин, В. А. Тялина. – М. : Машиностроение, 2004. – 336 с.

10. Остриков, О. М. Некоторые особенности взаимодействия механических микродвойников и микротрещин друг с другом и микровключениями при одноосном сжатии монокристаллов висмута / О. М. Остриков // Веснік Магілеўскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А. А. Куляшова. Серыя В. Прыродазнаўчыя навукі: матэматыка, фізіка, біялогія. – 2017. – № 2 (50). – С. 63–67.

11. Влашевич, В. В. Метод численно-аналитического расчета полей напряжений в системе «механический клиновидный нанодвойник – трещина» при поперечном сдвиге / В. В. Влашевич, О. М. Остриков // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Машиностроение. – 2016. – № 4 (100). – С. 50–54.

12. Астафьев, В. И. Нелинейная механика разрушения / В. И. Астафьев, Ю. Н. Радаев, Л. В. Степанова. – Самара : Самарский университет, 2004. – 562 с.

13. Остриков, О. М. Механика двойникования твердых тел / О. М. Остриков. – Гомель : Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, 2008. – 301 с.

14. Остриков, О. М. Дислокационная модель нанодвойника / О. М. Остриков // Известия РАН. Механика твердого тела. – 2008. – № 5. – С. 124–129.

15. Остриков, О. М. Расчет деформаций у вершины клиновидного двойника на основании мезоскопической дислокационной модели / О. М. Остриков // Веснік Магілеўскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А. А. Куляшова. Серыя В. Прыродазнаўчыя навукі: матэматыка, фізіка, біялогія. – 2008. – № 1 (29). – С. 166–175.

УДК 658.7

Нейтрализация угроз экономической безопасности в цифровых экосистемах логистики

Дмитриев А. В., доктор экон. наук, доцент
Северо-Западный институт управления РАНХиГС
199178, Россия, г. Санкт-Петербург, Средний пр-т В. О., 57/43

Аннотация. В статье обсуждаются вопросы экономической безопасности, как одной из важнейших качественных характеристик логистических систем, определяющих способность обеспечивать в процессе товародвижения установленные параметры материальных потоков. Исследуются логистические системы на предмет оптимальной организации и управления материальными потоками, направленных на обеспечение эффективности функционирования и реализации стратегии хозяйственных субъектов. Обосновывается необходимость использования современных цифровых технологий для повышения уровня экономической безопасности в логистических системах.
Ключевые слова: экономическая безопасность, логистика, цифровые экосистемы, транспорт, цифровые технологии, цифровые платформы.

Neutralizing economic security threats in digital logistics ecosystems

Dmitriev A. V.
North-West Institute of Management of the Presidential Academy of National Economy and Public Administration

Annotation. The article discusses issues of economic security as one of the most important qualitative characteristics of logistics systems that determine the ability to ensure the established parameters of material flows in the process of goods distribution. Logistics systems are examined for optimal organization and management of material flows aimed at ensuring the efficiency of functioning and implementation of the strategy of economic entities. The necessity of using modern digital technologies to increase the level of economic security in logistics systems is substantiated.
Keywords: economic security, logistics, digital ecosystems, transport, digital technologies, digital platforms.

Введение. В современных условиях экономическая безопасность выступает одной из важнейших качественных характеристик логистических систем, определяющих способность обеспечивать в процессе товародвижения установленные параметры материальных потоков и достаточную обеспеченность предприятия ресурсами для выполнения его хозяйственной деятельности.

По сути, экономическая безопасность – это, с одной стороны, защита субъекта от внешних и внутренних угроз, а с другой стороны, способность субъекта к стабильному функционированию в условиях противодействия негативному влиянию окружающей среды [5].

В свою очередь, логистика как наука и сфера практической деятельности связанная с оптимальной организацией и управлением материальными потоками, направлена на обеспечение эффективности функционирования и реализации стратегии хозяйственных субъектов, что позволяет утверждать, что при отсутствии налаженной системы экономической безопасности, предприятие не только не сможет реализовать свою стратегию, но рискует потерять конкурентные преимущества на рынке.

Основная часть. Одним из важнейших факторов повышения уровня экономической безопасности в области логистики следует считать применение современных цифровых информационных технологий в сфере товародвижения для обеспечения прозрачности и контролируемости материальных потоков в режиме онлайн [6].

В последние годы платформенная концепция управления цифровыми экосистемами в транспортной логистике является уже широко применяемой формой организации бизнеса, которая обеспечивает существенно более высокий уровень конкурентоспособности на рынке по отношению к традиционной работе логистических операторов и трансформирует способ предоставления клиентам цифровых логистических услуг. Общепринятая методика, применяемая в логистике в течение долгового времени, предполагала достижение экономических результатов исключительно за счет деятельности самого предприятия непосредственно и его ближайшего окружения в цепи поставки, в то время как использование цифровой платформенной концепции создает необходимые предпосылки для формирования развитых экосистем, в которых множество вовлеченных субъектов создают высокую добавленную стоимость совместно [1] (рис. 1).

Факторы	Значение
Налаженные и упорядоченные правила и процедуры управления бизнес-процессами в логистике.	Обеспечение оперативного контроля за соблюдением установленных ключевых показателей товародвижения.
Задокументированные правила внутреннего распорядка и ответственность за их соблюдение.	Снижение риска противоправных действий должностных лиц.
Соблюдение техники безопасности на рабочих местах.	Повышение производительности труда, сокращение срывов графика работы.
Урегулирование претензий в досудебном порядке.	Сокращение количества рекламаций и штрафных санкций.
Работа по единым стандартизированным технологиям.	Применение всеми субъектами цепи поставки единых форм документов и технологических решений.
Применение специализированных закрытых цифровых сете для обмена данными.	Предотвращение несанкционированного доступа к информации третьими лицами.
Конфиденциальность и обеспечение и охрана коммерческой тайны.	Противодействие промышленному шпионажу и инсайдерским атакам.
Профессиональная переподготовка сотрудников.	Усиление кадровой составляющей экономической безопасности.

Рис. 1. Ключевые факторы обеспечения экономической безопасности и их значение в логистике

Авторский взгляд в публикации [4] направлен на анализ структурно-трансформационных процессов, обеспечивающих развитие сетевой телекоммуникационной конвергенции и расширение информационно-аналитического пространственного взаимодействия на различных уровнях, в том числе на уровне региона, государства и мировом уровне. Отмечаются достоинства от внедрения и интеграции цифровых платформенных решений в транспортной логистике отдельной страны, а также цифровых интегрированных платформ глобального охвата, что обеспечивается за счет преодоления временных и пространственных разрывов и барьеров при взаимодействии субъектов транспортно-логистических процессов.

В данном контексте целый ряд научных работ, таких, как, например, «Государство как платформа», которая выполнена Центром стратегических исследований, рассматривают физических и юридических лиц в качестве приоритетных потребителей цифровых государственных услуг, когда все подключенные субъекты имеют возможность работать с универсальными базами данных, но с разграниченным уровнем доступа. При этом добавочный синергетический эффект для пользователей цифровых сервисов может быть достигнут благодаря использованию инновационных способов сетевой координации и контроля сетевого взаимодействия [7].

В настоящее время неизбежность, объективность и долговременность цифровых трансформационных процессов практически во всех сферах деятельности предприятий и организаций не вызывают сомнений. Современная эра всеобщих реформ связана с изменением и приобретением инновационных феноменов, содержательно и по форме значительно отличающихся от прежних социально-политических и экономических отношений, технологических и энергетических решений, научно-педагогических и образовательных процессов, природоохранных и экологических мероприятий, а также в сфере обеспечения экономической безопасности транспортно-логистических операций. Следует признать, что целеполагание будущего миропорядка и его отличительные черты будут иметь прямое отношение к дальнейшему всеобщему и повсеместному внедрению цифровых решений, обусловливаемых нарастающей модернизацией микроэлектроники, телекоммуникационных средств и информационных технологий [3].

Цифровые трансформационные процессы в приоритетных отраслях российской экономики должны осуществляться исключительно с использованием отечественных разработок, платформенных решений и сервисов, создаваемых на основе сквозных универсальных цифровых инструментов, к числу которых относятся:

– Big Data;
– 3D-printing;
– Internet of Things;
– Artificial Intelligence;
– Wireless connection;
– Robotics & Sensors;
– Quantum technologies;
– Blockchain;
– Augmented & Virtual Reality [8].

В своей общности перечисленные инструменты формируют модель киберфизической экосистемы в логистике (рис. 2), позволяющей формировать совокупность интегрированных взаимодействий в системах «потребитель – поставщик» в функциональном логистическом контуре координации сквозных бизнес-процессов товародвижения и обмена данными о поставках на базе аналитики больших данных о характеристиках товаров и сведений о грузовладельцах для принятия обоснованных и оперативных решений в «онлайн» режиме [2].

Рис. 2. Модель киберфизической экосистемы в логистике

Однако, следует признать, что процессам всеобщей цифровой трансформации присущи ряд серьезных рисков и угроз, в частности, большое количество автоматизированных транспортно-складских операций в логистике приведут к замене рабочих мест роботами, что может вызвать массовую безработицу в рядах низко- и среднеквалифицированных сотрудников. А это, в свою очередь, может существенно снизить уровень жизни достаточной большой части работоспособного населения. Тем не менее, эра цифровых преобразований, формирование которой происходит очень быстро, предопределит в ближайшем будущем востребованность на кадровый потенциал высокой квалификации, а сотрудники будут привлекаться к выполнению функционала по контролю за функционированием роботов и поддержанию их устойчивой работы и жизнеспособности [9].

Транспортная логистика, в свою очередь, подвержена негативному влиянию целого спектра рисков и угроз внедрения современных цифровых инструментов (рис. 3) [12].

Риски больших данных	Риски промышленного интернета	Риски искусственного интеллекта и роботизации	Риски системы распределенного реестра
• нарушение конфиденциальности данных ; • неоптимальная система сбора и хранения больших данных; • частичная или полная утрата данных вследствие ошибок обработки • обработка больших данных не дает результата для аналитиков • Неготовность к переменам со стороны персона и руководства	• внедрение вредоносного программного обеспечения, перехват управления устройствами, разрушение и воровство устройств; • уязвимости программного обеспечения • DDoS-атаки на вычислительную систему; • сбой системы, сети, устройств в результате потери электропитания и других техногенных и природных факторов	• недостаток машинных мощностей для решения задач; • вытеснения рабочей силы искусственным интеллектом • Ошибки в обучении искусственного интеллекта и внедрении робототехники; • Уязвимость робототехники (программа, калибровка, контроллеры); • большинство людей предпочитают человеческий контакт	• блокировка и потеря средств из-за уязвимости кода или зацикливания смарт-контракта; • утечка персональных данных • атаки на узлы отправки и получения транзакций • захват контроля благодаря доминирующим вычислительным мощностям • отсутствие нормативного регулирования

Рис. 3. Угрозы при внедрении цифровых инструментов в транспортной логистике

Согласно статистическим данным, начиная с 2020 года, на 80 % возросло общее количество кибератак на Россию. Фиксируется 15-кратное повышение количества кибератак на российские сервисы. Нейтрализовано около 25 000 кибератак на государственные цифровые ресурсы. Приблизительно 1200 кибератак были направлены на объекты критической инфраструктуры (энергоснабжения, водоснабжения, экологического мониторинга, транспорта и прочих ключевых систем, обеспечивающих жизнедеятельность населения) [10].

На морском транспорте на смену используемым ранее обычным системам, отвечающим за безопасность и оповещение об авариях и бедствиях, пришли локальные полноценные цифровые сети, основанные на использовании облачных технологий, в частности, программное обеспечение, управляющее электронной навигацией. Указанные сети стали довольно заманчивой целью для хакерских атак, так как их работа направлена на постоянный сбор, интегрирование и анализ бортовой информации для отслеживания местоположения судна, данных о грузовых местах, технических вопросов, а также целого ряда проблем, связанных с судовождением в различных местах мирового океана и прибрежных акваториях.

С похожими ситуациями сталкивается и железнодорожный транспорт. На смену обычным проводным системам управления движением поездов, которые были довольно сильно ограничены в возможностях информационного обмена с внешней средой, приходят беспроводные стандарты, обеспечивающие работоспособность широких сетей, объединяющих грузовые и пассажирские поезда

с пультами управления железнодорожным движением дежурного по станции. А это тоже может быть привлекательной мишенью для кибератак [11].

С целью нейтрализации перечисленных выше рисков и угроз необходимо во все большей степени внедрять цифровые экосистемы в транспортной логистике, которые будут предусматривать в своей инфраструктуре комплекс современных информационных систем и технологий, имеющих потенциальную полезность для бизнеса и общества, а также позволяющих существенно повысить эффективность бизнес-процессов в транспортной логистике (рис. 4).

Рис. 4. Современные цифровые информационные технологии в экосистемах транспортно-логистического обслуживания

Изображенные на рис. 4 цифровые информационные технологии, используемые в экосистемах транспортной логистики, обеспечивают доступность по целому ряду показателей контроля и мониторинга:

– сообщения о нештатных событиях;

– контроль температуры скоропортящихся грузов;

– обеспечение работы сенсоров и датчиков;

– определение времени в пути, возможных задержек, длительности стоянок и даты прибытия к месту назначения;

– определение местоположения транспорта, навигация и маршрутизация;

– расчет времени погрузочно-разгрузочных работ.

Заключение. Для устранения проблемных вопросов, связанных с безопасностью экосистемных решений в транспортной логистике, требуется использовать цифровые информационные сервисы, имеющие следующие достоинства:

– усиление результативности логистических бизнес-процессов в части перемещения и доставки грузовых партий;

– выполнение требований по срочности текущих перевозок и интегрированное планирование последующих транспортировок;

– уменьшение доли поврежденных или похищенных грузов в процессе перемещения;

– быстрая реакция на нештатные события и ситуации;

– контроль состояния товаров в процессе транспортировки и мониторинг отгрузок.

Литература

1. Логистика и управление цепями поставок / В. В. Щербаков [и др.]. – М. : Юрайт, 2019. – 582 с.
2. Дмитриев, А. В. Методологические основы управления логистикой транспортно-складских центров / А. В. Дмитриев // Известия Санкт-Петербургского университета экономики и финансов. – 2012. – № 6 (78). – С. 76–81.
3. Управление цепями поставок / Н. А. Гвилия [и др.]. – М. : ООО «Издательство ЮРАЙТ», 2017. – 209 с.
4. Дмитриев, А. В. Формирование цифровой среды транспортной логистики / А. В. Дмитриев // Логистика – евразийский мост : материалы XIII Международной научно-практической конференции, 25–29 апреля 2018 года. – Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2018. – Т. 1. – С. 88–92.
5. Barriers to adoption of blockchain technology in green supply chain management / S. Bag [and other] // Journal of Global Operations and Strategic Sourcing. – 2020. – P. 27.
6. Дмитриев, А. В. Диджитализация транспортной логистики / А. В. Дмитриев. – СПб. : Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2018. – 161 с.
7. Стратегии развития инструментов коммерции / И. А. Аренков [и др.]. – СПб. : Санкт-Петербургский государственный университет экономики и финансов, 2010. – 347 с.
8. Дмитриев, А. В. Цифровые информационные технологии в экосистемах транспортно-логистического обслуживания / А. В. Дмитриев. – СПб. : Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2021. – 160 с.
9. Moldagulova, A. Application of Big Data in Logistics / A. Moldagulova, R. Satybaldiyeva, A. Kuandykov // ICEMIS'20: Proceedings of the 6th International Conference on Engineering & MIS. – 2020. – Article № 50. – P. 1–6.
10. Рейтинг «ИТ-тренды CNews 2020»: самые востребованные технологии [Электронный ресурс]. Режим доступа : https://www.cnews.ru/reviews/ittrendy2020/review_table/a0f78dcb53d27d6f4ed201cb53f89342a02ccb89 (дата обращения: 27.09.2023).
11. Fritz, M. M. C. Sustainability Management in Supply Chains: Developing a Supply Chain View to operationalize sustainability among multiple supply chain stakeholders / M. M. C. Fritz. – University of Graz, Austria. – 2017.
12. Salminen, V. From supply chain to digital circular value chain / V. Salminen, H. Ruohomaa, T. Pöykkö // 2016 International conference on production research. – Africa, Europe and the Middle East and 4th International conference on quality and innovation in engineering and management. – 2020.

УДК 330; 346

Применение инновационных технологий в молодежном социальном предпринимательстве как драйвер устойчивого социально-экономического развития

Добрынина М. В., канд. полит. наук, доцент;
Растимешина Т. В., доктор полит. наук, доцент
Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»
124498, Россия, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, 1

Аннотация. Наличие во всем мире большого числа молодых людей, относящихся к категории NEET (Not in Education, Employment or Training – не получают профессиональной подготовки, общего образования и не работают) представляет собой важную социально-экономическую проблему. С другой стороны, молодежь NEET – это огромный ресурс для экономического роста и устойчивого социального развития. В частности, молодежное социальное предпринимательство содержит значительный потенциал для позитивных изменений, поскольку оно способствует достижению таких социально значимых целей, как рост занятости, снижение неравенства, уменьшение масштабов бедности и др. Цель исследования заключалась в концептуальном обосновании тезиса, что продвижение зарождающихся, развивающихся и получивших распространение новых и передовых технологий в рамках молодежного социального предпринимательства является важным условием обеспечения устойчивого развития социума (где устойчивость обеспечивается на трех ключевых уровнях: экономическом, социальном и экологическом). В ходе исследования решены следующие задачи: выявлено наличие связи между применением новых и прорывных технологий и социально-экономической эффективностью предприятий и бизнесов; показано, что эта связь основана на генезисе новых и прорывных технологий, которые по своей природе обладают потенциалом использования для общего блага; определены основные направления применения прорывных технологий для достижения социально значимых эффектов (к ним относятся: сокращение и более эффективное использование физических – материальных – ресурсов и активов, разработка и внедрение решений, которые позволяли бы использовать нематериальные виды ресурсов и активов; создание и развитие новых товаров, услуг, направлений предпринимательской деятельности; создание новых механизмов социальной инклюзии и снижению неравенства); отмечена необходимость создания экосистем поддержки высокотехнологичных социальных стартапов и молодежного предпринимательства в целом. Сделаны выводы о недостаточном развитии молодежных предпринимательских экосистем.

Ключевые слова: молодежь, занятость, предпринимательство, социальное предпринимательство, инновации, новые технологии, прорывные технологии, общественное благо, устойчивое развитие, экология, предпринимательская экосистема, неравенство, бедность, социальная депривация, поддержка предпринимательства, стартап, акселерация.

Application of innovative technologies in youth social entrepreneurship as a driver of sustainable socio-economic development

Dobrynina M. V., Rastimeshina T. V.
National Research University of Electronic Technology

Annotation. The presence worldwide of a large number of young people belonging to the NEET category (Not in Education, Employment or Training – do not receive vocational training or general education and do not work) is an important socio-economic problem. On the other hand, NEET youth is a huge resource for economic growth and sustainable social development. In particular, youth social entrepreneurship contains significant potential for positive changes, since it contributes to the achievement of such socially significant goals as employment growth, reducing inequality, reducing poverty, etc. The purpose of the study was to conceptually substantiate the thesis that the promotion of emerging, developing and widespread new and advanced technologies within the framework of youth social entrepreneurship is an important condition for ensuring the sustainable development of society (where sustainability is ensured at three key levels: economic, social and environmental). In the course of the study, the following tasks were solved: the presence of a connection between the use of new and breakthrough technologies and the socio-economic efficiency of enterprises and businesses was revealed; it is shown that this relationship is based on the genesis of new and breakthrough technologies, which by their nature have the potential for their use for the common good; the main directions of using breakthrough technologies to achieve socially significant effects are identified (these include: reduction and more efficient use of physical – material – resources and assets, development and implementation of solutions that would allow the use of non-material types of resources and assets; creation and development of new goods, services, business activities; creation of new mechanisms for social inclusion and reduction of inequality); the need to create ecosystems to support high-tech social startups and youth entrepreneurship in general is noted. Conclusions are drawn about the insufficient development of youth entrepreneurial ecosystems.
Keywords: youth, employment, entrepreneurship, social entrepreneurship, innovation, new technologies, disruptive innovations, public good, sustainable development, ecology, entrepreneurial ecosystem, inequality, poverty, social deprivation, entrepreneurship support, startup, acceleration.

Введение. В последние 10–15 лет среди молодежи всего мира продолжает разрастаться категория, которую теоретики описывают термином NEET (Not in Education, Employment or Training – не учатся, не получают образования, не работают): согласно последним данным, почти 185 миллионов молодых людей – около 30 % молодых женщин и 13 % молодых мужчин (что составляет 22,2 % от общей численности молодежи), – не имеют работы, не получают образования или профессиональной подготовки [1].

Феномен NEET представляет огромную проблему: «Нередко эксперты, оценивая данную часть молодежной страты, прибегают к термину «потерянное поколение», тем самым пытаясь привлечь особое внимание к проблемам форми-

рования рабочей силы в молодежной среде» [2, с. 128]. В то же время, молодые люди – это огромный ресурсный потенциал для экономического роста и устойчивого социального развития [4–7]. В частности, значительные потенции роста лежат в плоскости молодежного предпринимательства: «Молодежь во всем мире является группой, наиболее мотивированной к активной деятельности с целью социально-экономического преобразования своих сообществ и всего человечества. Социальное предпринимательство является, среди прочих, важным каналом участия молодежи в устойчивом развитии, поскольку оно способствует достижению социально значимых целей, в том числе сокращению масштабов бедности и безработицы, социальной интеграции и инклюзии, воплощению в повседневную жизнь технических инноваций» [3, с. 55; 14].

Цель исследования заключается в обосновании (на концептуальном уровне) следующей гипотезы: новые и передовые технологии обладают стимулирующим потенциалом для развития молодежной предпринимательской экосистемы, а продвижение зарождающихся, развивающихся и получивших распространение новых и передовых технологий в рамках молодежного социального предпринимательства является важным условием обеспечения устойчивого развития социума (где устойчивость обеспечивается на трех ключевых уровнях: экономическом, социальном и экологическом).

Ряд новых технологий могут лечь в основу инноваций, которые, в свою очередь, стимулируют и ускоряют структурные преобразования в экономике и социуме. Поскольку молодые люди, как правило, являются одними из первых, кто применяет передовые технологии (в некоторых научных исследованиях молодые поколения называют цифровыми первопроходцами или цифровыми аборигенами, и вторая метафора является более емкой, поскольку она отражает не только готовность молодых людей к освоению технологий, но и их природную, исходную, генетическую связь с цифровым пространством), они выказывают готовность воспользоваться преимуществами инноваций, чтобы повысить социальную эффективность предпринимательства [3; 5–7].

Социальные эффекты применения новых и прорывных технологий. Как молодые социальные предприниматели могут интегрировать новые технологии в устойчивое развитие сообществ, при этом преодолевая основные проблемы и риски, с которыми сталкиваются молодые люди на ранних стадиях развития своих бизнесов? Ответом на этот вопрос является то, что молодежь в рамках предпринимательских экосистем может поддерживать и продвигать инновационные технологии с учетом их сильных и слабых сторон [3; 5–8].

Термины «новые технологии», «развивающиеся технологии» и «передовые (прорывные) технологии» часто используются взаимозаменяемо: не существует консенсуса теоретиков по поводу проблемы, как объем и содержание понятий соотносятся между собой, в чем общее, особенное и различное для понятий этой группы. Например, новые технологии обычно определяются как те, разработка или внедрение которых еще не завершены, в то время как передовые технологии уже разработаны, выводятся на рынки, но, возможно, еще не получили широкого распространения. В теоретико-методологическом отношении мы опираемся на следующие определения: технология – совокупность правил, идей и конструктивных решений, которые определяют способ производства товаров и услуг;

изобретения – это новые правила, идеи и решения, влияющие на сферу производства и продвижения товаров и услуг. Изобретения становятся инновациями, когда новые правила и идеи находят практическое применение путем коммерциализации, соответственно, инновация – это извлечение экономической ценности из новых видов деятельности. Термин «передовые технологии» эффективно связывает воедино концепции инноваций и социального предпринимательства. Согласно одному из емких определений, передовые технологии – это новый этап эволюции современных технологий, перекресток, где встречаются радикальное дальновидное мышление и его реализация в социальном мире для общего блага» [9].

Быстро развивающиеся цифровые технологии уже оказывают огромное влияние на социальные и экономические отношения и процессы. Ученые называют нынешний период вторым веком машин [10; 11], отмечая, что огромное преобразующее воздействие этих технологий можно сравнить только с эффектом, вызванным наступлением «первого века машин» (промышленной революции). Благодаря таким технологиям, как паровой двигатель, электрический телеграф, газовое освещение и железные дороги мировое сообщество совершило прорыв к урбанизации, второму демографическому переходу и почти полной победе над голодом и эпидемиями. Во второй век машин прорывные технологии стимулируют и отражают конвергенцию физического и цифрового производства и потребления. Достижения в области искусственного интеллекта, Интернета вещей, передовых материалов, цифровых платформ, робототехники, аналитики больших данных и других прорывных технологий создали мир новых возможностей. Новаторы уже используют их для разработки и реализации социально значимых решений, которые помогают в эффективном отражении таких глобальных вызовов, как социальные депривация и отчуждение, безработица, голод, экологические загрязнения, коррупция, гендерное, классовое и региональное неравенство и др. [4; 11–13].

Прорывные инновации – это те, которые революционизируют способы производства, продвижения и потребления продуктов (товаров или услуг). Типичным результатом их воздействия на социально-экономическую сферу является то, что они способствуют производству и потреблению более качественных, дешевых и доступных материальных и не материальных экономических и социальных благ. Так, сегодня обладатели практически всех моделей смартфонов имеют свободный и бесплатный доступ к таким сервисам, как спутниковая навигация, обмен текстовыми сообщениями и изображениями, доступ к информации, запись и воспроизведение видео, видеоконференции и калькуляторы огромной вычислительной мощности. Согласно некоторым расчетам, пользование всеми этими сервисами в 1985 году обошлось бы одному частному лицу минимум в 32 миллиона долларов США.

Приведем некоторые примеры прорывных технологий и тех возможностей, которые они открывают с точки зрения производства и потребления дешевых и доступных благ (табл. 1). Передовые инструменты, которые вводятся в социально-экономический оборот, позволяют получить различные результаты в зависимости от того, как они применяются.

На наш взгляд, несмотря на наличие отрицательных эффектов (в частности, цифровизация некоторых видов услуг, в первую очередь, образования и медици-

ны, в некоторых развивающихся странах еще приводит к разрастанию и мультипликации эффектов социального, гендерного и регионального неравенства), в настоящее время социально-экономическое сальдо новых и передовых технологий положительное.

Таблица 1. Социально-экономическая эффективность прорывных технологий [1]

Вид прорывной технологии	Открывшиеся возможности
Интернет вещей	Оптимизация производства, прогнозируемое техническое обслуживание, «сервисификация» производства, отслеживание продуктов и др.
Цифровые платформы (бизнес-модель, основанная на технологиях, создающих ценность за счет облегчения обмена между двумя или более независимыми группами, заинтересованными во взаимодействии	Онлайн- и цифровая торговля, программное обеспечение как услуга, инфраструктура как услуга, экономика по требованию, совместное производство и производственный дизайн, кастомизация, подбор персонала, трудоустройство, обучение и повышение квалификации, поиск источников финансирования и инвесторов, биржи
Робототехника – машины и системы, способные понимать сложные команды и выполнять сложные задачи в полуструктурированной среде с минимальным вмешательством человека	Изготовление, сборка, упаковка, покраска, смешивание, загрузка, разгрузка, тестирование и инспекция товаров; сбор разведывательной информации, мониторинг и др.
Искусственный интеллект	Профилактическое техническое обслуживание, компьютерное зрение для обеспечения качества, диагностика; автоматизированное вождение, персонализация потребления, анализ данных, научное и бизнес-прогнозирование и др.
Блокчейн – цифровая технология, позволяющая структурировать и распространять данные, не прибегая к централизации процесса управления, при этом данные, сохраняемые и передаваемые с помощью этой технологии, считаются неизменяемыми, надежными, защищенными от несанкционированного доступа	Отслеживание и верификация продукции, анализ эффективности работы поставщиков, борьба с мошенничеством и коррупцией, трудоустройство и др.

Каким образом прорывные технологии меняют содержание и формы производства и потребления социальных и экономических благ? Одним из направлений воздействия технологий на социально-экономическую сферу является *сокращение и более эффективное использование физических (материальных) ресурсов и активов*, а также разработка и внедрение решений, которые позволяли бы использовать нематериальные виды ресурсов и активов. Внедряя технологии совместного и вторичного использования ресурсов, регенерации и рекуперации, производители могут хранить меньше запасов, экономить энергию, потреблять меньше невозобновляемых видов полезных ископаемых, материалов, увеличивать срок службы оборудования.

Во-вторых, *новые и прорывные технологии стимулируют создание и развитие новых товаров, услуг, направлений предпринимательской деятельности*. Безусловно, существует определенная угроза, что автоматизация и роботизация приведет к тому, что человек будет вытеснен из сферы выполнения рутинных операций (оценки показывают, что 57 % рабочих мест в странах-членах Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) связаны с задачами, которые потенциально могут быть автоматизированы [1]). Действительно, автоматизация и роботизация могут привести к усилению неравенства, поскольку эти процессы (как и цифровизация сфер производства и потребления социальных благ), способствуют смещению распределительных эффектов в направлении тех, кто изначально имел более широкий доступ к финансовым, экономическим и человеческим ресурсам. Иными словами, часть социальных эффектов цифровизации, автоматизации и роботизации могут быть описаны через «парадокс Матфея»: имущему прибавится, у бедного отнимется последнее.

В период с 2010 по 2014 год 9 из 10 предприятий в странах ОЭСР с высоким уровнем дохода имели широкополосный доступ в Интернет; соответствующие показатели стран со средним уровнем развития составили 7 из 10; стран с низким уровнем дохода – 4 из 10 [15]. Таким образом, наличие и внедрение быстро развивающихся новых технологий может усугублять неравенство. Это важно, поскольку молодые люди, желающие их использовать для создания предприятий в регионах с преобладающим сельским населением, столкнутся с дополнительными препятствиями, поскольку начинающим предпринимателям будет не хватать не только необходимых индивидуальных навыков и компетенций, но и благоприятной среды.

Вместе с тем (и в-третьих), *новые технологии и их применение в предпринимательской деятельности могут и должны способствовать инклюзии и снижению неравенства* по двум основным направлениям. Первое – производство и доставка товаров и услуг для депривированных категорий населения. Второе направление – вовлечение этих категорий в социальные и бизнес-процессы посредством: 1) создания рабочих мест для молодых женщин с детьми, для лиц с ограниченными возможностями и др.; 2) создания и развития возможностей для общения, обучения, повышения квалификации; 3) формирования сетевых – горизонтальных – структур взаимной поддержки и взаимопомощи; 4) привлечения местных жителей к представительству интересов, продвижению социальных идей и проектов и др.

Приведем несколько примеров социальных предприятий, успешно работающих по всем этим направлениям. Учредитель реабилитационного центра «Солнце мое» (Россия, Москва) столкнулась с необходимостью поиска новых методов реабилитации для своего ребенка и начала развивать собственный проект, который помогает детям и семьям детей с особенностями развития вести полноценную социальную жизнь, заводить новые связи, общаться. Проект собрал самые эффективные методики реабилитации и использует самое современное оборудование и технологии, ежемесячно в нем проходят реабилитацию около 100 детей. Другой пример инновационного социального предприятия – «Ортомода»: более 20 лет компания обеспечивает людей с ОВЗ ортопедической обувью и адаптивной одеждой, в том числе по индивидуальным меркам, с 2020 года реа-

лизуя дистанционный заказ на базе технологической платформы «Ортомода»; около 20 % сотрудников компании – люди с ограниченными возможностями здоровья. Третий вдохновляющий пример – создание и продвижение SOL («Сурдо-онлайн»). В 2013 году предприниматель С. Махашев увидел, как глухой человек покупает билет в железнодорожной кассе. Инвалиду по слуху дали лист бумаги, чтобы он написал, что ему нужно, потом кассир долго не могла разобрать написанное. Тогда Сергею пришла идея создать сервис – программу распознавания жестов глухонемых, которая бы переводила жесты в голосовую речь. Партнером С. Махашева выступил программист А. Мельник. В 2016 г. проект «Сурдо-онлайн» был запущен в Казахстане, а с 2017 года при поддержке Агентства стратегических инициатив и Фонда поддержки социальных проектов А. Мельник начал реализацию проекта на территории РФ. «Сурдо-онлайн» обеспечивает доступную среду для слабослышащих и инвалидов по слуху за счет предоставления услуг дистанционного сурдоперевода по видеосвязи. Акселератор Фонда поддержки социальных проектов помог упаковать проект, осуществить первые продажи, получить обратную связь от рынка, настроить дальнейшее продвижение платформы. Сегодня платформу SOL используют более 2000 организаций (МФЦ, центры занятости, театры, музеи, аптеки и др.).

В целом, существует положительная корреляция между уровнем внедрения новых и передовых технологий и социально-экономической вовлеченностью молодежи. Исследования Всемирного банка показывают, что в странах и регионах, где новые технологии широко применяются в быту, бизнесе и государственном управлении, меньше молодежи NEET, молодые люди более широко вовлекаются в социальные и экономические процессы, в том числе процессы принятия социально значимых решений [15].

Поэтому очевидно, что существует ряд условий, которые должны быть выполнены для того, чтобы молодые предприниматели могли в полной мере воспользоваться преимуществами передовых технологий для развития своих социальных проектов [14]. В этой сфере требуется двуединый подход, при котором государства должны способствовать внедрению новых технологий, с одной стороны, и увеличивать инвестиции человеческого и материального капитала в науку, образование, профессиональную подготовку и переподготовку молодежи, поддержку молодежных бизнес- и социальных инициатив.

В настоящее время правительствами некоторых стран и регионов уже четко и недвусмысленно расставлены приоритеты по поддержке формирования человеческого капитала и развитию необходимой физической и цифровой инфраструктуры, чтобы самые различные категории граждан, в первую очередь, молодежь, могли воспользоваться огромными потенциальными преимуществами передовых технологий для общего блага. Так, Правительство Москвы стремится поддержать молодых социальных предпринимателей в выявлении, внедрении, адаптации и коммерциализации соответствующих новых технологий, проектируя экосистему предпринимательства и развивая следующие институциональные формы поддержки: бизнес-боксы и инкубаторы для социальных проектов; региональные, всероссийские и международные конкурсы стартап-проектов, которые способствуют продвижению идей, поиску партнеров и инвесторов, субсидии (в частности, в г. Москве предоставляются субсидии за трудоустройство безра-

ботных и лиц с ограниченными возможностями здоровья, в РФ – субсидии на издание социально значимой литературы и др.); гранты для участников социальных программ; акселераторы для социальных предпринимателей. Гранты, субсидии, площадки для продвижения проектов предоставляются президентским фондом культурных инициатив, Агентством стратегических инициатив, Фондом поддержки социальных проектов и др. Для получения полезных услуг и информации предприниматели могут воспользоваться более 20 онлайн-продуктами сайта «Малый бизнес Москвы»: законодательный бизнес-дайджест, проверка контрагентов, проверка законности вывески и др.

В последние годы разнообразие институциональных форм поддержки молодежного предпринимательства быстро растет. Одним из наиболее прогрессивных является стартап-акселератор – механизм поддержки стартапов, получивший распространение после создания в 2005 году первого в мире стартап-акселератора Y-Combinator. Акселерацией молодежных стартапов занимаются органы власти, негосударственные организации и фонды. В частности, на базе «Платформы университетского технологического предпринимательства» реализуются акселерационные проекты во многих регионах РФ. В Национальном исследовательском университете «Московский институт электронной техники» начал свою работу один из них – Startup Hub «Электроника». В акселерационной программе уже приняли участие более 450 человек, которые получили возможность еженедельных встреч с наставниками, менторами, экспертами, успешными предпринимателями – лидерами рынка электроники и ИТ; доступ к технологическому оборудованию для создания MVP; доступ к образовательным программам по ряду разделов (командообразование; разработка проекта; сегментация рынка; получение патентных прав; обеспечение охраны коммерческих тайн; гранты, инвестиции, кредиты на реализацию стартапа и др.).

Заключение. Молодежь NEET представляет собой значительный потенциал для экономического и социального развития. К счастью, молодежь выказывает стремление и способность к использованию новых технологий для системного решения социальных и экономических проблем местных сообществ, регионов и стран. Более высокие темпы внедрения цифровых технологий, как правило, коррелируют с более высоким уровнем вовлеченности молодежи в экономические и социальные процессы. Но для того, чтобы эта позитивная динамика сохранялась, требуются усилия государств и гражданского общества по институционализации систем поддержки молодых людей в их стремлении к выявлению, внедрению, адаптации и коммерциализации новых технологий.

Инновации и их коммерциализация редко являются продуктом предпринимателя-одиночки; как правило, процесс внедрения инноваций подразумевает усилия нескольких агентов, которые опираются на систему поддержки инноваций (как во всех кейсах, приведенных нами в качестве примеров успешных социальных проектов). В настоящее время далеко не во всех регионах РФ созданы и успешно развиваются предпринимательские экосистемы. Осознавая наличие связи между развитием инноваций и социально-экономической зрелостью и активностью молодежи, правительства должны стремиться к созданию национальных и региональных предпринимательских экосистем, включающих в себя организации и стимулирующие механизмы, нацеленные на поощрение создания и

коммерциализацию высокотехнологичных стартапов. В этих системах институциональной поддержки тремя ключевыми сторонами должны являться органы государственной власти, коммерческие предприятия и научно-образовательные центры; развитие социального предпринимательства подразумевает также опору на поддержку со стороны структур гражданского общества. Каждый элемент экосистемы призван играть собственную роль, поэтому не существует единственной модели развития предпринимательской экосистемы. Экосистемы поддержки имеют решающее значение с точки зрения оптимизации условий для более широкого вовлечения молодежи в социальное и экономическое развитие.

Работа выполнена в рамках государственного задания (Соглашение FSMR-2023-0015).

Литература

1. World Youth Report 2020 on “Youth Social Entrepreneurship and the 2030 Agenda” [Электронный ресурс] / United Nation. Department of Economic and Social Affairs Youth. – Режим доступа : https://www.un.org/development/desa/youth/publications/2020/01/wyr-2.

2. Фальковская, К. И. Трудовая девиация молодежи на примере группы стран / К. И. Фальковская // Экономические и социально-гуманитарные исследования. – 2023. – № 3 (39). – С. 127–135.

3. Добрынина, М. В. Молодежное социальное предпринимательство: проблемы и перспективы / М. В. Добрынина, Д. Г. Коваленко // Экономические и социально-гуманитарные исследования. – 2023. – № 3 (39). – С. 53–61.

4. Добрынина, М. В. Молодежное социальное предпринимательство как драйвер экономического и социального прогресса современного общества / М. В. Добрынина, А. А. Андреева // Экономические и социально-гуманитарные исследования. – 2023. – № 1 (37). – С. 37–46.

5. Добрынина, М. В. Социально-экономическая природа социального предпринимательства и развитие молодежи / М. В. Добрынина, А. А. Андреева // Экономические и социально-гуманитарные исследования. – 2022. – № 4 (36). – С. 21–28.

6. Добрынина, М. В. Поддержка молодежного технологического предпринимательства как создание макросреды для стартапов / М. В. Добрынина, М. А. Николаева // Евразийский Союз: вопросы международных отношений. – 2022. – Т. 11, № 2 (42). – С. 108–117.

7. Николаева, М. А. Поддержка молодежного предпринимательства: система политических действий и социально-экономических эффектов / М. А. Николаева, А. А. Андреева, М. В. Добрынина // Экономические и социально-гуманитарные исследования. – 2022. – № 1 (33). – С. 76–83.

8. Харченко, А. А. Социальное предпринимательство в России / А. А. Харченко // Бизнес-образование в экономике знаний. – 2018. – № 3 (11). – С. 85–88.

9. What is frontier technology? Introducing the next generation of Gensuite [Электронный ресурс] / Gensuite. 2020. – Режим доступа : https://www.gensuite.com/what-is-frontier-technology-introducing-the-next-generati on-of-gensuite/.

10. Brynjolfsson, E. The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies / Erik Brynjolfsson, Andrew McAfee. – New York : W. W. Norton and Co., 2016. – 336 p.

11. McFadden, Ch. 27 inventions of the industrial revolution that changed the world [Электронный ресурс] / Christopher McFadden // Interesting Engineering. – Режим доступа : https://interestingengineering.com/27-inventions-of-the-industrial-revolution-that-changed-the-world.

12. Datta, P. B. Empowering women through social entrepreneurship: Case study of a women's cooperative in India / P. B. Datta, R. Gailey // Entrepreneurship Theory and Practice. – 2012. – Vol. 36. Iss. 3. – P. 569–587.

13. Prakash, A. 14 – Conclusion: corporate social responsibility as social regulation / A. Prakash // Corporate Social Responsibility in a Globalizing World / K. Tsutsui, A. Lim. – UK: Cambridge Univ. Press, 2015. – P. 455–472.

14. Purcell, G. International business mentoring for development: the importance of local context and culture / G. Purcell, R. Scheyvens // International Journal of Training and Development. – 2015. – Vol. 19 (3). – P. 211–222.

15. World Development Report 2016: Digital dividends [Электронный ресурс] / The World Bank. – Режим доступа: https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2016.

УДК 621.9.011

МКЭ-анализ несущей системы многокоординатного высокопроизводительного субтрактивного станка с ЧПУ

Довнар С. С.[1], канд. техн. наук, доцент;
Яцкевич О. К.[1], канд. техн. наук, профессор;
Колесников Л. А.[1], канд. техн. наук, доцент;
Лапука А. Д.[1], магистр; Резник С. В.[2]
[1]Белорусский национальный технический университет
220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65
[2]ОАО «СтанкоГомель», 246050, Беларусь, г. Гомель, ул. Интернациональная, 10

Аннотация. Объектом исследования является многоцелевой горизонтальный сверлильно-фрезерно-расточной станок, предназначенный для комплексной обработки корпусных деталей с разных сторон без переустановок по заданной программе. Цель работы – проведение виртуальных испытаний проектируемого станка, оценка эффективности конструкции по критерию статической и динамической жесткости, анализ его вибрационного состояния в широком диапазоне режимов обработки.
Ключевые слова: МКЭ, компьютерный аудит, ANSYS, моделирование, метод конечных элементов, напряжение, деформация, перемещения, жесткость, изгиб, нагружение, несущая система, станок, станина, собственная частота, амплитуда, модальный анализ.

FEM analysis of the supporting system of a multi-axis high-performance subtractive CNC machine

Dounar S. S.[1], Jatskevich V. K.[1], Kalesnikau L. A.[1], Lapuka A. D.[1], Reznik S. V.[2]
[1]Belarusian National Technical University
[2]JSC "StankoGomel"

Annotation. The object of research is a multi-purpose horizontal drilling, milling and boring machine designed for complex machining of body parts from different sides without resetting according to a given program. The aim of the work is to conduct virtual tests of the designed machine tool, to evaluate the efficiency of the design by the criterion of static and dynamic rigidity, to analyze its vibration state in a wide range of machining modes.
Keywords: FEM, computer audit, ANSYS, modeling, finite element method, stress, strain, displacement, stiffness, bending, loading, bearing system, machine tool, bed, natural frequency, amplitude, modal analysis.

Введение. В настоящее время обязательным этапом при выпуске новой техники является предварительное испытание пока еще виртуальной конструкции по различным критериям. Иной порядок разработки, как правило, приводит

к длительному этапу доработки уже изготовленного изделия и, соответственно, к катастрофическому возрастанию и стоимости, и сроков поставки потребителю.

Для станков одними из важнейших параметров являются статическая и динамическая жесткость и, в частности, условия возникновения резонансов. Поэтому настоящая работа посвящена изучению этих вопросов посредством математического моделирования разрабатываемого обрабатывающего центра методом конечных элементов (МКЭ) в процессе его работы.

Основная часть. На базе предоставленной 3D-модели обрабатывающего центра разработана геометрическая модель для проведения МКЭ-анализов различных типов. Проведены испытания на жесткость конструкции, модальный и гармонический анализ. По их результатам предложены конструктивные меры по повышению жесткости несущей системы, а также определена чувствительность станка к колебаниям различной частоты. На основе этих данных возможна коррекция «слабых мест» конструкции, а также обоснованное назначение режимов обработки, обеспечивающих заданную точность и производительность станка.

Горизонтальный обрабатывающий центр модели SGH630-HP проектируется как многоцелевой горизонтальный сверлильно-фрезерно-расточной станок с поворотным столом-спутником размером 630×800 мм. Основное назначение обрабатывающего центра – комплексная обработка корпусных деталей, пресс-форм и т. д. с разных сторон без переустановок по заданной программе. Стол с дискретной подачей обеспечивает поворот обрабатываемой заготовки на углы, кратные 1º. Станок должен обеспечить выполнение получистового и чистового фрезерования плоскостей, пазов и криволинейных поверхностей фрезами различных типов, а также сверление, растачивание, зенкерование, развертывание, нарезание резьбы в деталях из черных и цветных металлов.

Моделируемый обрабатывающий центр является существенно переработанной модификацией станка. Помимо ряда конструктивных изменений в базовой структуре станка, добавлен стол-спутник и, соответственно, узел смены паллет. Произведена замена всех ключевых компонентов (направляющие, ШВП, шпиндель и т. д.) на продукцию новых производств Китая. Полная (конструкторская) 3D-модель обрабатывающего центра, полученная от разработчика, представлена на рис. 1.

Полная геометрическая модель, адаптированная для МКЭ-расчета, представлена на рис. 2. В сравнении с конструкторской моделью, исключены узлы, существенно не влияющие на жесткость станка в процессе обработки.

Станина через винтовые стержневые опоры опирается на фундамент. В данной постановке фундамент моделируется бетонной плитой толщиной 1 метр. На станине установлены подвижные стойка и дискретно-поворотный стол для размещения обрабатываемой детали.

Ось X соответствует поперечным (относительно станины) перемещениям стойки по станине. Максимальное перемещение по X – 1050 мм.

Стол с установленной деталью перемещается в продольном направлении вдоль станины, что соответствует оси Z. Максимальное перемещение по Z – 1000 мм.

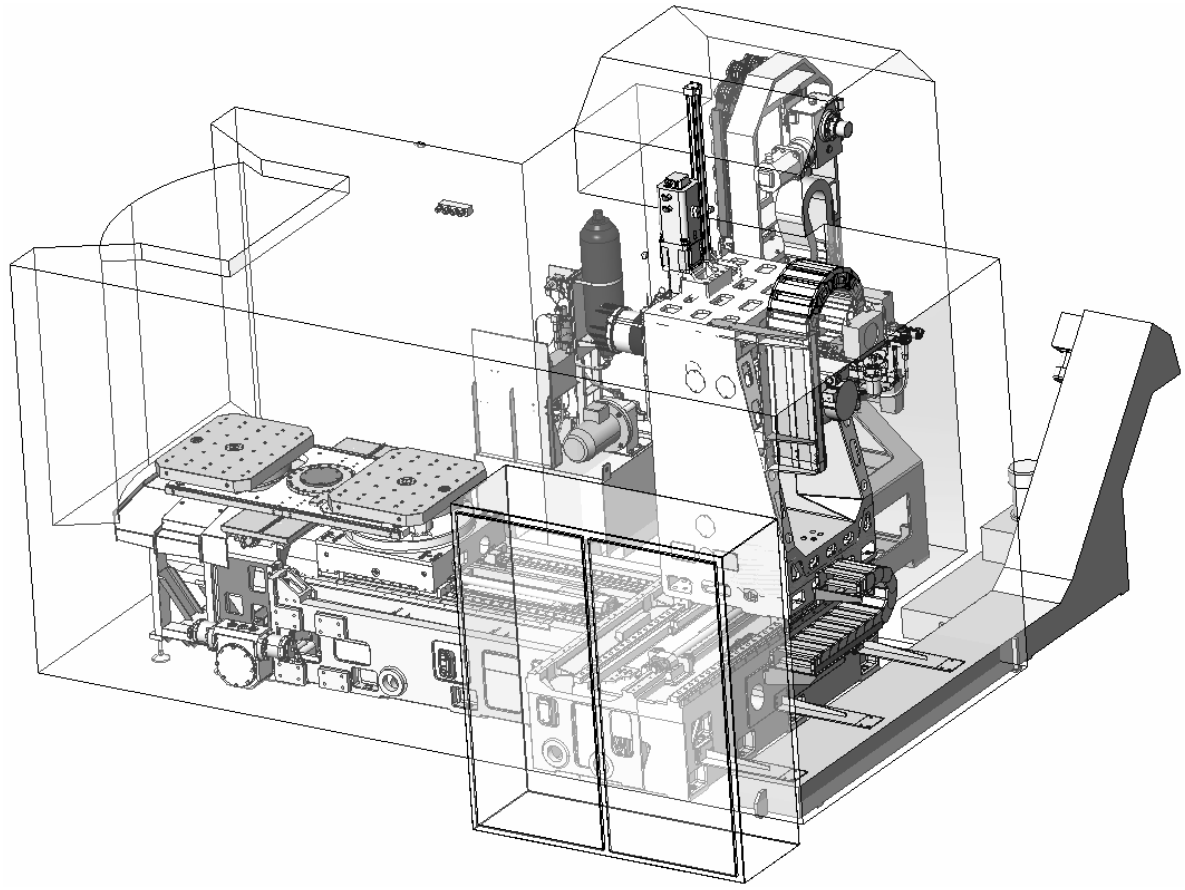


Рис. 1. Конструкторская 3D-модель обрабатывающего центра

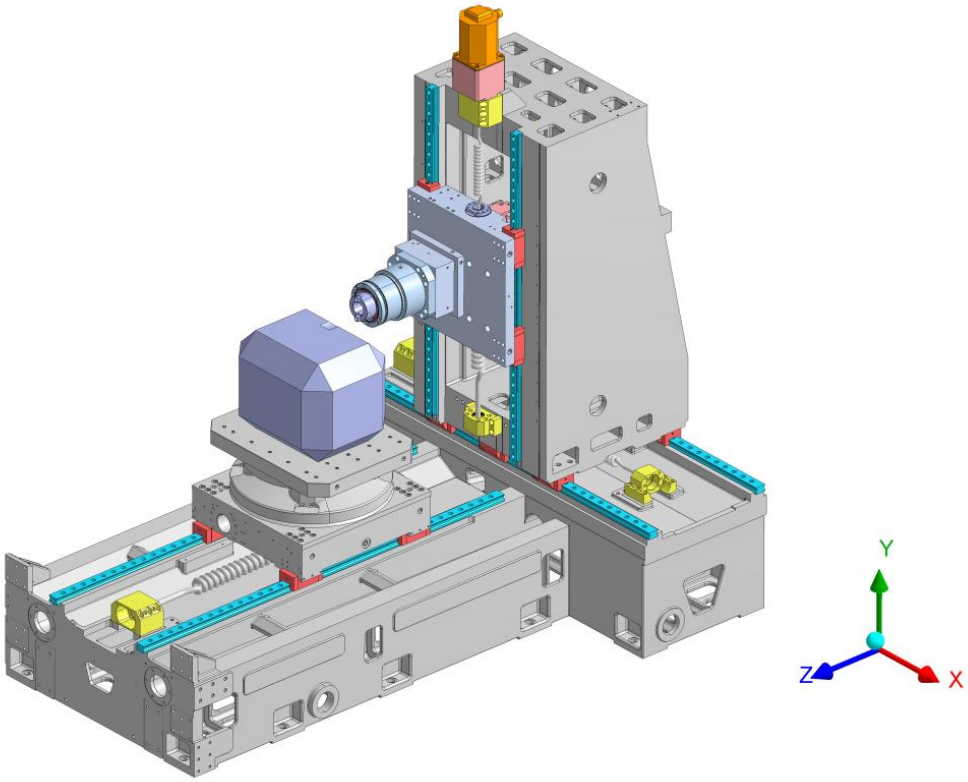


Рис. 2. Частично упрошенная модель станка для МКЭ-расчета

В вертикальном направлении относительно станины, вдоль оси *Y*, перемещается каретка со шпиндельным узлом (электродвигатель, коробка скоростей, собственно шпиндель) внутри стойки. Максимальное перемещение каретки составляет 850 мм.

Главное движение резания – вращение шпинделя, который получает вращение через редуктор от электродвигателя. Шпиндель приводится во вращение электродвигателем мощностью 18,33 кВт через двухступенчатую коробку скоростей, управляемую от ЧПУ.

Основная несущая часть станка – станина – служит основанием для пространственной компоновки и кинематической связи других узлов станка, а также обеспечения требуемой прочности и жесткости конструкции в целом.

Станина через винтовые стержневые опоры опирается на фундамент. В данной постановке фундамент моделируется бетонной плитой толщиной 1 метр. На станине установлены подвижные стойка и дискретно-поворотный стол для размещения обрабатываемой детали. Стол (вместе со сменным столом-спутником) осуществляет прямолинейное перемещение по направляющим станины в продольном направлении, стойка – в поперечном направлении.

Примеры создания сетки конечных элементов на геометрии базовых элементов станка представлены на рис. 3. Характеристики используемых материалов – в табл. 1.

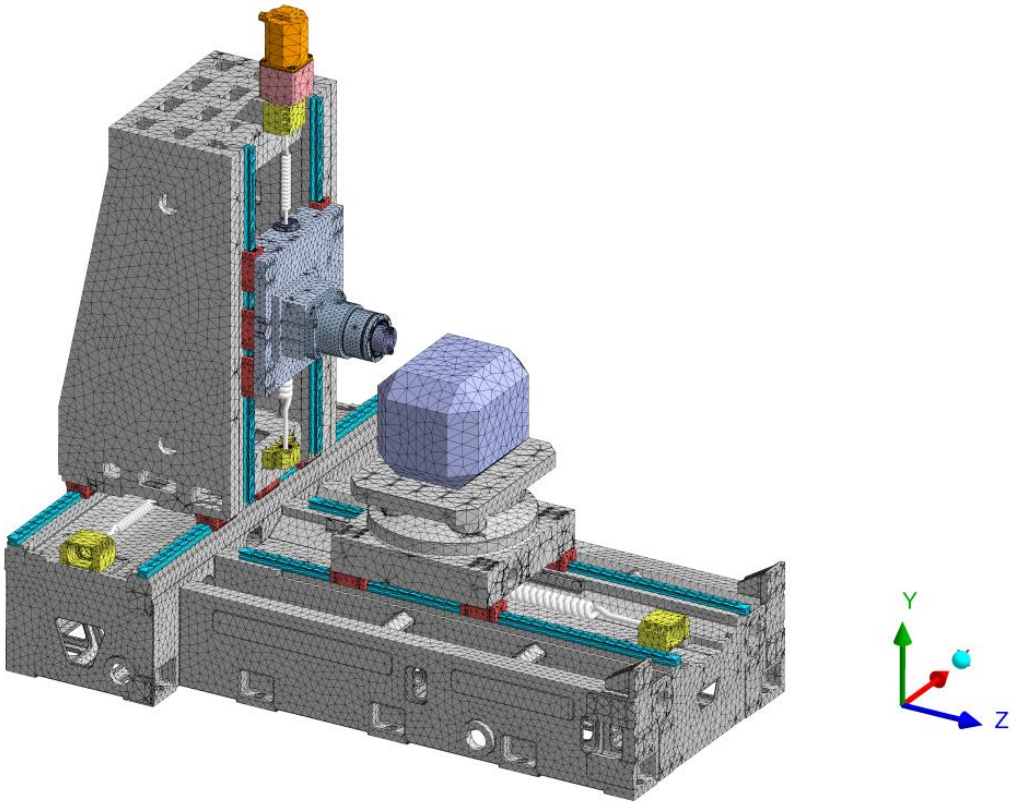
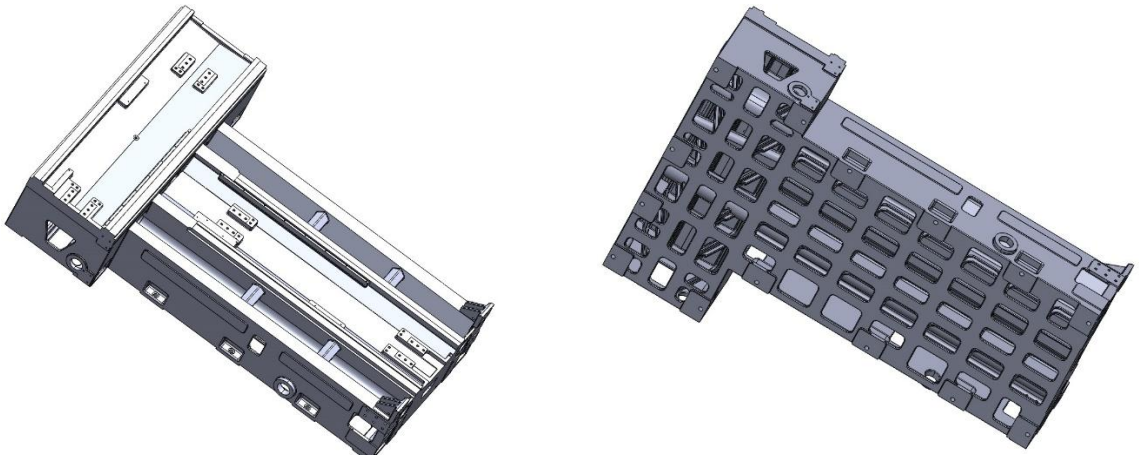


Рис. 3. Примеры сеток конечных элементов

Таблица 1. Параметры материалов, используемых в МКЭ-модели станка

Материал	Модуль упругости, ГПа	Коэффициент Пуассона	Плотность, кг/м^3	Коэффициент демпфирования, %
Сталь	200	0,3	7850	1
Чугун	130	0,28	7200	2
Бетон	30	0,18	2300	2,5
Материал вкладыша каретки 45	52,5	0,3	5500	1,5
Материал вкладыша каретки 55	54	0,3	5500	1,5
Материал вкладыша подшипника 7018	31,5	0,3	5500	1,5
Материал вкладыша подшипника 7020	33,5	0,3	5500	1,5

Станина (Basement SGH500), представленная на рис. 4, *а*, *б*, выполнена в виде крупной литой чугунной отливки Т-образной формы с развитым оребрением. Габаритные размеры станины в горизонтальной плоскости *Z*-*X* – 2700×1820 мм, в вертикальной *Y*-*Z* – 600 мм. Толщина стенок и ребер – 30–40 мм. Станина является неподвижной корпусной деталью, несущей на себе основные узлы станка.



а *б*

Рис. 4. Станина станка (Basement SGH630-HP):
а – вид сверху; *б* – вид снизу

Станина опирается на бетонные фундаментные блоки («фундамент»). Между станиной и фундаментом установлены *винтовые башмаки.* В модели они представлены упрощенно, как упругие прямоугольные стержни. В базовом варианте каждому башмаку приписана жесткость $j_б$ = 3000 Н/мкм. Расположение опор показано на рис. 5.

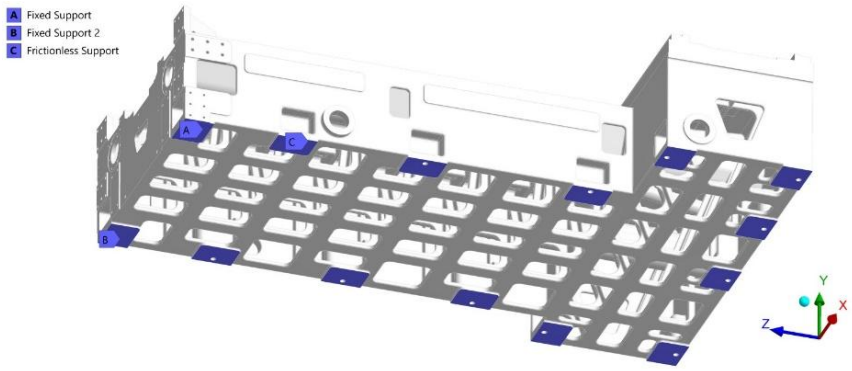


Рис. 5. Расположение опор станка

Для оценки общей картины деформации станины на рельсы направляющих по *X* и *Z* было приложено давление 10 МПа (рис. 6).

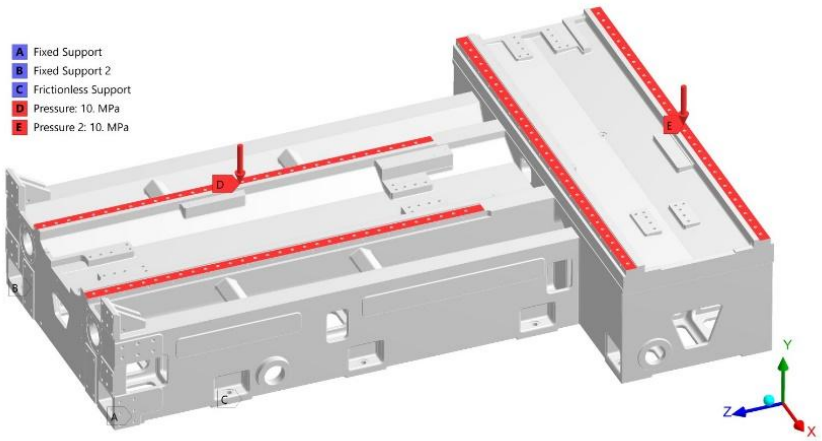
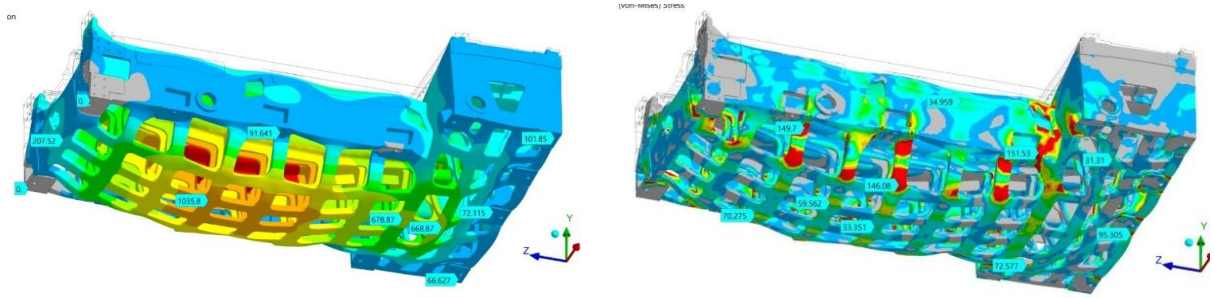


Рис. 6. Тестовое нагружение станины

Суммарная деформация под действием этого давления (рис. 7, *а*) и распределение напряжений по Мизесу (рис. 7, *б*).



а *б*

Рис. 7. Результаты тестового нагружения:
а – суммарная деформация под действием давления;
б – распределение напряжений по Мизесу

Анализ характера деформации показывает существенное провисание *Т*-образной станины в районе «ножки», под рельсами направляющих по *Z*. Станина является слишком податливой и нуждается в усилении. Это связано с наличием фундаментных опор только по контуру станины.

Аналогичный характер деформации наблюдается также и при нагружении собственным весом станка (рис. 8).

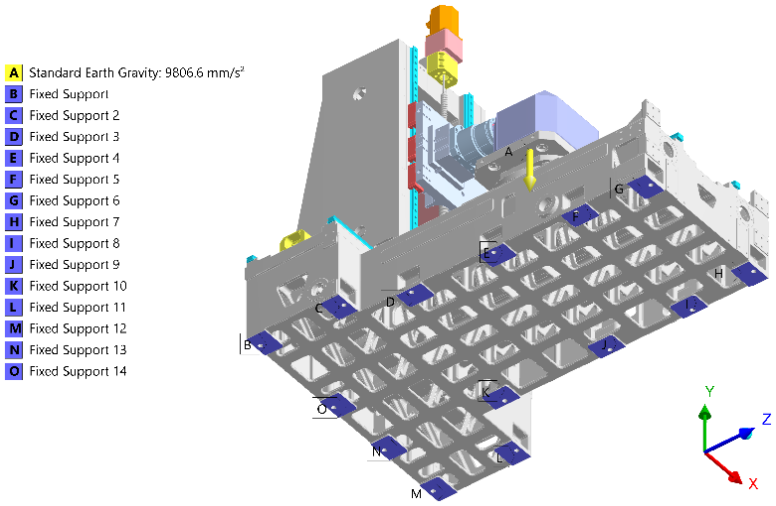
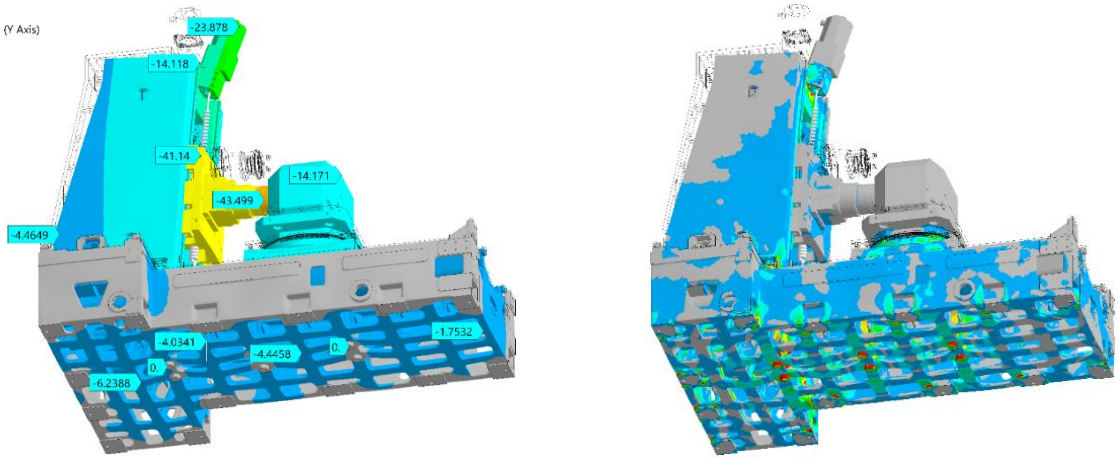


Рис. 8. Нагружение собственным весом станка

После виртуального введения трех дополнительных парных опор по серединной линии станины прогиб станины уменьшается практически в 4 раза (рис. 9, *а*). Аналогично, существенно равномерное становится распределение эквивалентных напряжений по Мизесу (рис. 9, *б*).



а *б*

Рис. 9. Выравнивание картины вертикальных перемещений (мкм) и напряжений на нижней стороне станины при нагружении станка собственным весом после введения трех дополнительных парных опор по серединной линии станины

Статический анализ. Здесь рассматривается вариант станины станка, выполненной в виде бетонной плиты в форме параллелепипеда. На рис. 10 показана конечно-элементная модель моделируемого станка. Учитывая правильную форму, однородность станины для ее разбиения использовалась регулярная сетка из шестигранных элементов. Для данного варианта станка были сделаны три расчетных случая для расчета напряженно-деформированного состояния станка при различных нагрузках.

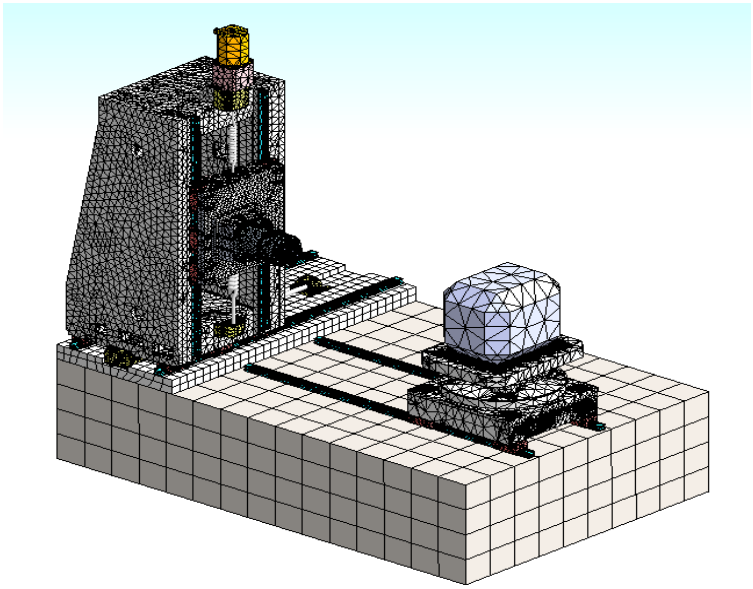
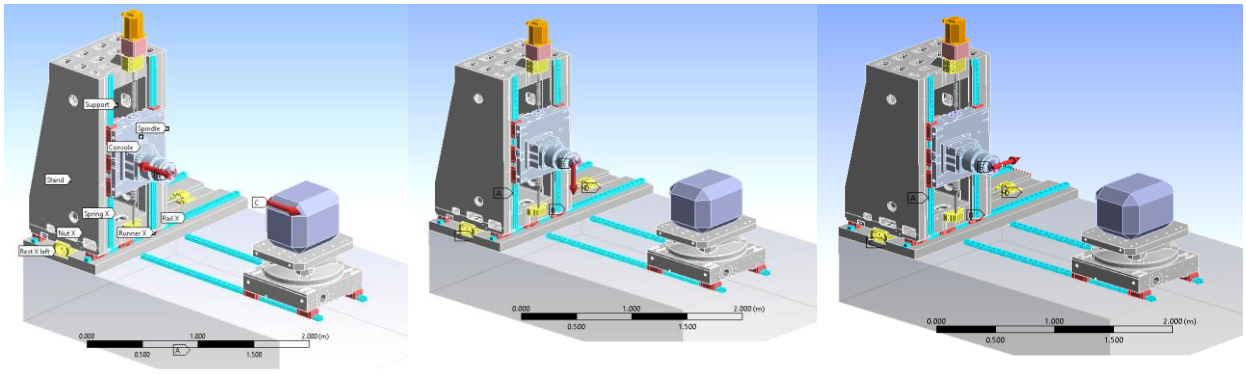


Рис. 10. Конечно-элементная модель станка с бетонной станиной

В расчетном случае 1 нагрузки прикладываются горизонтально, по оси *Z* к шпинделю и обрабатываемой детали. Нагрузки имеют одинаковую величину 4000 Н и имеют противоположное направление, как показано на рис. 11, *а*.



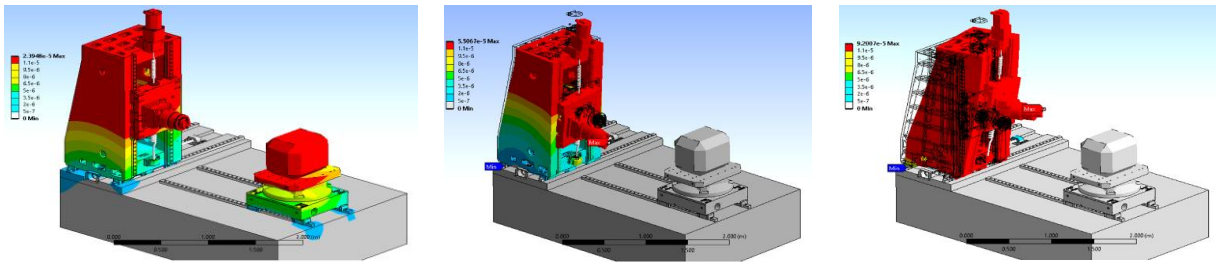
а *б* *в*

Рис. 11. Прикладываемые нагрузки:
а – в первом расчетном случае; *б* – во втором расчетном случае;
в – в третьем расчетном случае

Во втором расчетном случае нагрузка прикладывается к шпинделю вертикально вдоль оси *Y*, и имеет величину 4000 Н. Направление нагрузки можно увидеть на рис. 11, *б*.

В третьем расчетном случае нагрузка прикладывается к шпинделю горизонтально по оси *X*, как показано на рис. 11, *в*, и имеет величину 4000 Н.

На рис. 12, *а* показана картина суммарных перемещений для первого расчетного случая. Максимальное перемещение равно 0,0239 мм. Перемещения бетонной станины являются минимальными: максимальные перемещения на станине составляют около 0,0008 мм, что более чем на порядок меньше максимальных перемещений на стойке.



а *б* *в*

Рис. 12. Суммарные перемещения:
а – для первого расчетного случая; *б* – для второго расчетного случая;
в – для третьего расчетного случая

На рис. 12, *б* показана картина суммарных перемещений для второго расчетного случая. Максимальное перемещение равно 0,055 мм. Во втором случае перемещения концентрируются на стойке. Плита станины демонстрирует максимальную жесткость, величины перемещения на ней меньше максимальных перемещений на стойке на два порядка.

На рис. 12, *в* показана картина распределения суммарных перемещений для второго расчетного случая. Максимальное перемещение равно 0,092 мм. Как и во втором случае, перемещения концентрируются на стойке. Плита станины демонстрирует максимальную жесткость, величины перемещения на ней меньше максимальных перемещений на стойке на два порядка.

На рис. 13 показаны суммарные перемещения на верхней поверхности станины станка по линии, проведенной вдоль направляющей рельсы. Как видно, перемещения на поверхности станины не достигают и одного миллиметра.

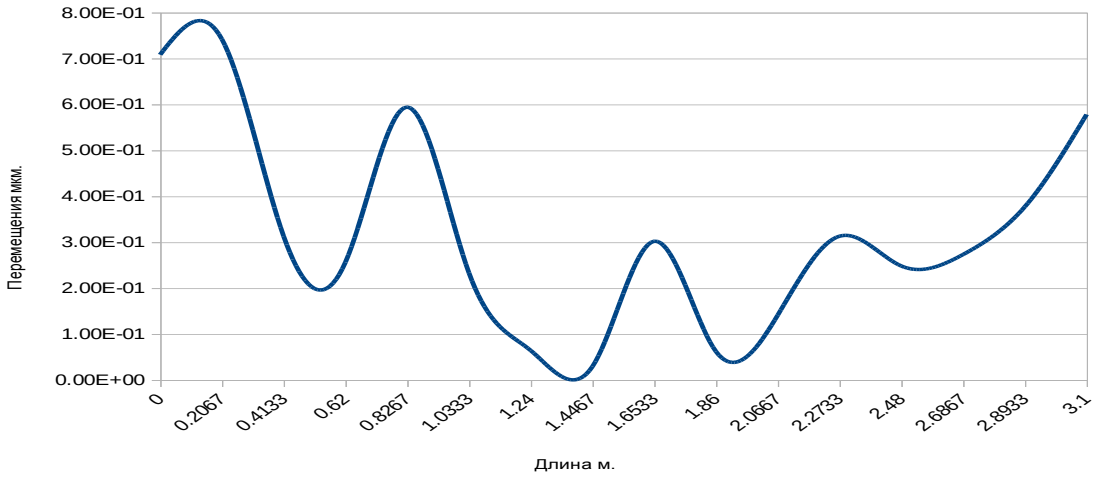
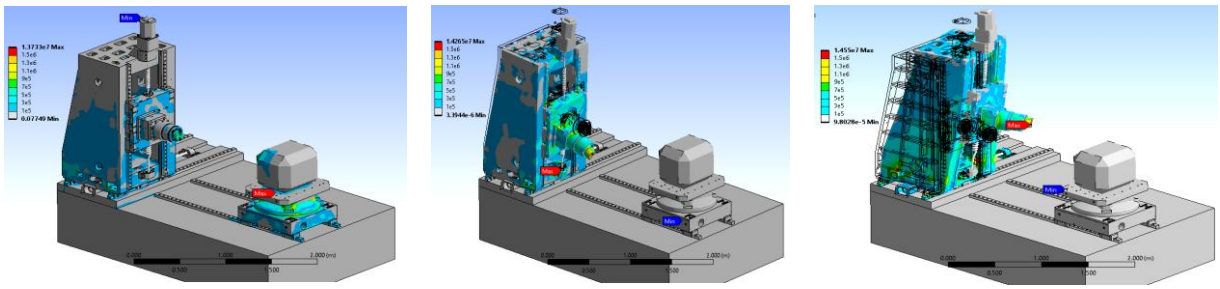


Рис. 13. Перемещения на поверхности бетонной станины станка

Картина распределения суммарных напряжений (по Мизесу) для первого расчетного случая показана на рис. 14, *а*. Максимальная величина напряжения составляет 13,73 МПа. Как и следовало ожидать, основные напряжения находятся на стойке и бабке с деталью. Величины напряжений бетонной станины меньше более чем на два порядка относительно максимального напряжения.



а *б* *в*

Рис. 14. Суммарные напряжения:
а – для первого расчетного случая; *б* – для второго расчетного случая;
в – для третьего расчетного случая

Картина напряжений для второго расчетного случая показана на рис. 14, *б*. Максимальная величина напряжения составляет 14,26 МПа. В данном случае основные напряжения находятся на стойке. Величины напряжений бетонной станины меньше более чем на два порядка относительно максимального напряжения.

Картина напряжений для третьего расчетного случая показана на рис. 14, *в*. Максимальная величина напряжения составляет 14,55 МПа. Как и в предыдущем случае, основные напряжения находятся на стойке. Величины напряжений бетонной станины меньше более чем на два порядка относительно максимального напряжения.

При модальном анализе рассматривается вариант станины станка, выполненной в виде бетонной плиты в форме параллелепипеда. Приводятся сведения о модальном анализе и картине резонансов. В ходе расчетов были получены частоты первых 12 мод. Величины частот и масштабов колебаний приведены в табл. 2.

Таблица 2. Частоты колебательных мод станка

№	Частота колебаний, Гц	Масштаб колебаний
1	33,41	1,00
2	57,91	0,01
3	72,41	0,92
4	79,13	0,01
5	84,06	0,04
6	90,85	0,07
7	106,73	0,46
8	138,59	0,18
9	152,52	0,11
10	164,00	0,01
11	179,65	0,01
12	202,93	0,03

Рассмотрим подробнее вид первых 6 мод. Форма колебаний первой моды показана на рис. 15. Для данной моды характерны качательные колебания стойки в плоскости *YOX*.

Форма колебаний второй моды показана на рис. 15, *а*. Для данной моды характерны качательные колебания стойки в плоскости *YOZ*.

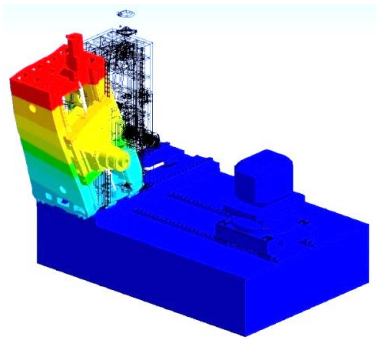
Форма колебаний третьей моды показана на рис. 15, *б*. Для данной моды характерны качательные колебания бабки с деталью в плоскости *YOX*.

Форма колебаний четвертой моды показана на рис. 15, *в*. Для данной моды характерны качательные колебания бабки с деталью в плоскости *YOZ*.

Форма колебаний пятой моды показана на рис. 15, *г*. Для данной моды характерно вращение стойки относительно оси *Y*.

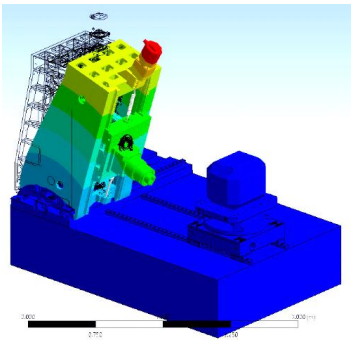
Форма колебаний шестой моды показана на рис. 15, *д*. Для данной моды характерно колебания бабки на стойке в плоскости *YOZ*.

В качестве особенности всех рассмотренных мод можно указать то, что станина не участвует в процессе колебаний. Колеблются либо стойка, либо бабка с деталью. Это еще раз демонстрирует чрезвычайно высокую жесткость бетонной станины.



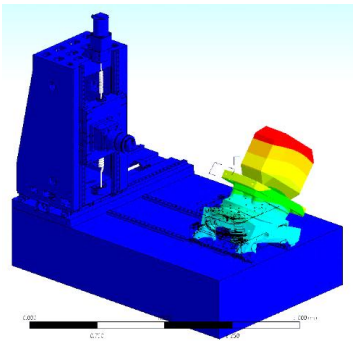
Мода на частоте 33,41 Гц

а



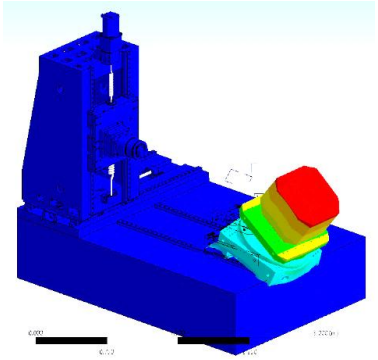
Мода на частоте 57,91 Гц

б



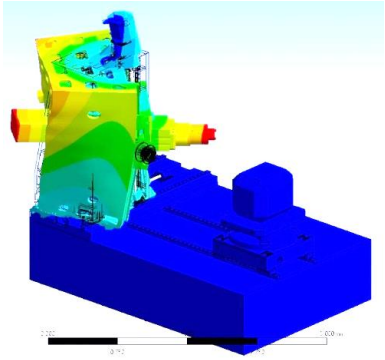
Мода на частоте 72,41 Гц

в



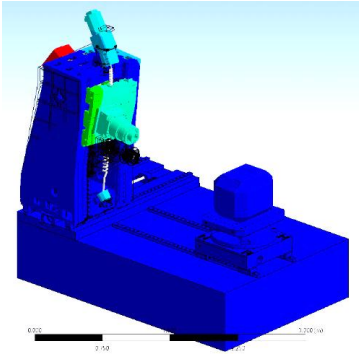
Мода на частоте 84,06 Гц

г



Мода на частоте 84,06 Гц

д



Мода на частоте 90,85 Гц

е

Рис. 15. Первые 6 мод колебаний станка

Заключение. Упругие деформации несущей системы станка (деформации структурных деталей) являются ведущим фактором податливости станка, как при статическом, так и при динамическом воздействии сил резания и других нагрузок.

Станина является слишком податливой чугунной отливкой и нуждается в усилении. Податливость станины проявляется в эффектах:

– повисание станины. Проявляется в проседании нижней стороны станины по средней линии. Связано с наличием фундаментных опор только по контуру станины;

– вертикальное сжатие станины под весом стойки и стола. Наблюдается даже при виртуальном полном опирании станины на фундамент;

– изгибные деформации по срединной линии станины создают волновой канал динамической взаимосвязи между стойкой и солом. В результате на частотах 42–49 Гц появляются опасные резонансы, в которых стол и стойка колеблются совместно в плоскости *YZ*. Это нарушает точность обработки и стабильность процесса резания.

Прежде всего, желательна доработка сквозного внутреннего оребрения в «ножке» Т-образной станины. Следует увеличить высоту станины и исключить в ней большие полости и каналы. Стоит обратить внимание на полимербетонные конструктивные решения.

При создании обобщенной станины динамическая связь между S-блоком и Т-блоком подавляется. Оба блока испытывают только локальные резонансные возбуждения. Это положительно с точки зрения сдерживания виброактивности станка.

Литература

1. Каплун, А. Б. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. – М. : Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.
2. Инженерный анализ в Ansys Workbench. / В. А. Бруяка [и др.]. – Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.
3. Определение жесткостных и диссипативных характеристик элементов сложносоставных систем / А. М. Авсиевич [и др.] // Машиностроение: Республиканский межведомственный сб. научных трудов. – Минск : БНТУ. 2018. – Вып. 31. – С. 130–135.
4. Анализ путей реновации тяжелого токарного станка с помощью МКЭ-испытаний. Часть 1. Статика и динамика радиального направления / С. С. Довнар [и др.] // Машиностроение : Республиканский межведомственный сб. научных трудов. – Минск : БНТУ, 2017. – Вып. 30. – С. 75–86.
5. Анализ жесткости подвижного портала продольно-фрезерного станка типа «Гентри» / В. И. Туромша [и др.] // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2011. – № 3 (46). – С. 15–28.
6. Василевич, Ю. В. Конечно-элементный анализ влияния бетонного наполнителя на динамическую жесткость портала тяжелого станка / Ю. В. Василевич, С. С. Довнар, И. А. Карабанюк // Наука и техника. – 2016. – Т. 15, № 3. – С. 233–241.
7. Довнар, С. С. МКЭ-анализ осевой динамики ползуна тяжелого СФР-станка / С. С. Довнар // Машиностроение: Республиканский межведомственный сб. научных трудов. – Минск : БНТУ, 2016. – Вып. 30. – С. 58–66.
8. Довнар, С. С. МКЭ-анализ эффективности полимербетонного усиления токарного инверторного станка. Статический и модальный анализ / С. С. Довнар [и др.] // Машиностроение: Республиканский межведомственный сб. научных трудов. – Минск : БНТУ, 2017. – Вып. 30. – С. 97–104.

УДК 620.92/553.493.6

Возрастающая роль отрасли редкоземельных металлов в условиях развития новой энергетики

Дорожкина И. .П., Череповицын А. Е., доктор экон. наук, профессор
Санкт-Петербургский горный университет
199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д. 2

Аннотация. Отрасль редкоземельных металлов (РЗМ) в настоящее время рассматривается как одно из перспективных направлений для развития высокотехнологичных отраслей отечественной экономики. Еще большую актуальность РЗМ получили в контексте глобального энергетического перехода – процесса, связанного с увеличением использования новых источников энергии и сокращением потребления традиционных видов топлива. В работе рассмотрены вопросы значимости РЗМ в новой энергетике, а также представлен прогноз изменения спроса на отдельные металлы в условиях современных трендов движения к углеродной нейтральности.
Ключевые слова: редкоземельные металлы, новые источники энергии, «зеленая» энергетика, энергетический переход, углеродная нейтральность.

The Growing Role of Rare Earth Metal industry in the Conditions of Development of New Energy

Dorozhkina I. P., Cherepovitsyn A. E.
Saint-Petersburg Mining University

Annotation. The rare earth metals (REM) industry is currently considered as one of the promising areas for the development of high-tech sectors of the domestic economy. REM has become even more relevant in the context of the global energy transition – a process associated with an increase in the use of new energy sources and a reduction in the consumption of traditional fuels. The paper considers the issues of the importance of REM in the new energy sector, and also presents a forecast of changes in demand for individual metals in the context of modern trends towards carbon neutrality.
Keywords: rare earth metals, new energy sources, green energy, energy transition, carbon neutrality.

Введение. Сегодня вопрос функционирования отрасли РЗМ тесно связан с инновационным развитием национальной экономики и экономической безопасностью страны в целом, так как применение данных элементов является критически необходимым в ряде высокотехнологичных отраслей.

Россия обладает одной из крупнейших ресурсных баз, занимая третье место по запасам РЗМ, однако объем производства не превышает 1 % от мирового уровня. Сравнительно новым направлением для масштабирования технологий сегодня становится развитие «зеленой» энергетики, в том числе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Ожидается, что рост спроса на ВИЭ станет основным стимулом для развития отрасли.

Цель научного исследования заключается в обосновании важности применения РЗМ в новой энергетике. В ходе работы были проанализированы научные труды как российских, так и иностранных ученых, в том числе научные статьи и обзоры по теме. Ключевые задействованные методы включают контент-анализ и кабинетное исследование.

Области применения и распределение спроса на РЗМ. По разным оценкам, около 60 % РЗМ используется в высокотехнологичных отраслях, среди которых можно выделить авиа- и ракетостроение, радиоэлектронику, военно-космическую и оборонную промышленность и др. Без РЗМ невозможно создание передовых технологий в приборостроении, металлургии, химической отрасли, а также функционирование робототехники, искусственного интеллекта.

Самый высокий спрос на РЗМ приходится на производство постоянных магнитов – около 32 %. Примерно 20 % составляет доля мирового спроса на РЗМ в металлургии, 18 % – при производстве катализаторов, 12 % – полирующих.

Магнитные материалы являются одним из важнейших компонентов при производстве ветрогенераторов, используемых в «зеленой» энергетике. Как ожидается, именно в этой отрасли произойдет наибольший рост спроса на РЗМ, что связано с увеличением потребности в ВИЭ и других низкоуглеродистых решениях и технологиях в рамках трансформации мировой энергетической системы. Как следствие, становится все более вероятным рост потребления таких элементов, как диспрозий, неодим, празеодим, необходимых для производства постоянных магнитов.

Прогноз изменения спроса на отдельные РЗМ в «зеленой» энергетике. Согласно одному из сценариев, суммарная мощность всех ветровых электростанций будет увеличиваться и к 2024 г. может составить до 121 ГВт (по сравнению с 74 ГВт в 2022 г.), а ожидаемый среднегодовой темп роста спроса на ветряную энергию в ближайшее десятилетие достигнет уровня 14 %. Основываясь на прогнозах потребления возобновляемой энергии, была произведена оценка изменения спроса на неодим и диспрозий – ключевые элементы в производстве ветрогенераторов (рис. 1).

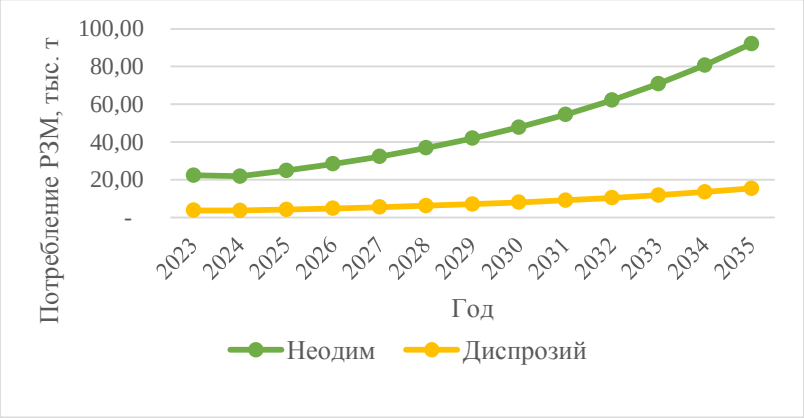


Рис. 1. Прогноз спроса на неодим и диспрозий при производстве ветрогенераторов до 2035 г.

Таким образом, спрос на неодим и диспрозий в «зеленой» энергетике может увеличиться в 6 раз к 2035 г. по сравнению с текущим уровнем.

Заключение. Предполагается, что мировое потребление и производство РЗМ будет расти благодаря развитию высокотехнологичных отраслей, включая «зеленую» энергетику, для которых эти элементы являются критически важными. РЗМ применяются в производстве магнитов, без которых не обходится создание ветрогенераторов. Данные технологические решения наряду с другими направлениями видятся неотъемлемыми для совершения энергетического перехода и достижения климатических целей по углеродной нейтральности.

Наибольшее увеличение спроса на РЗМ ожидается в сфере производства магнитных материалов, что подтверждается проведенным анализом изменения потребности в неодиме и диспрозии при производстве ветрогенераторов.

Литература

1. Брянцева, О. С. Состояние и возможности развития российской редкоземельной промышленности в условиях четвертой промышленной революции / О. С. Брянцева // Russian Economic Bulletin. – 2022. – Т. 5, № 6. – С. 264–271.
2. Cherepovitsyn, A. Prospects for the Development of the Russian Rare-Earth Metal Industry in View of the Global Energy Transition / A. Cherepovitsyn, V. Solovyova // Energies (Basel). – 2022. – Vol. 15 (1). – P. 387.
3. Renewables 2022. Отчет IEA 2022 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.iea.org/reports/renewables-2022. – Дата доступа: 20.09.2023.
4. Romasheva, N. Renewable Energy Sources in Decarbonization: The Case of Foreign and Russian Oil and Gas Companies / N. Romasheva, A. Cherepovitsyna // Sustainability. – 2023. – Vol. 15 (9).
5. Solovyova, V. Prospective industrial complexes in the Russian Arctic: focus on rare-earth metals / V. Solovyova, A. Cherepovitsyna // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 378.

УДК 629.11:004.94

Применение виртуальных испытаний при проектировании колесных погрузчиков

Дюжев А. А.[1], *канд. техн. наук*,
Шапорова Е. В.[1,2]
[1]*ОАО «АМКОДОР»-управляющая компания холдинга»*
Научно-технический центр
220013, Беларусь, г. Минск, ул. Петруся Бровки, 8
[2]*Белорусский национальный технический университет*
220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65

Аннотация. Показана возможность применения цифровых моделей для виртуальных испытаний колесных погрузчиков. Коррекция параметров цифровой модели по экспериментальным результатам позволила достичь ее адекватности для поставленных задач исследования и получить доступ к внутренним параметрам динамической системы привода хода. В результате разработанная модель позволяет имитировать переходные и установившиеся режимы работы, включая механические нагрузки, кинематические и тепловые параметры компонентов.
Ключевые слова: цифровая динамическая модель, режимы работы, гидромеханическая передача.

Application of virtual tests in the design of wheel loaders

Djuzhev A. A.[1], *Shaporova E. V.*[1,2]
[1]*Joint Stock Company AMKODOR, holding managing company*
[2]*Belarusian National Technical University*

Annotation. The article shows the possibility of using digital models for virtual tests of wheeled loaders. Correction of the parameters of the digital model based on experimental results made it possible to achieve its adequacy for the assigned research tasks and gain access to the internal parameters of the dynamic travel drive system. As a result, the developed model allows simulating transient and steady-state operating modes, including mechanical loads, kinematic and thermal parameters of components.
Keywords: digital dynamic model, operating modes, hydromechanical transmission.

Введение. В 2019 г. были отмечены неоднократные претензии потребителей и рекламации из-за перегрева гидромеханической передачи (ГМП) при транспортных переездах погрузчиков «Амкодор 334С», оснащенных гидротрансформаторами без муфты свободного хода (МСХ). По настоянию маркетинга штатные гидротрансформаторы были доработаны с установкой МСХ, после чего замечания прекратились. В 2022 г. затруднения в закупке комплектации актуализировали вопрос возможности исключения МСХ для погрузчиков грузоподъемностью 4 т.

Поскольку тягово-скоростные расчеты используются для оценки потенциала машин при максимальном нагружении, их результаты не позволяют выпол-

нить корректный прогноз влияния особенностей трансмиссии на потребительские качества погрузчика. Поэтому эта оценка выполнена путем проведения натурных и виртуальных исследований. Объектом сравнительных исследований определен погрузчик «Амкодор 342С4» с ГМП 342.17.010, оснащенной гидротрансформаторами: ГТ 320 с МСХ и без нее, в сравнении с серийным ГТ 350 с МСХ. Оформлена карта опыта № 123-2021 с программой испытаний.

Исследования цифровой модели. Цифровая динамическая модель силовой установки и приводов погрузчика «АМКОДОР» (рис. 1) выполнена по методике Siemens (модуль AMESIM, [1–3]), которая верифицирована разработчиками применительно ко всем отраслям машиностроения. Она предусматривает задание экспериментальных характеристик: ДВС в виде серии кривых «частота вращения-момент» с интерполяцией по уровню загрузки, гидротрансформатора в форме диаграмм Iгт – Мн, Iгт – Кт в том числе с учетом температуры масла, вентилятора и радиатора системы охлаждения ГМП, упруго-массовые характеристики всех элементов приводов, параметры и закон изменения коэффициента трения фрикционов, законы управления.

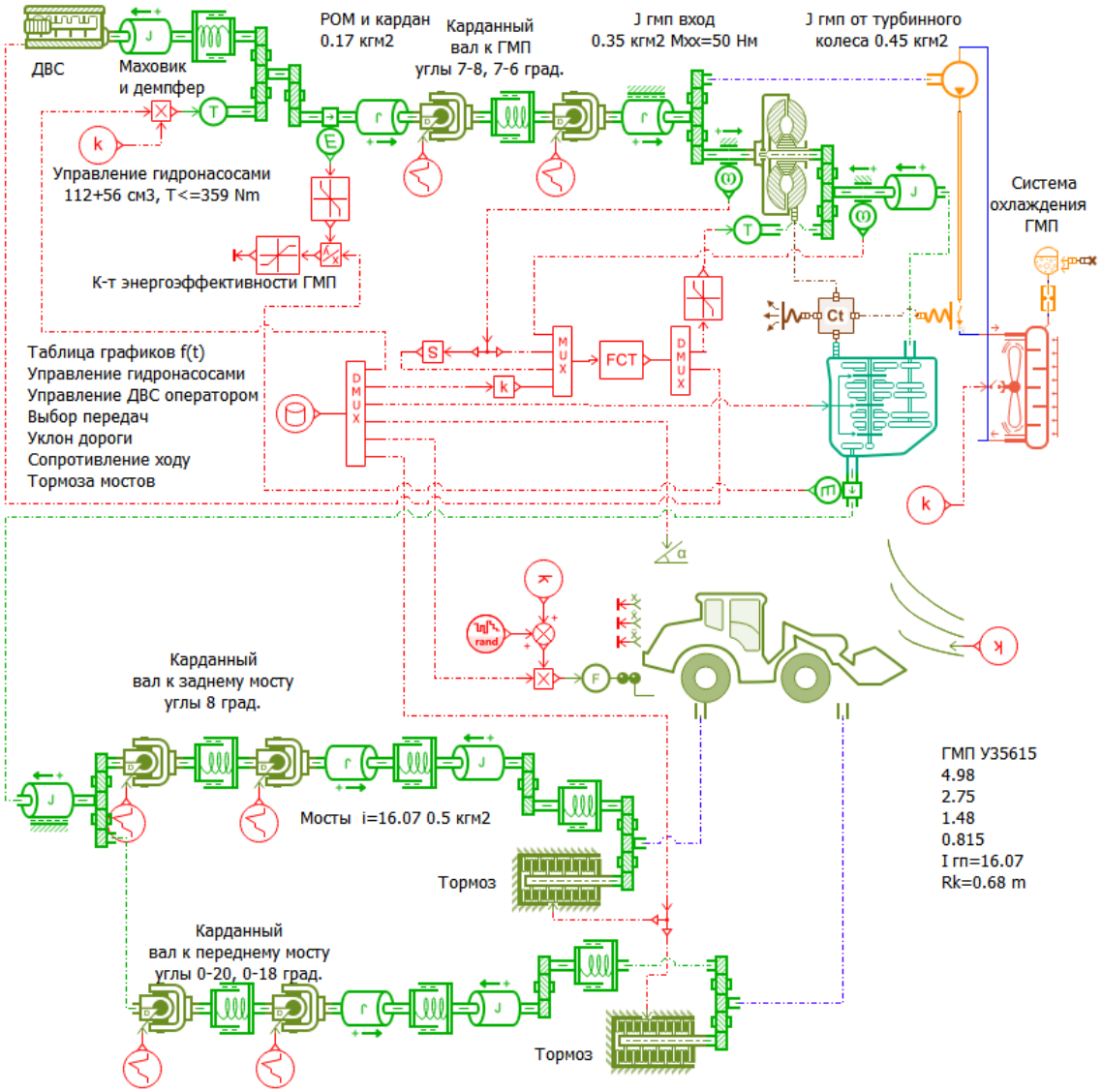


Рис. 1. Цифровая модель погрузчика «Амкодор 342С4»

Выбор передач, процент загрузки ДВС, изменение уклона дороги, изменение сопротивления ходу, включение тормозов, управление гидронасосами заданы как функция времени (табл. 1). Массовые характеристики машины и компонентов задаются как константы.

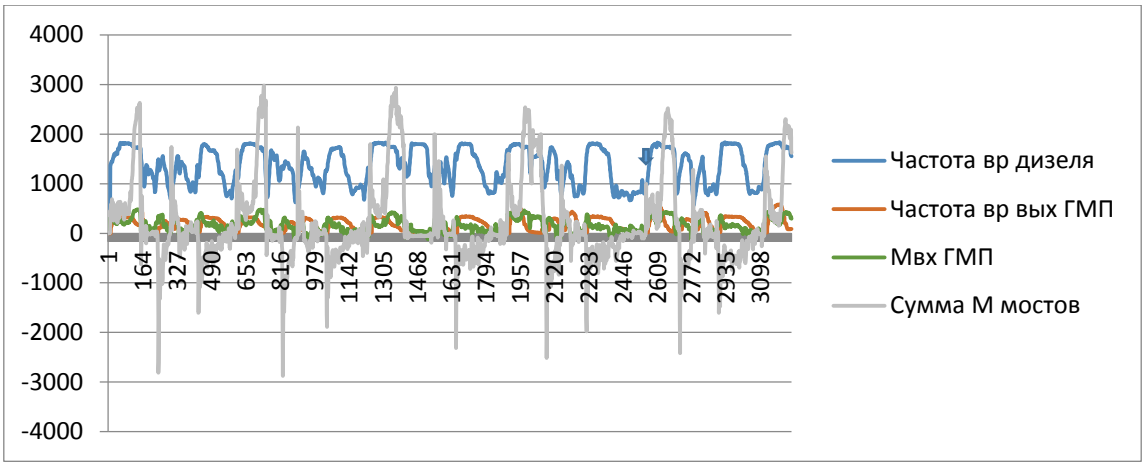
Таблица 1. Сравнительные результаты исследований

Параметры	Результаты опытов		Результат ЦМ	
	ГТ350 с МСХ	ГТ320 с/без МСХ	ГТ350 с/без МСХ	ГТ320 с /без МСХ
Максимальная скорость на 1-й передаче, км/ч	6,95	6,73/6,62	6.46/6,47	6,48/6/46
Максимальная скорость на 4-й передаче, км/ч	39,4	36/33,5	39/38.5	35,8/37,9
Время цикла погрузки, с	26	27/30	27/27,2	29/30
Кинетическая энергия массы машины к началу врезания, кДж	12,6	8,4/8,36	10,9/10,87	7,5/7,4
Удельный расход топлива в цикле погрузки на 1 т, %	100	98,8/104.2	–	–
Удельный расход топлива на 1 км пробега, %	100	117/122	–	–
Температура ГМП, приведенная к 40 °С при переезде, °С	109	117/117	108,7/108,3	119,2/114,4

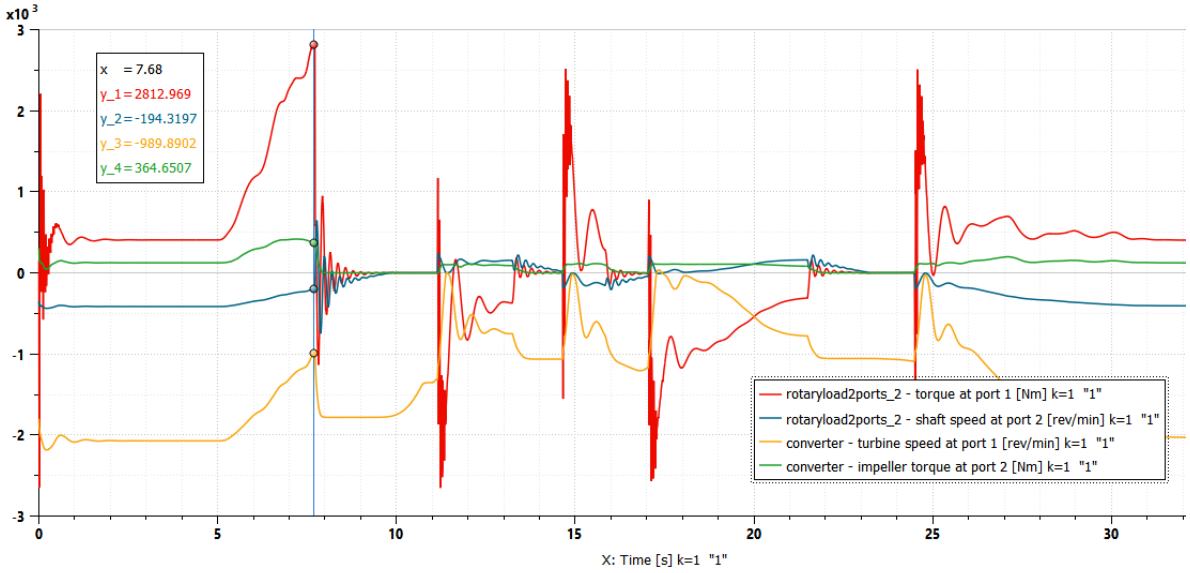
Моделирование работы в цикле. Коррекции параметров цифровой модели по экспериментальным результатам и валидации позволило достичь ее адекватности для обозначенных задач исследования и получить доступ к внутренним параметрам динамической системы привода хода. В результате разработанная ЦМ позволяет имитировать переходные и установившиеся режимы работы, включая механические нагрузки, кинематические и тепловые параметры компонентов. Пример результатов имитации работы в цикле погрузки представлен ниже (рис. 2). Расхождение с экспериментальными значениями максимальных нагрузок на входе и выходе ГМП не превышает 5 %.

Сравнение качеств погрузчиков с серийным ГТ 350 и ГТ 350 из партии (5 шт.) для сельхозмодификации показало при исследовании ЦМ различия скорости в цикле менее 3 % (рис. 3).

В результате испытаний в соответствии с данными (рис. 4) серийный ГТ350 показал большее проскальзывание при врезании, сопровождающееся на 10 % большим выделением тепла, и малое тепловыделение при низкой нагрузке. Тепловой режим приемлем.



а



б

Рис. 2. Пример результатов моделирования цикла погрузки:
а – тензограмма пяти циклов; *б* – цифровая модель одного цикла, где желтая линия – частота вращения дизеля, синяя – привода ведущих мостов, зеленая – момент на входе ГМП, красная – момент от ГМП на привод мостов

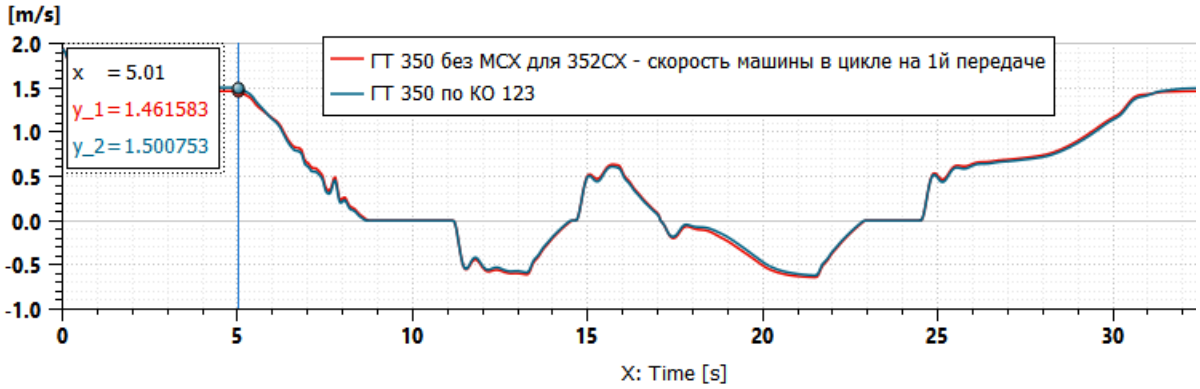


Рис. 3. Результат моделирования цикла погрузки:
Скорость в цикле погрузки на 1-й передаче при 75 % загрузке дизеля для серийного ГТ 350 по КО 123-2021 (красная линия) и ГТ 350 без МСХ (синяя линия).
Расчетная разница, в т. ч. в начале врезания в штабель, менее 3 %

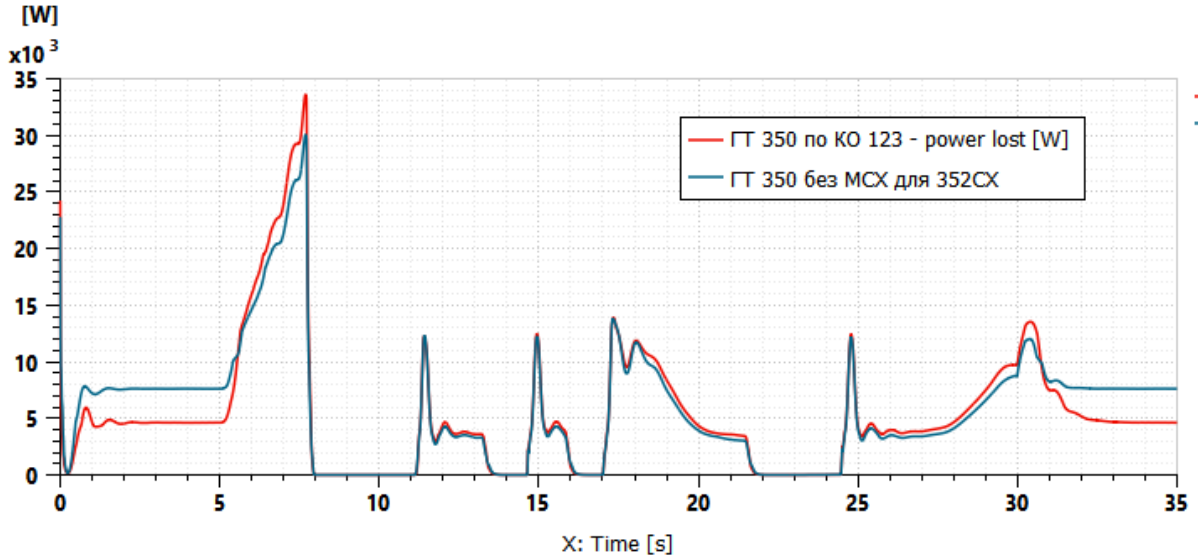


Рис. 4. Результат моделирования тепловыделения гидротрансформаторов для серийного ГТ 350 по КО 123-2021 (красная линия) и ГТ 350 без МСХ (синяя линия) в цикле погрузки

Заключение

1. Экспериментальные и полученные при моделировании тягово-скоростные качества погрузчика «Амкодор 342С4» с предложенным гидротрансформатором ГТ 320 ухудшают потребительские качества погрузчика и нарушают соответствие ТУ по транспортной скорости. Гидротрансформатор *Da* = 320 мм недостаточен для погрузчика «Амкодор 342С4», при сравнении с серийным вариантом разница заметна. Соответствие погрузчиков «Амкодор 342С4» с серийным ГТ 350 и с ГТ 320 не подтвердилось.

2. По имеющимся для моделирования данным ГТ 320 как с МСХ, так и без нее ухудшает температуру ГМП на 6–8 °С, и для приведения в норму требуется повысить теплоотдачу системы охлаждения ГМП не менее чем на 15 %, а с учетом разброса результатов проведенных ранее испытаний ГТ 320 на 20 %.

3. Виртуальные испытания погрузчика Амкодор 332С4 на основе разработанной модели с соответствующей коррекцией данных показали с ГТ 320 максимальную скорость 38,0 км/ч и температуру в пробеге до 105 °С. Однако натурные испытания при пробеге фиксируют больший нагрев.

4. Исключение МСХ из ГТ 350 на тягово-скоростные качества и тепловой режим погрузчиков грузоподъемностью 4 т, согласно расчетам, повлияло незначительно. Окончательный экспериментально обоснованный вывод будет сделан после окончания натурных испытаний в указанной конфигурации.

Литература

1. Пиляев, С. Н. Динамическое моделирование сложных технических систем / С. Н. Пиляев, С. В. Кузьменко, И. И. Аксенов // Наука, образование и инновации в современном мире (НОИ-2019) : Материалы Национальной научной конференции Воронежского государственного аграрного университета имени импера-

тора Петра I, Воронеж, 17–18 апреля 2019 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2019. – Ч. I. – С. 223–228.

2. Моделирование функции гидропривода программой «LMS Amesim» / С. Мирзалиев [и др.] // Материалы V Международной научно-практической конференции «Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве», Киров, 01–05 апреля 2019 года. – Киров : Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, 2019. – С. 308–311.

3. Хазеев, Е. В. Имитационное моделирование гидравлической системы с объемной адаптацией к нагрузке в среде «Amesim» / Е. В. Хазеев, Д. Л. Стасенко // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 28–29 апр. 2022 г. В 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2022. – Ч. 1. – С. 56–59.

4. Отчеты об испытаниях погрузчика Амкодор 342С4 согласно карте опыта № 123-2021. ИЦИДМ, 2022.

5. Методики моделирования в модуле AMESIM Siemens support.sw.siemens.com.

УДК 621.762.8

Влияние термомеханической обработки на структуру и свойства псевдосплава на основе железа, полученного инфильтрацией медным сплавом

Зверко А. А.[1]; Дьячкова Л. Н.[2], доктор техн. наук, профессор;
Шелег В. К.[1], доктор техн. наук, профессор
[1]Белорусский национальный технический университет
220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65
[2]Институт порошковой металлургии им. академика О. В. Романа
220005, г. Минск, ул. Платонова, 41

Аннотация. Представлены результаты влияния высокотемпературной термомеханической обработке (ВТМО) на прочность и структуру псевдосплава на основе железа, полученного инфильтрацией медным сплавом. Показано, что степень деформации при ВТМО оказывает существенное влияние на морфологию структуры и свойства инфильтрированных материалов, степень упрочнения при ВТМО зависит от степени деформации и определяется формируемой структурой. Установлено, что вследствие активации диффузионных процессов в процессе деформации при ВТМО сульфиды молибдена распадаются и образуют сульфиды железа и меди различного состава, молибден легирует железную основу или образует карбид. Полученные результаты могут быть использованы при разработке высокопрочных антифрикционных материалов для тяжелонагруженных узлов трения.

Ключевые слова: композиционный антифрикционный материал на основе железа, инфильтрация медным сплавом, закалка, отпуск, высокотемпературная термомеханическая обработка, структура.

Influence of thermomechanical treatment on the structure and properties of iron-based pseudo-alloy produced by infiltration with a copper alloy

Zverko A. A.[1], *Dyachkova L. N.*[2], *Sheleh V. K.*[1]
[1]*Belarusian National Technical University*
[2]*O. V. Roman Powder Metallurgy Institute*

Annotation. The results of the influence of high-temperature thermomechanical treatment (HTMT) on the strength and structure of an iron-based pseudoalloy obtained by infiltration with a copper alloy are presented. It has been shown that the degree of deformation during HTMT has a significant impact on the morphology of the structure and properties of infiltrated materials; the degree of hardening during HTMT depends on the degree of deformation and is determined by the structure being formed. It has been established that, due to the activation of diffusion processes during deformation during HTMT, molybdenum sulfides decompose and form iron and copper sulfides of various compositions; molybdenum alloys the iron base or forms carbide. The investigation results can be used in the development of high-strength antifriction materials for heavily loaded friction units.
Keywords: iron-based composite anti-friction material, copper alloy infiltration, quenching, tempering, high-temperature thermomechanical processing, structure.

Введение. Для деталей тяжелонагруженных узлов трения необходимо применение антифрикционных материалов, сочетающих высокие триботехнические, механические и теплофизические свойства. Материалы, получаемые методами порошковой металлургии, облают хорошими триботехническими свойствами за счет введения в их состав твердых смазок, а в случае работы в условиях смазки пористость является дополнительным источником смазки. Однако порошковые материалы из-за наличия пористости имеют низкую прочность.

Наиболее эффективным методом удаления пористости в порошковых материалах на основе железа является инфильтрация более легкоплавкими, чем основа, сплавами, это так называемые псевдосплавы, имеющие высокоплотное состояние и повышенную теплопроводность [1–4]. Для улучшения триботехнических свойств при работе с ограниченной подачей смазки в железный каркас псевдосплавов вводят твердые смазки, такие, как сульфиды, селениды, йодиды, хлориды, фториды, нитриды и оксиды металлов, но наиболее широкое распространение из них получили сернистые соединения молибдена, марганца, цинка, фторид кальция [5–7]. Введение дисульфида молибдена или марганца в порошковые стали позволяет применять их для изготовления деталей трения, работающих при повышенных скоростях, нагрузках и температурах.

При очень больших нагрузках уровень прочности псевдосплавов порошковая легированная сталь – медный сплав недостаточный, поэтому их упрочняют методами термической, деформационной обработки или их сочетанием – термомеханической обработкой (ТМО) [8–12]. В зависимости от последовательности проведения операций термообработки и деформации, а также температуры деформации различают высокотемпературную ТМО (ВТМО), низкотемпературную ТМО (НТМО), предварительную ТМО (ПТМО) [13]. Также, как и в ком-

пактных, при термомеханической обработке порошковых сталей в качестве схемы деформации применяются прокатка, выдавливание (экструзия), ковка, штамповка и др.

Применение термомеханической обработки (ТМО), сочетающей термическую и деформационную обработку, для упрочнения порошковых сталей более эффективно, чем для компактных, так как наряду со структурными процессами, происходящими при ТМО, существенно снижается пористость сталей. Наиболее существенное упрочнение и уплотнение достигается при высокотемпературной термомеханической обработке, деформация при которой осуществляется прокаткой, штамповкой, экструзией и др. [14]. Кроме того, благодаря тому, что порошковые стали являются наследственно мелкозернистыми, в них не происходит значительный рост зерна при перегреве, как в компактных материалах [15]. Применение ТМО для псевдосплавов имеет особенности, поскольку они состоят из фаз, существенно отличающихся по механическим и теплофизическим свойствам.

Ранее проведенные исследования показали, что горячая штамповка обеспечивает повышение прочности псевдосплавов в 1,5–3 раза, ударной вязкости – в 1,5–2,5 раза, пластичности – на 1,5–2 % [16]. Еще в большей степени повышение свойств достигается сочетанием пластической деформации и термической обработки – термомеханической обработкой по различной схеме [15]. При пластической деформации в материале увеличивается плотность несовершенств кристаллического строения – дислокаций, вакансий, мало- и высокоугловых границ и изменяется характер их распределения [17], поэтому фазовые превращения при ТМО происходят в условиях повышенной плотности дефектов решетки. При ВТМО происходит наиболее эффективное упрочнение за счет наследования мартенситом дислокационной структуры упрочненного исходного аустенита.

Вследствие сложного строения псевдосплавов особое значение для достижения высокого уровня свойств имеют структурные превращения, происходящие в фазовых составляющих материала в процессе обработки, в связи с этим исследования процессов структурообразования играют важную роль.

Основная часть. В работе исследовали влияние режимов ВТМО на структуру и свойства псевдосплава, полученного инфильтрацией бронзой БрО5 спрессованных каркасов из порошковой стали с 1,2 % графита и 1 % дисульфида молибдена ЖГр1,2Мс1Д17О1.

Шихту на основе железа и меди получали смешиванием в шаровом смесителе типа «пьяная бочка» в течение 1,5 ч из порошков в состоянии поставки железа марки ПЖРВ, графита карандашного марки ГК-1, меди марки ПМС-1, олова марки ПО-1, дисульфида молибдена. В шихту на основе меди дополнительно вводили железо в количестве 5 % и специальные добавки в количестве 1,5 % для исключения эрозии при инфильтрации.

Из шихты на основе железа прессовали образцы диаметром 50 мм по упору для получения относительной плотности 82–83 %. Инфильтрацию спрессованных каркасов осуществляли в атмосфере эндогаза при температуре 1080 °С при контакте прессовок из порошковой бронзы необходимой массы.

ВТМО проводили по схеме: нагревали инфильтрированные образцы в камерной печи «Naber» (Германия) на воздухе (так как псевдосплав обладает повышенной коррозионной стойкостью) до температуры 800 °С; переносили к прецизионному штамповочному прессу АРС-160; деформировали свободной осадкой (плиты на прессе предварительно нагревали до температуры 800 °С для предотвращения охлаждения образцов при деформации) при температуре 750 °С со степенями 30, 45, 65 %; закаливали в воде; отпускали в камерной печи «Naber» (Германия) на воздухе при температуре 200 °С и 500 °С в течение 1 ч.

Деформацию при ВТМО проводили на прецизионном штамповочном прессе АРС-160 по схеме свободной осадки. Плиты на прессе предварительно нагревали до температуры 800 °С. Инфильтрированные образцы нагревали в камерной печи «Naber» (Германия) на воздухе, поскольку исследуемый псевдосплав обладает повышенной коррозионной стойкостью, до температуры 800 °С, переносили в пресс, осаживали при температуре 750 °С со степенями 30, 45 и 65 %, после чего закаливали в воде и проводили отпуск при температуре 200 °С и 500 °С в течение 1 ч.

Структуру исследовали на металлографическом микроскопе MEF-3 (Австрия) и электронном микроскопе Mira (Чехия) с приставкой INCA 350 фирмы Oxford Instruments (Великобритания), предназначенной для микрорентгеноспектрального анализа. Шлифы изготавливали в параллельном и перпендикулярном направлении приложения давления, травили 4 %-ным раствором пикриновой кислоты в этиловом спирте. Рентгеноструктурный анализ выполняли на дифрактометре Ultima IV (Rigaky) в $Cu_{k\alpha}$-излучении.

Прочность при изгибе определяли на образцах 5×10×55, вырезанных из обработанных образцов на универсальной испытательной машине «Tinius Olsen H150KU».

Испытания показали, что предел прочности при изгибе после инфильтрации составляет 650–690 МПа.

ВТМО позволила существенно повысить прочность исследуемого псевдосплава, причем упрочнение зависит от степени деформации (табл. 1) и определяется структурой.

Таблица 1. Влияние степени деформации при ВТМО на предел прочности при изгибе

Степень деформации, %	Предел прочности при изгибе, МПа
30	950–970
50	1240–1260
70	1310–1340

Исследование образцов после инфильтрации выявило, что структура состоит из участков стального каркаса со структурой перлита с небольшим количеством цементита, участков медной фазы, расположенных по границам и в стыках частиц стального каркаса, и включений сульфидов, как в медной фазе, так и в стальном каркасе (рис. 1).

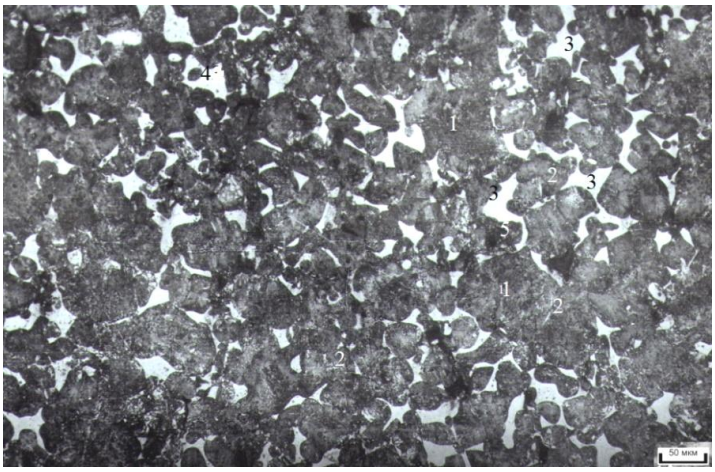


Рис. 1. Структура псевдосплава ЖГр1,2Мс1Д17О1 после инфильтрации:
1 – участки стального каркаса с перлитной структурой; *2* – включения цементита;
3 – участки медной фазы; *4* – включения сульфида в медной фазе;
5 – включение сульфида в участке стального каркаса

Исследование структуры псевдосплава ЖГр1,2Мс1Д17О1, подвергнутого ВТМО, показало, что при деформации образуется макротекстура, структура в направлении, параллельном и перпендикулярном направлению приложения давления, различается (рис. 2). После ВТМО со степенью деформации 30 % и отпуска при 200 °С в направлении, параллельном приложению давления, отмечается уменьшение размера зерен в стальном каркасе и появление большего количества тонких участков медной фазы (рис. 2, *а*). Зерна меньшего размера в стальном каркасе имеют структуру бесструктурного мартенсита и троостомартенсита, большего размера – троостита с остаточным аустенитом (мелкодисперсные светлые включения) (рис. 2, *б*).

При отпуске при температуре 500 °С прочность псевдосплава повысилась на 50–150 МПа благодаря тому, что при высокотемпературном отпуске остаточный аустенит распадается, структура стального каркаса становится преимущественно бейнитной (рис. 2, *в*), а в медной фазе происходит старение – выделение ультрадисперсных фаз (рис. 2, *е*). Согласно [18] это могут быть фазы Fe_4Cu_3 и η-Cu_6Sn_5.

Увеличение степени деформации при ВТМО до 50 % приводит к еще большему измельчению структуры стального каркаса псевдосплава, уменьшению толщины прослоек медной фазы (рис. 3, *а*), а также увеличению содержания остаточного аустенита на 20–25 % (рис. 3, *б*). Так как, из-за повышенного количества дефектов имеет место ускорение диффузионных процессов, увеличивается количество меди и однородность по углероду в стальном участке. Структура стального каркаса представляет собой бесструктурный мартенсит (рис. 3, *в*).

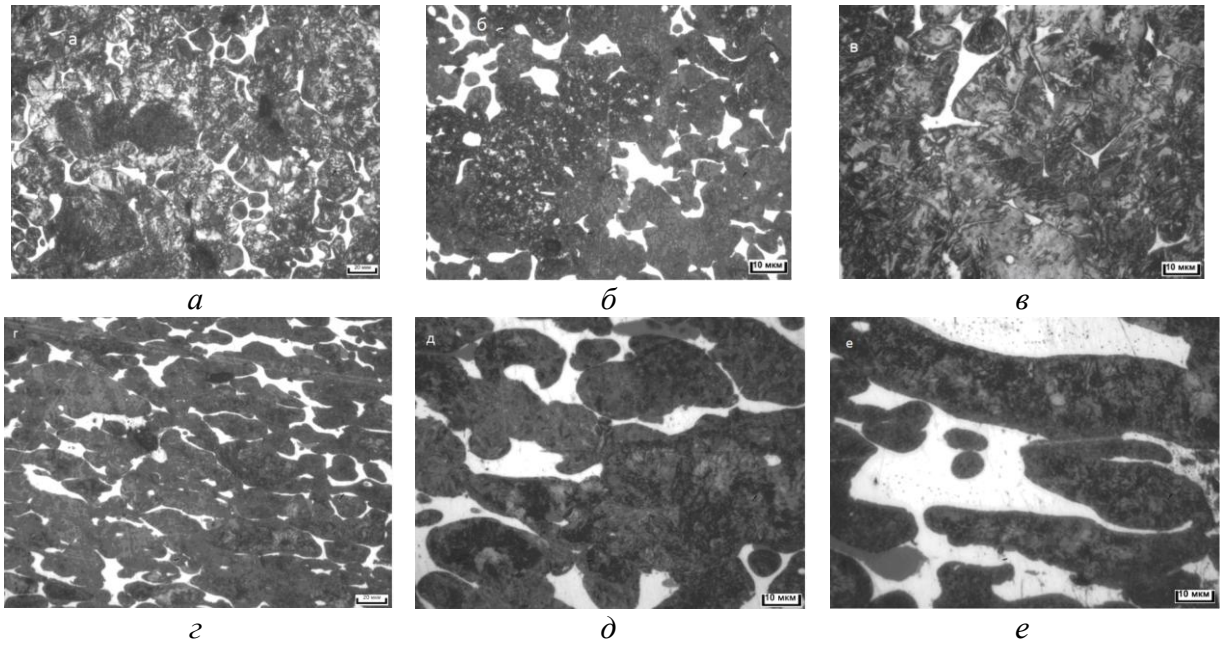


Рис. 2. Структура псевдосплава ЖГр1,2Мс1Д17О1 после ВТМО со степенью деформации 30 % и отпуска: *а, б, в* – в направлении, параллельном приложению нагрузки; *г, д, е* – в направлении, перпендикулярном приложению нагрузки; *а, б* – температура отпуска 200 °С; *в, г, д, е* – температура отпуска 500 °С

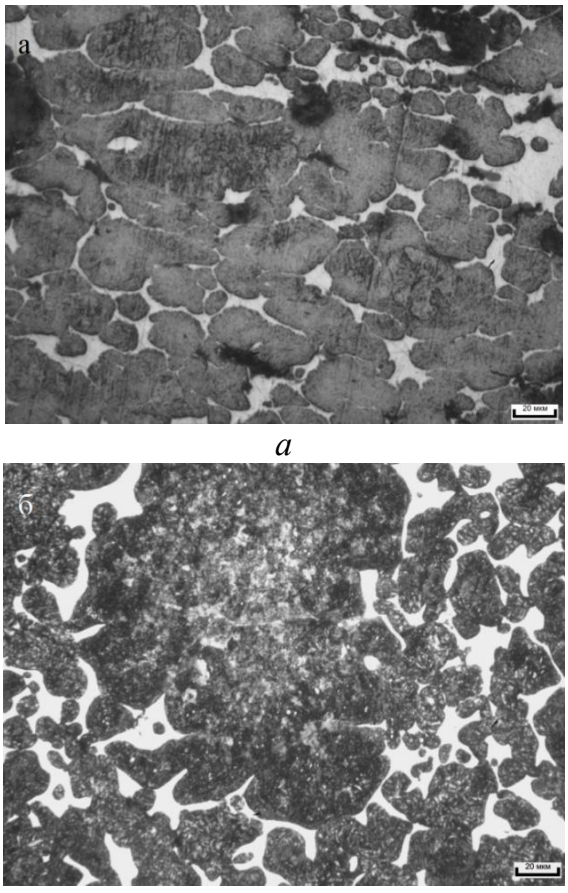
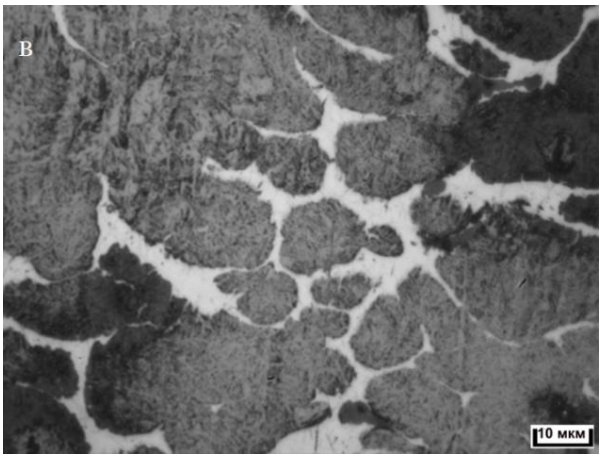


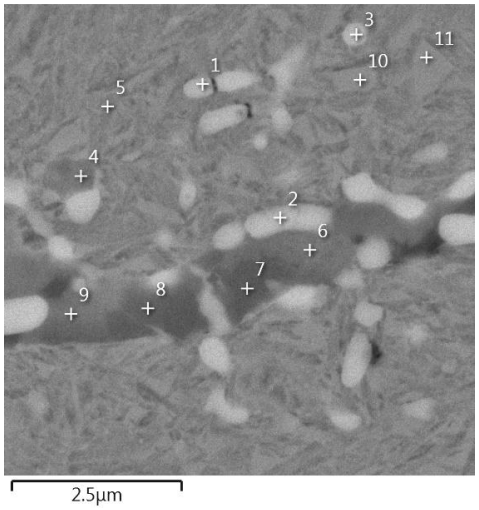
Рис. 3. Структура псевдосплава ЖГр1,2Мс1Д17О1 после ВТМО со степенью деформации 50 % и отпуска при 550 °С: *а* – в направлении, перпендикулярном приложению нагрузки; *б, в* – в направлении, параллельном приложению нагрузки; *а, б* – ×200; *в* – ×500



в

Рис. 3. (окончание)

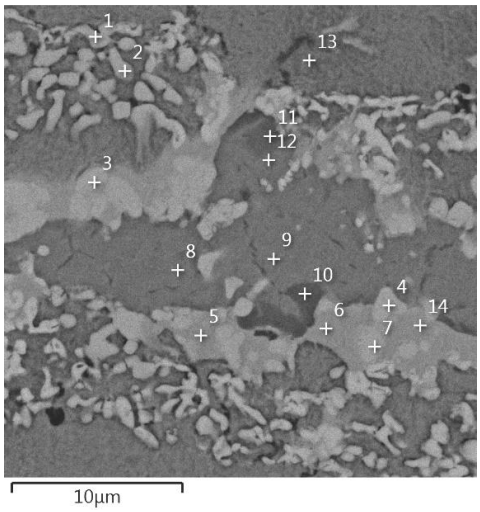
Микрорентгеноспектральный анализ выявил, что в процессе ВТМО, вследствие активации диффузионных процессов, сульфиды молибдена распадаются и образуют сульфиды железа и меди различного состава (рис. 4, *а*, спектр 6; рис. 4, *б*, спектры 8, 9, 12), а молибден легирует железную основу или образует карбид в виде белых округлых включений (рис. 4, *а*, спектры 1, 3; рис. 4, *б*, спектры 1, 2, 3, 7), причем после ВТМО со степенью деформации 50 % таких включений значительно больше.



Спектр	S, %	Mo, %	Mn, %	Cu, %	Sn, %	Fe, %
1	0,9	36,8	0,0	2,8	0,1	ост.
2	4,1	28,9	1,6	6,7	0,0	ост.
3	0,7	35,8	0,0	2,5	0,0	ост.
4	7,1	12,5	0,3	23,9	0,0	ост.
5	0,1	2,2	0,1	4,9	0,0	ост.
6	16,1	3,3	5,0	36,2	0,1	ост.
7	18,0	3,1	25,8	12,5	0,2	ост.
8	16,9	11,8	22,3	11,3	0,3	ост.
9	15,5	9,3	4,1	29,0	0,2	ост.
10	0,2	2,15	0,1	5,7	0,1	ост.
11	0,0	2,2	0,0	6,1	0,0	ост.

а

Рис. 4. Структура включения сульфида в обратно рассеянных электронах в псевдосплаве ЖГр1,2Мс1Д17О1 после ВТМО:
а – со степенью деформации 30 %; *б* – со степенью деформации 50 %



б

Спектр	S, %	Mo, %	Mn, %	Cu, %	Sn, %	Fe, %
1	1,2	47,5	0,0	2,.0	0,2	ост.
2	0,8	38,0	0,0	2,4	0,2	ост.
3	0,6	47,1	0,2	9,8	1,0	ост.
4	1,1	51,7	0,1	2,9	0,1	ост.
5	0,0	0,7	0,1	79,4	4,4	ост.
6	0,2	0,0	0,2	81,9	4,7	ост.
7	1,1	50,8	0,0	4,9	0,4	ост.
8	23,3	0,2	1,3	55,2	0,0	ост.
9	23,3	0,6	1,5	54,7	0,1	ост.
10	31,1	0,9	37,9	9,6	0,1	ост.
11	27,3	1,0	26,0	26,1	0,2	ост.
12	22,9	0,0	5,0	52,3	0,0	ост.
13	0,0	2,3	0,1	6,5	0,0	ост.
14	0,0	2,0	0,1	79,7	5,33	ост.

Рис. 4. (окончание)

Заключение. Исследовано влияние ВТМО на прочность и структуру псевдосплава на основе железа, полученного инфильтрацией медным сплавом, показано, что степень упрочнения при ВТМО зависит от степени деформации и определяется формируемой структурой. Структура псевдосплава после инфильтрации состоит из участков стального каркаса с практически однородной по углероду структурой перлита с небольшим количеством цементита, участков медной фазы, расположенных по границам и в стыках частиц стального каркаса, и включений сульфидов, расположенных преимущественно в медной фазе. При высокотемпературной термомеханической обработке происходит измельчение структуры, образование макротекстуры, уменьшение толщины прослоек медной фазы, причем толщина прослоек зависит от степени деформации. От степени деформации зависит также структура стального каркаса, так, после ВТМО со степенью деформации 30 % структура состоит из бесструктурного мартенсита, троосто-мартенсита и остаточного аустенита, при этом в приграничных с медной фазой участках содержание углерода несколько меньше, со степенью деформации 50 % – бесструктурного мартенсита и на 20–25 % большего содержания аустенита, при этом распределение углерода более однородное, а изменение содержания меди, олова и железа плавное. Установлено, что при пластической деформации при ВТМО деформации подвергаются и включения сульфидов, кроме того, вследствие активации диффузионных процессов, сульфиды молибдена распадаются и образуют сульфиды железа и меди различного состава, молибден легирует железную основу или образует карбид.

Литература

1. Латыпов, М. Г. Структура и свойства метастабильных псевдосплавов сталь – медь / М. Г. Латыпов, Е. В. Черепахин, А. А. Шацов // Перспективные материалы. – 2008. – № 2. – С. 63–68.

2. Композиционные материалы в технике / Д. М. Карпинос [и др.]. – Киев : Техніка, 1985. – 152 с.

3. Семенов, А. П. Антифрикционные материалы : опыт применения и перспективы / А. П. Семенов // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2007. – № 12. – С. 21–36.

4. Иванов, В. В. Получение и свойства медьсодержащих композиционных материалов электротехнического назначения: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.06 / В. В. Иванов. – Красноярск, 2001. – 363 с.

5. Краснобаев, А. Г. Конструирование структуры композиционных материалов на основе железа с заданными функциональными свойствами : дис... канд. техн. наук: 05.02.01 / А. Г. Краснобаев. – Ростов-на-Дону, 2005. – 198 с.

6. Определение оптимального количества твердой смазки композиционных антифрикционных материалов / Г. Х. Карапетян [и др.] // Порошковая металлургия. – 1988. – № 6. – С. 85–88.

7. Брейтуэйт, Е. Р. Твердые смазочные материалы и антифрикционные покрытия / Е. Р. Брейтуэйт. – М. : Химия, 1967. – 245 с.

8. Анциферов, Н. Н. Конструктивная прочность концентрационно-неоднородных порошковых сталей / Н. Н. Анциферов, А. А. Масленников, В. Н. Шацов. – Пермь : Пермский Гостехуниверситет, 1996. – 206 с.

9. Шацов, А. А. Оптимизация состава и режима термообработки композиционного материала сталь – медь / А. А. Шацов // Известия вузов. Сер. Цветная металлургия. – 1998. – № 5. – С. 52–56.

10. Особенности текстурирования при холодной прокатке псевдосплавов / Минакова Р. В. [и др.] // Порошковая металлургия. – 2000. – № 1/2. – С. 88–96.

11. Effect of Multistage High Temperature Thermomechanical Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Austenitic Reactor Steel / S. Akkuzin [et al] // Metals. – 2022. – 12 (1). – P. 63.

12. . V. A. High-Temperature Thermomechanical Treatment of Alloyed Structural and Tool Steels / V. A. Smirnov, V. I. Filatov // Metal Science and Heat Treatment. – 2015. – № 56. – P. 9–10.

13. Бернштейн, М. Л. Термомеханическая обработка сталей / М. Л. Бернштейн, В. А. Займовский, Л. М. Капуткина. – М. : Металлургия, 1983. – 480 с.

14. Дьячкова, Л. Н. Исследование структуры и свойств инфильтрированного материала на основе железа, подвергнутого термомеханической обработке / Л. Н. Дьячкова // Материалы, технологии, инструменты. – 2007. – Т. 12, № 3. – С. 46–51.

15. Дьячкова, Л. Н. Порошковые материалы на основе железа с повышенными механическими и триботехническими свойствами / Л. Н. Дьячкова. – Минск : Беларуская навука, 2020. – 203 с.

16. Дьячкова, Л. Н. Закономерности упрочнения псевдосплавов сталь – медный сплав, получаемых инфильтрацией, при горячей пластической деформации / Л. Н. Дьячкова // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2022. – Т. 67, № 2. – С. 156–166.

17. Бернштейн, М. Л. Структура деформированных металлов / М. Л. Бернштейн. – М. : Металлургия, 1977. – 431 с.

18. Дьячкова, Л. Н. Влияние термической обработки на структуру и свойства псевдосплава сталь – медный сплав, получаемого инфильтрацией / Л. Н. Дьячкова // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2021. – Т. 67, № 1. – С. 27–38.

УДК 621.724

Восстановление деталей автомобилей многоструйным активированным дуговым напылением

Изоитко В. М., канд. техн. наук; Буйкус К. В., канд. техн. наук
Белорусский национальный технический университет
220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65

Аннотация. Повышение физико-механических свойств газотермических покрытий требует решения задач термоактивации поверхности, нанесения нескольких слоев покрытий, получения композиционных покрытий и др. В настоящей работе приведены результаты исследования процесса активированного дугового напыления покрытий двумя аппаратами, расположенными на одной оси и направленными на противоположные стороны напыляемой поверхности детали.
Ключевые слова: активированное дуговое напыление, адгезионная прочность, когезионная прочность, пористость.

Renovation of automotive parts by multi-jet activated arc spraying

Izoitko V. M., Buikus K. V.
Belarusian National Technical University

Annotation. Increasing the physical and mechanical properties of gas-thermal coatings requires solving the problems of thermal activation of the surface, applying several layers of coatings, obtaining composite coatings, etc. This paper presents the results of a study of the process of activated arc spraying of coatings using two devices located on the same axis and directed towards opposite sides of the sprayed surface of the part.
Keywords: activated arc spraying, adhesive strength, cohesive strength, porosity.

Введение. Для повышения качества газотермических покрытий при восстановлении или упрочнении рабочих поверхностей деталей машин применяют способы либо активации, интенсифицирующие процессы теплообмена, увеличивающие скорость частиц, позволяющие уменьшать размер частиц, либо модификации напыленного слоя [1–12].

Применение нескольких газоструйных аппаратов, каждый из которых работает в определенном режиме, для предварительной подготовки поверхности подложки (ее нагрева и частичной очистки высокоскоростным газоструйным потоком) и дальнейшего нанесения покрытий позволяет значительно повысить физико-механические свойства нанесенных покрытий.

Одновременное нанесение материалов на противоположные стороны тел вращения приводит к значительному увеличению производительности процесса, к улучшению распределения температур в изделиях и к снижению цикличности нагрева.

Технология нанесения покрытия несколькими аппаратами. На суппорте вращателя мы смонтировали два стационарных аппарата активированного дугового напыления АДМ-8, расположив их на одной оси и направив на противоположные стороны напыляемой поверхности детали цилиндрической формы. На период настройки аппаратов деталь закрывается чехлом.

Для выявления особенностей процесса двуструйного напыления проводились сравнительные исследования покрытий, полученных одноструйным и двуструйным напылением. Для нанесения модельных покрытий была выбрана проволока Нп-40Х13 диаметром 1,2 мм. Подложка подвергалась абразивоструйной обработке корундом и обезжириванию спиртом. Результаты экспериментов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты сравнительных исследований покрытий, полученных одноструйным и двуструйным напылением

Параметр	Напыление	
	одноструйное	двуструйное
Адгезионная прочность, МПа	48–52	55–60
Когезионная прочность, МПа	120–140	130–150
Пористость, %	2,5–3,0	2,0–2,5

Как видно из табл. 1, двуструйное напыление повышает адгезионную и когезионную прочности, снижает размер пор и общую пористость.

Заключение. Многоструйные установки позволяют получать более равномерные поля температур и скоростей, что обеспечивает равномерный нагрев материалов, а при напылении – увеличение коэффициента использования напыляемого материала и улучшения условий его ввода. С помощью таких систем легко получить композиционные покрытия, обладающие качественно новыми свойствами. Также увеличение количества независимых газопламенных аппаратов повышает суммарную мощность струи без повышенной нагрузки на отдельные аппараты, что увеличивает их ресурс и безотказность.

Преимущества двуструйного напыления особо значительно сказываются при двустороннем напылении покрытий на изделия небольшой толщины, а на изделия больших толщин – при одностороннем напылении несколькими аппаратами. Это объясняется тем, что тепловые потоки одного аппарата создают термоактивацию поверхности напыленного изделия для другого аппарата, а это приводит к росту прочностных характеристик и уменьшению пористости покрытия.

Литература

1. Ивашко, В. С. Математическое моделирование двухфазной металлогазовой струи активированного дугового напыления / В. С. Ивашко, К. В. Буйкус, В. М. Изоитко // Изобретатель. – 2021. – № 1–2 (242–243). – С. 22–25.

2. Ивашко, В. С. Исследование материалов для восстановления изношенных поверхностей высоконагруженных деталей активированным дуговым напылением / В. С. Ивашко, В. М. Изоитко, К. В. Буйкус // Транспорт и транспортные

системы: конструирование, эксплуатация, технологии. Сборник научных статей. Вып. 2. – Минск : БНТУ, 2020. – С. 125–136.

3. Ивашко, В. С. Активный контроль технологических параметров газотермического нанесения покрытий / В. С. Ивашко, В. М. Изоитко, К. В. Буйкус // Изобретатель. – 2020. – № 3–4 (239–240). – С. 18–22.

4. Ивашко, В. С. Ремонт деталей машин методом активированной электродуговой металлизации / В. С. Ивашко, В. М. Изоитко, К. В. Буйкус // Материалы международной научно-практической конференции «Автомобиле- и тракторостроение», 14-18 мая 2019 г. – Минск : БНТУ, 2019. – Т. 2. – С. 54–57.

5. Ивашко, В. С. Реновация поверхностей шеек валов газотермическим напылением в комбинации с компрессионно-механической / В. С. Ивашко, К. В. Буйкус, В. М. Изоитко / Материалы 16-й международной научно-технической конференции (70-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ «Наука – образованию, производству, экономике» / в 4 т. – Минск : БНТУ, 2018. – Т. 2. – С. 92

6. Белоцерковский, М. А. Прочностная надежность и триботехнические свойства газотермических покрытий, используемых в узлах трения // Физическая мезомеханика. – 2007. – № 2. – С. 103–108.

7. Улучшение физико-механических свойств покрытий, полученных электродуговой металлизацией / А. В. Коломейченко [и др.] // Строительные и дорожные машины. – 2015. – № 7. – С. 25–29.

8. Кравченко, И. Н. Оценка влияния температурных условий в процессе напыления на уровень остаточных напряжений и прочность покрытий / И. Н. Кравченко, В. Ю. Гладков, О. Я. Москаль // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2013. – № 8. – С. 59–64.

9. Исследование адгезии и износостойкости покрытий, сформированных с использованием комбинированной технологии / Ю. А. Кузнецов [и др.] // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2018. – № 7. – С. 28–33.

10. HVOF Sprayed coating containing heat resistant inter metallic molybdenum phases / B. Formarek [et al] // Films and Coatings-98: Proceeding Inter, conf. – S-Petersburg, 1998. – P. 215–217.

11. Белоцерковский, М. А. Активированное газопламенное распыление проволочных материалов / М. А. Белоцерковский // Весці НАН Б. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2002. – № 1. – С. 11–15.

12. Белоцерковский, М. А. Разработка технических средств для газопламенного напыления полимерных покрытий / М. А. Белоцерковский, А. В. Федаравичус // Машиностроитель. – 2002. – № 12. – С. 13–15.

УДК 004.4:005.591.51

Роль программы «Агрегатор инновационных идей» в поиске заказчиков и содействии реализации инновационных проектов в Союзном государстве

Калько А. И.
Барановичский государственный университет
225320, Беларусь, г. Барановичи, ул. Парковая, 62

Аннотация. Статья рассматривает важную роль программы «Агрегатор инновационных идей» в контексте поиска заказчиков и содействия реализации инновационных проектов в Союзном государстве. Программа представляет собой виртуальную платформу, объединяющую инноваторов, стартапы и исследователей с потенциальными заказчиками и инвесторами. Статья подробно рассматривает процесс генерации инноваций и как данная платформа облегчает его. Также описываются особенности веб-приложения, используемого в рамках программы, и преимущества веб-приложений в контексте электронной коммерции. Программа «Агрегатор инновационных идей» является мощным инструментом, способствующим развитию инновационной экосистемы, укреплению бизнеса, науки и образования, а также повышению конкурентоспособности на глобальном рынке. Целью работы является анализ вклада программы в процессы инновационной деятельности и развития бизнеса. В рамках статьи рассматриваются следующие задачи: изучение структуры и функционала программы «Агрегатор инновационных идей» с акцентом на облегчении взаимодействия между инноваторами и потенциальными заказчиками и инвесторами; анализ особенностей веб-приложения, используемого в рамках программы, и его роли в обеспечении эффективной электронной коммерции; рассмотрение воздействия программы на развитие инновационной экосистемы, укрепление бизнеса, а также научных и образовательных инициатив в Союзном государстве. Статья освещает важные аспекты роли и влияния программы «Агрегатор инновационных идей» на различные аспекты экономического и социального развития Союзного государства.
Ключевые слова: агрегатор инновационных идей, инновационные проекты, союзное государство, веб-приложение, электронная коммерция, развитие научных исследований, малое и среднее предпринимательство, образование, экологические технологии, конкурентоспособность, виртуальная платформа, инновации, инвестиции, экономическое развитие.

The role of the “Innovation Idea Aggregator” program in finding customers and facilitating the implementation of innovative projects in the Union State

Kalko A. I.
Baranovichi State University

Annotation. The article examines the significant role of the “Innovation Idea Aggregator” program in the context of client acquisition and the facilitation of innovative project implementation within the Union State. The program functions as a virtual

platform that brings together innovators, startups, and researchers with potential clients and investors. The article provides a detailed analysis of the innovation generation process and how this platform streamlines it. Additionally, it outlines the characteristics of the web application used in the program and highlights the advantages of web applications in the realm of electronic commerce. The “Innovation Idea Aggregator” program serves as a powerful instrument contributing to the development of the innovation ecosystem, bolstering business, science, education, and enhancing global competitiveness. The main objective of this work is to analyze the program's impact on the processes of innovation and business development. The article addresses the following tasks. An examination of the structure and functionality of the “Innovation Idea Aggregator” program, with an emphasis on simplifying interactions between innovators and potential clients and investors. An analysis of the features of the web application used within the program and its role in facilitating effective electronic commerce. An exploration of the program's influence on the development of the innovation ecosystem, he strengthening of businesses, as well as scientific and educational initiatives within the Union State. The article sheds light on crucial aspects of the role and impact of the “Innovation Idea Aggregator” program on various aspects of economic and social development within the Union State.
Keywords: aggregator of innovative ideas, innovative projects, Union state, web application, e-commerce, development of scientific research, small and medium-sized entrepreneurship, education, environmental technologies, competitiveness, virtual platform, innovation, investment, economic development.

Введение. В эпоху постоянных технологических изменений и стремительного развития инноваций, создание эффективных механизмов для поиска заказчиков и содействия в реализации инновационных проектов становится одной из важнейших задач для современного бизнеса и общества в целом [1]. В этом контексте программа «Агрегатор инновационных идей» выступает как ключевой инструмент, предназначенный для соединения идейных предпринимателей, инноваторов и разработчиков с потенциальными заказчиками и инвесторами. Эта виртуальная платформа предоставляет уникальную возможность людям, разделяющим страсть к инновациям, объединить усилия, обмениваться своими идеями и контактами, а также совместно создавать будущее. В данной статье мы рассмотрим важную роль программы «Агрегатор инновационных идей» в стимулировании инновационных проектов и развитии инновационной экосистемы в Союзном государстве, осветив ключевые аспекты ее функционирования и воздействия на бизнес-среду [2].

Основная часть. Программа «Агрегатор инновационных идей» представляет собой платформу, объединяющую инноваторов, стартапы, инженеров и предпринимателей, которые стремятся привнести свежие идеи и решения в современный бизнес [3]. Она предоставляет участникам возможность загрузки своих инновационных проектов, концепций и идей, а также поиска партнеров, заказчиков и инвесторов для их реализации.

Одним из ключевых аспектов, который делает программу «Агрегатор инновационных идей» особенно важной для инновационного сообщества, является ее способность содействовать в поиске заказчиков. Зачастую, множество пер-

спективных инновационных проектов остаются невостребованными из-за нехватки связей и контактов в бизнес-среде [4]. Программа помогает разрушить этот барьер, обеспечивая инноваторам доступ к кругу заинтересованных компаний, государственных учреждений и частных инвесторов, готовых внедрять инновации в свой бизнес.

Благодаря «Агрегатору инновационных идей» инноваторы и стартапы могут предоставить детальные описания своих проектов, идей и технологий, а также определить свои потребности в финансировании и экспертизе. Это позволяет потенциальным заказчикам и инвесторам быстро находить проекты, соответствующие их интересам и стратегическим целям, и вступать в контакт с их авторами [5].

Еще одним важным аспектом является содействие в реализации инновационных проектов. Программа обеспечивает возможность для инноваторов и команд работать с заказчиками и инвесторами непосредственно на платформе, обмениваться информацией, проводить переговоры и заключать сделки [6]. Это сокращает временные и организационные затраты на поиск и заключение соглашений, что способствует более быстрой и успешной реализации инновационных проектов.

Программа «Агрегатор инновационных идей» играет ключевую роль в развитии инновационной экосистемы Союзного государства, способствуя внедрению новых идей и технологий, развитию малого и среднего бизнеса, а также обеспечивая рост экономической конкурентоспособности региона. Ее влияние на создание связей между инноваторами и заказчиками, а также на ускорение реализации инновационных идей становится все более заметным и существенным.

Для создания веб-приложения использовался язык программирования как PHP в сочетании с MVC фреймворком Laravel. Физическая модель БД веб-приложения и каскадные связи между некоторыми таблицами использованы при разработке приложения. При удалении пользователя удаляется принадлежащая ему информация в виде его записей, их оценок, а также список пользователей, желающих связаться с данным пользователем [7]. При удалении только записи удаляются ее оценки, а также список пользователей, желающих связаться с пользователем по поводу данной записи.

Первым делом пользователь входит на сайт. Далее идет загрузка основных библиотек, необходимых для работы веб-приложения. Далее, если он может посмотреть информацию о сайте на главной странице. При желании он может оценить некоторые записи. Если его заинтересовала некоторая запись и он не хочет звонить автору записи напрямую, он может оставить свои контактные данные, путем заполнения формы обратной связи. Если же пользователь хочет оставить запись на сайте, первым делом ему необходимо будет зарегистрироваться на сайте и подтвердить адрес своей электронной почты [8]. Также, если у пользователя уже есть созданный аккаунт, ему нужно всего лишь авторизоваться, если он не сделал этого прежде. Далее он создает запись и дожидается, когда администратор проверит данную запись и разместит ее на сайте. Если же запись не соответствует тематике сайта, администратор ее удаляет [9]. У пользователя есть возможность в любой момент изменить созданную им запись. Однако если она не будет соответствовать тематике сайта, администратор ее удаляет. На рис. 1 изображен принцип работы веб-приложения.

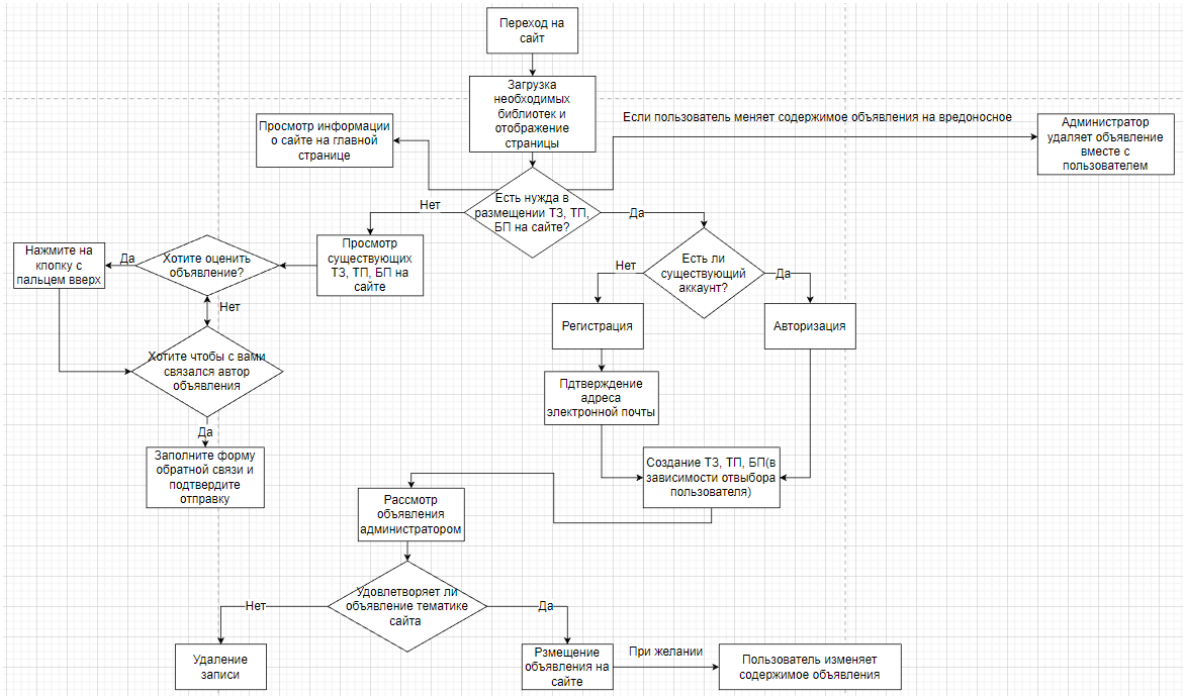


Рис. 1. Структура работы приложения

Для того, чтобы оставить свою запись, пользователю необходимо зарегистрироваться, или авторизоваться на сайте. Далее можно наблюдать как пользователю стал доступен функционал для создания записей. Воспользуемся этим функционалом и заполним данные в форме для заполнения, представленной на рис. 2 и 3.

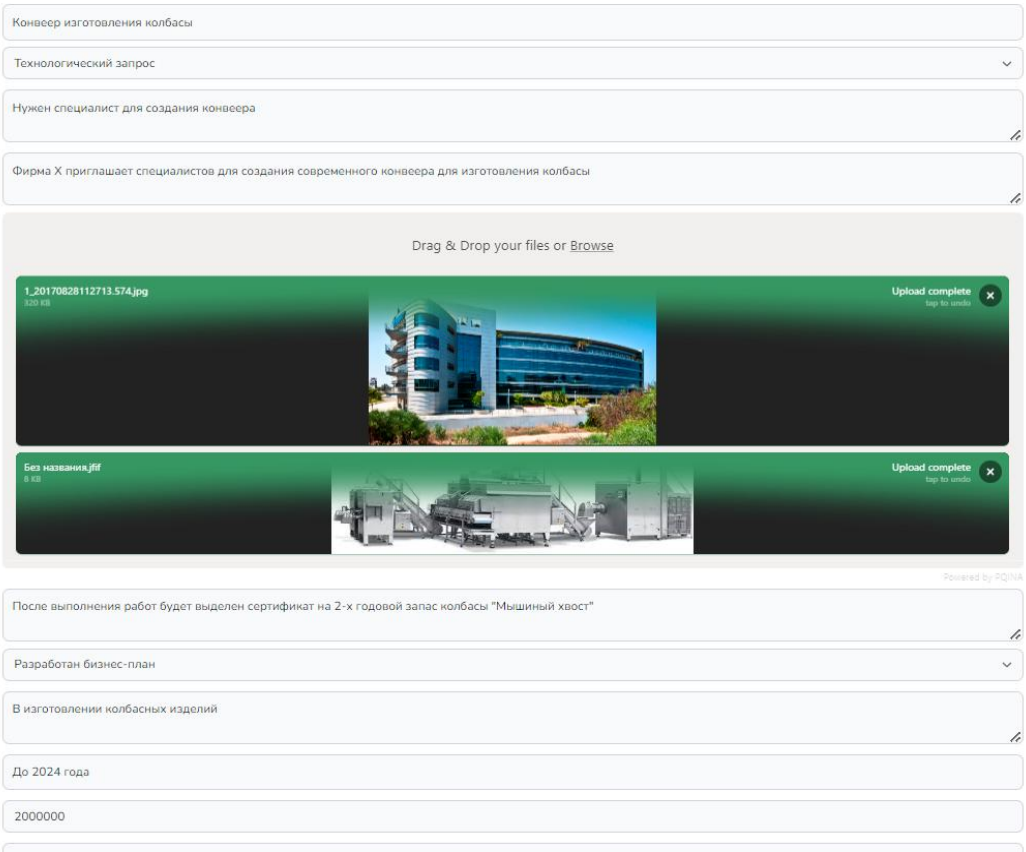


Рис. 2. Заполнение записи

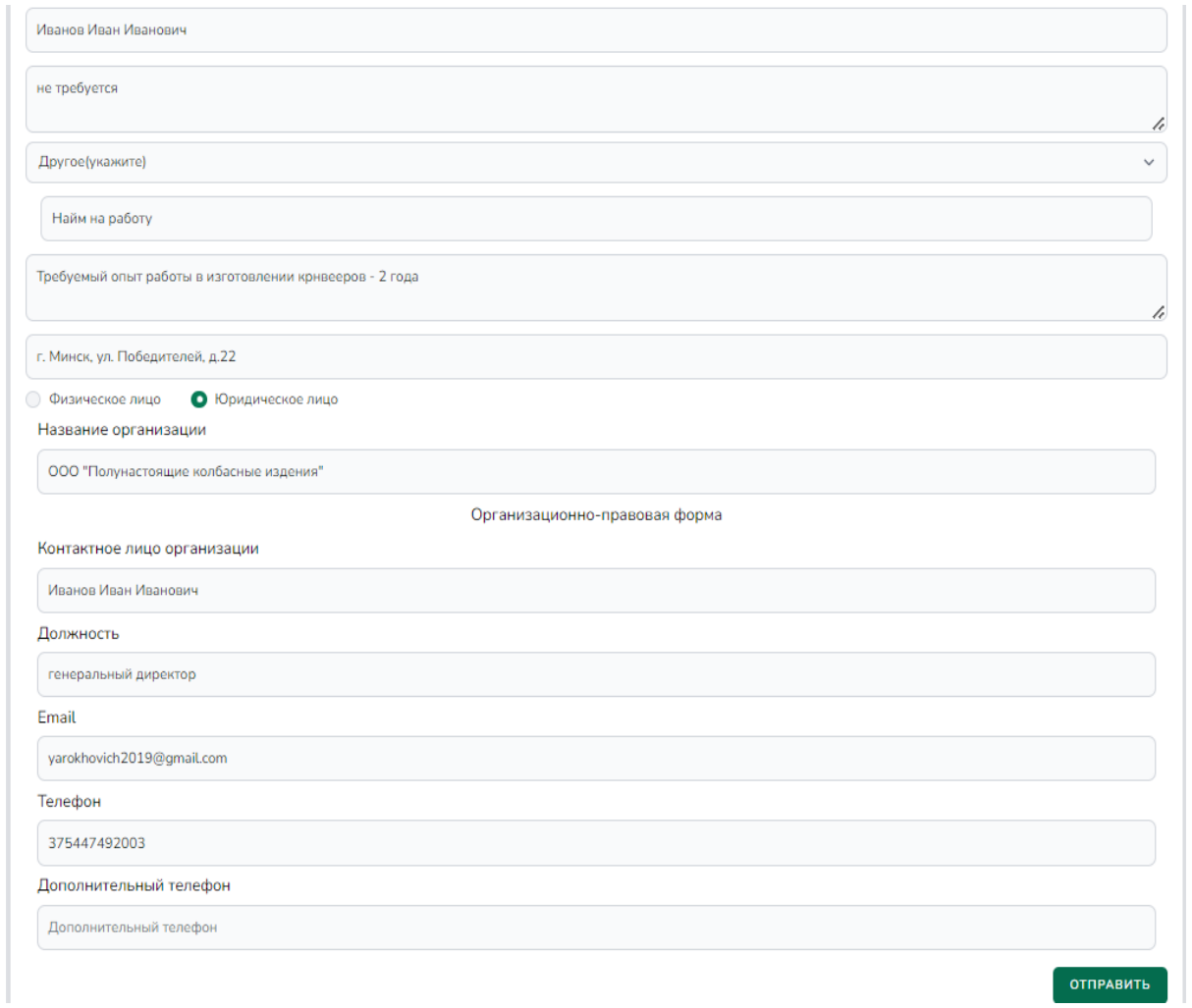


Рис. 3. Заполнение записи

После принятия администратором записи, представленной на рис. 4, она будет отображаться на сайте и видна всем остальным пользователям.

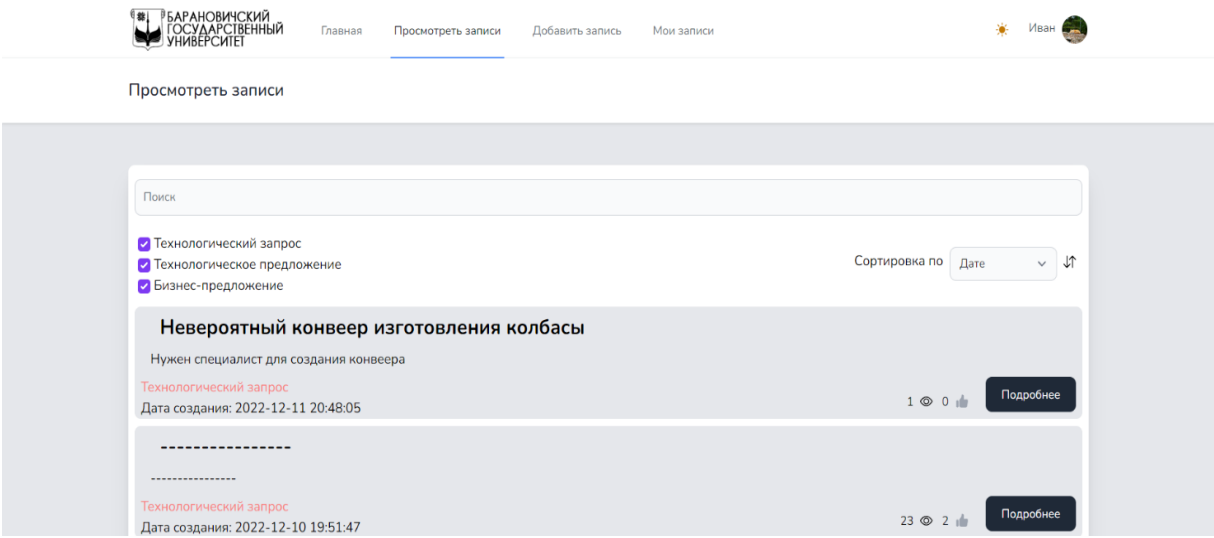


Рис. 4. Отображение созданной статьи на сайте

В результате выполнения научной работы было написано веб-приложение на основе MVC фреймворка Laravel.

С точки зрения электронной коммерции веб-приложения имеют несколько заметных преимуществ:

1. Безопасность. Минимальный доступ к серверным элементам и базам данных. А значит, меньше всего можно опасаться взлома и других негативных последствий.

2. Доступ с разных устройств. Современные движки позволяют получать доступ к веб-приложению параллельно с разных платформ, например, с компьютера или ноутбука на Windows, с мобильных устройств на Android и Apple.

3. Отсутствие клиентского ПО. Не нужно расходовать лишние ресурсы – место и память на установку клиентского ПО на устройство.

4. Масштабируемость – веб-приложение способно справляться с нужным объемом задач в зависимости от их количества [10].

Таким образом, веб-приложения – инструмент, с помощью которого удается достигать деловых, информационных, социальных целей с минимумом усилий и затрат.

Образование и развитие науки играют важную роль в будущем Союзного государства [11]. Программа «Агрегатор инновационных идей» может служить площадкой для образовательных учреждений, студентов и преподавателей, чтобы представить свои исследовательские проекты и образовательные инновации. Это средство способствует содействию образовательных и научных инициатив, улучшению учебных программ и методик.

Союзное государство стремится укрепить свою позицию на мировом рынке и стать конкурентоспособным игроком в мировой экономике [12]. Программа «Агрегатор инновационных идей» помогает предприятиям и инноваторам создавать инновационные продукты и услуги, которые могут быть успешно внедрены на мировых рынках. С ее помощью они могут находить партнеров и инвесторов, чтобы расширить свой бизнес за пределами государственных границ.

Заключение. Программа «Агрегатор инновационных идей» играет важную роль в содействии инновационным проектам и предпринимателям, обеспечивая им платформу для представления и распространения идей, а также поиск потенциальных заказчиков и инвесторов. Это важное звено в развитии инновационной сферы и поддержке экономического роста Союзного государства, оно способствует созданию инновационной и научно-технической продукции, необходимой для решения современных вызовов и задач. Союзное государство ориентировано на поддержку и развитие научных исследований в различных областях. Программа «Агрегатор инновационных идей» может служить платформой для научных исследователей, инженеров и ученых, чтобы представить свои инновационные идеи и проекты. Это средство позволяет исследователям находить потенциальных партнеров, заказчиков и инвесторов для финансирования и внедрения их научных разработок.

Литература

1. Калько, А. И. Бизнес-аналитика: ключ к структурированию данных и развитию малого и среднего бизнеса / А. И. Калько // Материалы докладов 56-й Меж-

дународной научно-технической конференции преподавателей и студентов : в двух томах, Витебск, 19 апреля 2023 года. – Витебск : Витебский государственный технологический университет, 2023. – Т. 1. – С. 302–303.

2. Сандруцкий, Д. И. Применение криптографических систем при создании мессенджера / Д. И. Сандруцкий, С. Д. Колдушко, А. И. Калько // Студенческий. – 2017. – № 16 (16). – С. 14–16.

3. Калько, А. И. Использование промптов как будущая профессия в сферах жизнедеятельности человека и инклюзивного образования / А. И. Калько // Социально-педагогическая поддержка лиц с ограниченными возможностями здоровья: теория и практика : Сборник статей по материалам VII Международной научно-практической конференции, Ялта, 25–27 мая 2023 года / Под науч. ред. Ю. В. Богинской. – Симферополь : Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2023. – С. 179–182.

4. Проблемы и перспективы инновационного развития экономики в XXI веке : Материалы XX международной научно-практической конференции, Алушта, 14–19 сентября 2015 года. – Алушта : ИП Семенова Е. А., 2015. – 364 с.

5. Калько, А. И. Программный комплекс «распознавание текстовых фраз» с оптимизацией точности определения рукописного текста / А. И. Калько // 73-я Международная студенческая научно-техническая конференция : материалы конференции, Астрахань, 17–22 апреля 2023 года. – Астрахань : Астраханский государственный технический университет, 2023. – С. 714–716.

6. Калько, А. И. Приложение с дополненной реальностью демонстрации виртуальных 3D-объектов и возможности их сетевого взаимодействия / А. И. Калько, Р. В. Мазура, О. Д. Хадарович // 73-я Международная студенческая научно-техническая конференция : материалы конференции, Астрахань, 17–22 апреля 2023 года. – Астрахань : Астраханский государственный технический университет, 2023. – С. 717–718.

7. Маланяк, С. В. система целей, подходов и методов оценки эффективности инновационных проектов, определяющих перспективы реализации инновационных идей / С. В. Маланяк, Т. Л. Безрукова // ФЭС : Финансы. Экономика. Стратегия. – 2022. – Т. 19, № 9. – С. 54–60.

8. Калько, А. И. Макет приложения для демонстрации виртуальных 3D-объектов с дополненной реальностью средствами Unity / А. И. Калько // Материалы докладов 56-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов : в двух томах, Витебск, 19 апреля 2023 года. – Витебск : Витебский государственный технологический университет, 2023. – Т. 2. – С. 46–48.

9. Калько, А. И. Система идентификации рукописных текстов как объект защиты и обработки массового объема документов / А. И. Калько // BIG DATA и анализ высокого уровня : сборник научных статей IX международной научно-практической конференции : в 2 т., Минск, 17–18 мая 2023 года. – Минск : БГУИР, 2023. – Т. 1. – С. 276–284.

10. Лунегова, Е. Н. Библиотечные инновационные коммуникации как способ продвижения инновационных идей / Е. Н. Лунегова // Вестник Дальневосточной государственной научной библиотеки. – 2010. – № 2 (47). – С. 189–192.

11. Климук, В. В. Союзное государство России и Белоруссии: факторы стимулирования научно-исследовательской активности работников, занятых в сек-

торе НИОКР / В. В. Климук, Г. В. Астратова, И. М. Кублин // Инновационная деятельность. – 2023. – № 1 (64). – С. 13–24.

12. Климук, В. В. Методические концепты анализа уровня экономической безопасности государства: на примере Беларуси и России / В. В. Климук, О. С. Мостовская // Социально-экономическое развитие России и Монголии: проблемы и перспективы : материалы IX Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, Улан-Удэ, 18 мая 2022 года / ФГБОУ ВО Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления; Финансово-Экономический Университет; Барановичский государственный университет. – Улан-Удэ : Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2022. – С. 124–126.

УДК 517.956.4 + 517.955.2

Задача Коши для бипараболического уравнения теплопереноса четвертого порядка

Корзюк В. И., академик НАН Беларуси, доктор физ.-мат. наук, профессор;
Рудько Я. В., магистр
Институт математики Национальной академии наук Беларуси
220072, г. Минск, ул. Сурганова, 11

Аннотация. Для дифференциального уравнения в частных производных четвертого порядка, предложенного Фущичем для математического описания процессов тепло- и массопереноса, рассмотрена задача Коши в полупространстве. Используя теорию полугрупп, найдено решение задачи Коши в явном аналитическом виде. Для рассматриваемой задачи доказывается единственность решения и устанавливаются условия, при выполнении которых существует ее классическое решение.

Ключевые слова: задача Коши, классическое решение, бипараболическое уравнение теплопроводности, теплопроводность, релаксация теплового потока.

Cauchy problem for the fourth-order biparabolic heat conduction equation

Korzyuk V. I., Rudzko J. V.
Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Belarus

Annotation. We consider the Cauchy problem for the fourth-order partial differential equation given in the half-space and proposed by Fushchych for the mathematical description of heat and mass transfer processes. We construct the solution in an explicit analytical form using the theory of semigroups. For the problem in question, the uniqueness of the solution is proved and the conditions under which its classical solution exists are established.

Keywords: Cauchy problem, classical solution, biparabolic heat equation, thermal conduction, heat flow relaxation.

Введение. Общеизвестно, что классическая теория теплопроводности основана на линейном параболическом уравнении второго порядка

$$\left(\partial_t - \kappa^2 \Delta\right) u(t,x) = f(t,x). \P \tag{1}$$

Однако, в такой модели теплообмена постулированы жесткие ограничения, включая абстрактные допущения на физические процессы теплопереноса, например: бесконечная скорость распространения возмущений, линейная зависимость потока от градиента поля и энергии от температуры и т. д. При нарушении этих условий уравнение (1) становится не вполне математически корректным в описании процессов тепломассопереноса, что приводит к ряду известных парадоксов [1; 2].

В связи с этим для описания процесса теплопереноса с конечной скоростью некоторые авторы, например, [3; 4], предложили вместо уравнения (1) использовать гиперболическое телеграфное уравнение

$$\left(\partial_t - \kappa^2 \Delta + \tau_r \partial_t^2\right) u(t,x) = f(t,x), \tag{2}$$

которое учитывает релаксацию теплового потока. Однако, как отмечено в [2], замена уравнения (1) гиперболическим уравнением (2) имеет принципиальное значение, но вряд ли может быть хорошо объяснена с теоретико-групповой точки зрения, поскольку нестационарное уравнение (2) не инвариантно относительно преобразований Галилея. Это означает, что уравнение (2) не может в полной мере соответствовать всем тем законам сохранения, которым полностью удовлетворяет классическое уравнение теплопроводности [1].

В связи с этим в работе [5] было указано естественное обобщение уравнения переноса (1)

$$\left(\left(\partial_t - \kappa^2 \Delta\right) + \alpha \left(\partial_t - \kappa^2 \Delta\right)^2\right) u(t,x) = f(t,x), \tag{3}$$

которое, в частности при $f \equiv 0$, инвариантно [5] относительно алгебры Галилея, поэтому предлагается, что его можно использовать для описания диффузионных процессов независимо от инерциальных систем отсчета, в которых они наблюдаются.

Настоящий доклад посвящен исследованию задачи Коши для уравнения четвертого порядка (3).

Постановка задачи. В области $(0,\infty) R^n$ $(n+1)$ независимых переменных рассмотрим *n*-мерное линейное бипараболическое уравнение теплопроводности

$$\left(\left(\partial_t - k^2 \Delta\right) + \alpha \left(\partial_t - k^2 \Delta\right)^2\right) u(t,x) = f(t,x), \qquad (t,x) \in (0,\infty) \times R^n, \tag{4}$$

где $x = (x_1, \ldots, x_n)$, α – время релаксации; $k > 0$ – коэффициент температуропроводности, характеризующий свойства среды; Δ – оператор Лапласа. К уравнению (4) присоединяются начальные условия

$$u(0,x)=\phi(x), \qquad \partial_t u(0,x)=\psi(x), \qquad x\in R^n, \tag{5}$$

где ϕ и ψ – функции, заданные на множестве R^n.

Основной результат. Справедлива следующая теорема.

Теорема 1. Пусть выполняются условия $\phi\in C^2\left(R^n\right)$, $\psi\in C^2\left(R^n\right)$, $f\in C\left([0,\infty)\times R\right)$, $\phi(x)\exp\left(b|x|^2\right)\to 0$, $\left(\psi-\kappa^2\Delta\phi\right)(x)\exp\left(b|x|^2\right)\to 0$ и $f(t,x)\exp\left(b|x|^2\right)\to 0$ при $|x|\to\infty$ для всех $t\in[0,\infty)$. Задача Коши (4), (5) имеет в классе корректности единственное решение u, которое принадлежит классу $C^{1,0}\left([0,\infty)\times R^n\right)\cap C^{2,4}\left((0,\infty)\times R^n\right)$ и определяется формулой

$$u(t,x)=\Pi[\phi](t,x)+\alpha\left(1-\exp\left(-\frac{t}{\alpha}\right)\right)\Pi\left[\psi-k^2\Delta\phi\right](t,x)+$$

$$+\int_0^t\left(1-\exp\left(-\frac{t-\tau}{\alpha}\right)\right)\Pi_p[f](t,x,\tau)\mathrm{d}\tau,\ (t,x)\in(0,\infty)\times R^n,$$

где

$$\Pi[\phi](t,x)=\left(2\kappa\sqrt{\pi t}\right)^{-n}\int_{\mathbb{R}^n}\phi(\xi)\exp\left(\frac{|x-\xi|^2}{4\kappa^2 t}\right)\mathrm{d}\xi,$$

$$\Pi_p[\phi](t,x;\tau)=\left(2\kappa\sqrt{\pi(t-\tau)}\right)^{-n}\int_{\mathbb{R}^n}\phi(\tau,\xi)\exp\left(\frac{|x-\xi|^2}{4\kappa^2(t-\tau)}\right)d\xi.$$

Заключение. В настоящем докладе в явном аналитическом виде построено решение задачи Коши для бипараболического уравнения теплопереноса четвертого порядка. Установлены достаточные условия единственности решения.

Литература

1. Bulavatsky, V. M. Fractional Differential Analog of Biparabolic Evolution Equation and Some Its Applications / V. M. Bulavatsky// Cybernetics and Systems Analysis. – 2016. – V. 52, № 5. – P. 737–747.

2. Fushchich, V. I. A New Mathematical Model of Heat Conduction / V. I. Fushchich, A. S. Galitsyn, A. S. Polubinskii // Ukr. Math. J. – 1990. – V. 42, № 2. – P. 210–216.

3. Cattaneo, C. Sulla Conduzione del Calore / C. Cattaneo // Atti. Semin. Mat. Fis. Univ. Modena. – 1948. – Vol. 3. – P. 83–101.

4. Luikov, A. V. Application of the Methods of Thermodynamics of Irreversible Processes to the Investigation of Heat and Mass Transfer / A. V. Luikov // Journal of Engineering Physics. – 1965. – Vol. 9. – P. 189–202.

5. Фущич, В. И. О симметрии и частных решениях некоторых многомерных уравнений математической физики / В. И. Фущич // Теоретико-алгебраические методы в задачах математической физики. – 1983. – С. 4–23.

УДК 536.2

Начальная задача Брату: нановолоконные технологии

Кот В. А., канд. техн. наук
Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси
220072, Беларусь, г. Минск, ул. П. Бровки, 15

Аннотация. Обсуждается математическое моделирование процесса электроспиннинга при производстве нановолокон на основе приближенного решения начальной задачи Брату. С целью получения высокоточных аппроксимаций предложен новый гибридный метод, который сочетает разложение решения в степенной ряд Тейлора с включением двух дополнительных соотношений, записанных относительно двух неизвестных граничных условий. Этот метод позволил получить высокоточные полиномиальные решения задачи Брату, и по точности аппроксимации превзойти известные приближенные численно-аналитические методы на один-два порядка.
Ключевые слова: задача Брату, численное моделирование, электроспиннинг, гибридный аналитический метод.

Initial Bratu problem: nanofiber tecknologies

Kot V. A.
A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus

Annotation. Mathematical simulation of the electrospinning, used in the production of nanofibers, on the basis of the approximate solution of the initial Bratu problem is considered. With the aim to obtain high-accuracy approximations, a new hybrid method, combining the representation of a solution as a Taylor power series with the introduction of two additional relations written in terms of two unknown boundary conditions, is proposed. This method made it possible to obtain the highly exact polynomial solutions of the Bratu problem, and it surpasses the known approximate numerical-analytical methods by one to two orders of magnitude in accuracy.
Keywords: Bratu problem, numerical simulation, electrospinning, hybrid analytical method.

Введение. В последние годы исследование начальных задач в обыкновенных дифференциальных уравнениях второго порядка привлекло многих исследователей. К одному из такого типа уравнений относится уравнение Брату [1], сформулированное как

$$\frac{\mathrm{d}^2 v}{\mathrm{d}x^2} + \lambda \mathrm{e}^{v} = 0, \qquad 0 \le x \le 1 \qquad (\lambda = \mathrm{const}). \tag{1}$$

Уравнение Брату – это нелинейное дифференциальное уравнение, имеющее множество приложений в математике, физике, технике и в других областях [2; 3],

при этом оно формулируется в виде нелинейной задачи с начальными или граничными условиями. Стандартная задача Брату использовалась для моделирования задачи горения в плоской плите [4]. Задача Брату [5–9] также используется в самых разных приложениях, таких, как модель воспламенения топлива в теории термического горения, модель процесса тепловой реакции, модель Чандрасекара расширения Вселенной [10], некоторые вопросы в области геометрии и теории относительности, касающиеся модели Чандрасекара, теория химических реакций, радиационный теплоперенос и нанотехнологии [11–16]. В настоящей работе рассмотрена одномерная задача типа Брату с начальными условиями

$$v(0) = v'(0) = 0. \tag{2}$$

Поскольку начальные задачи типа Брату имеют достаточно большую важность в вопросах моделирования различных реальных явлений, они получили должное внимание у многих численных аналитиков. Поэтому разработка высокоточных численно-аналитических и тем более аналитических подходов к аппроксимации решений уравнений типа Брату представляется важной и актуальной задачей. В последние годы в литературе можно найти множество аналитических и численных методов приближенного решения задачи Брату [4; 17–20]. В частности, Дж. Бойд [17; 18] предложил разложения по полиномам Чебышева и Гегенбауэра, выступающих в качестве базовых функций, для одновременной аппроксимации задачи Брату в двумерной постановке. В работе [21] авторы представили метод разложения Адомиана-Лапласа, а в [22] авторы обсудили новые итерационные решения методом возмущений. Кроме того, для решения задачи Брату (1), (2) были представлены метод разложения Адомиана [23] и метод групповой стрельбы Ли [24]. В работе [25] для решения задачи Брату предложен и развит вейвлет-метод Лежандра.

Метод возмущений применительно к решению начальной задачи типа Брату достаточно подробно рассмотрен в работе [26]. Широко распространенный гомотопический метод возмущений для решения рассматриваемой задачи достаточно успешно применен в работе [27]. В особую группу выделим вариационно-итерационный метод, на основе которого решена данная задача [28–30]. В виде незначительных «усовершенствований» этого метода выступают, в частности, работы [31–33]. Дальнейшее развитие вариационно-итерационный метод нашел в работе [34], в которой был применен предложенный в [35] подход, позволивший преобразовать исходное дифференциальное уравнение (1) в новое уравнение, лишенное экспоненты. При этом был введен в рассмотрение новый дополнительный параметр, позволивший проводить минимизацию модуля невязки самого дифференциального уравнения.

Электроспиннинг и его математическая формулировка: начальная задача Брату. Электроспиннинг (Electrospinning process – ESP) признан одним из наиболее удобных и экономичных методов изготовления полимерных нановолокон [36]. Это метод производства сверхтонких волокон диаметром от 10 мкм до 10 нм путем пропускания расплавленного полимера или раствора полимера через фильеру под действием электрического поля. Под действием электростатического поля полусферическая поверхность раствора полимера на кончике ка-

пилляра удлиняется и принимает коническую форму, называемую конусом Тейлора [37]. Когда напряжение превышает пороговое значение, электростатические силы преодолевают поверхностное натяжение, и заряженная мелкая струя выбрасывается на кончике конуса Тейлора. Струя движется к опорной пластине, действующей как противоположный электрод, при этом растворитель испаряется. В конечном счете волокна достигают коллектора и укладываются на него. В дальнейшем полученный «продукт» подвергается термической обработке для создания графитовой структуры. Управляющими параметрами процесса являются гидростатическое давление в капилляре и внешнее электрическое поле. Элементы, необходимые для электропрядения, включают в себя источник полимера, источник высокого напряжения и коллектор (рис. 1) [38].

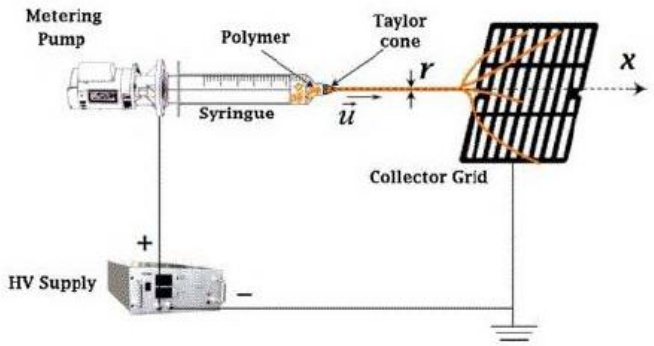


Рис. 1. Функциональная схема процесса электроспиннинга [38]

Примеры успешного применения нановолокон, изготовленных методом электропрядения, и изделий на их основе широки и многообразны. Например, пористая нановолоконная мембрана, изготовленная ESP, применяется в качестве повязки на рану [36], которая может пропускать через себя жидкость из раны, предотвращая накопление под ней, а также высыхание раны. Такая нановолоконная мембрана обеспечивает контролируемое испарение жидкости, превосходную кислородопроницаемость и повышенную эффективность в дренаже жидкости, одновременно препятствуя вторжению экзогенных микроорганизмов вследствие ультратонкой пористой структуры. Другие примеры – это, в частности, различное фильтрационное применение [36; 39], инженерия костной ткани [40], доставка лекарств и носителей катализаторов [41], изготовление волокнистых матов для армирования композитов [41] и т. д.

Несмотря на существенную изученность ESP, его теоретическое моделирование остается весьма «узким местом», серьезно препятствующим дальнейшему повышению качества получаемых нановолокон и эффективности самого процесса. В работе [41] построена математическая модель, которая с некоторыми допущениями описывает физику ESP. При этом принимается допущение о существенном превалировании электрической силы над другими силами, что позволяет получить классическое уравнение Брату, объясняющее возможную в ESP нестабильность (бифуркацию).

В работе [37] математическая модель ESP связана с уравнением Брату, полученным из уравнений баланса термоэлектрогидродинамики. Модель описывает скорость жидкости на внешнем крае шприца. Основными уравнениями про-

цесса являются уравнения баланса массы, линейного импульса и электрического заряда соответственно [42–44]:

$$\nabla u = 0, \tag{3}$$

$$\rho(u\nabla)u = \nabla F_m + \nabla F_e, \tag{4}$$

$$\nabla j = 0, \tag{5}$$

где u – осевая скорость;

j – плотность электрического тока;

ρ – плотность материала;

F_m и F_e – члены, обозначающие вязкие и электрические силы соответственно.

В случае установившейся струи электрически генерируемая сила является доминирующей, поэтому одномерное уравнение количества движения принимает вид

$$u\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{2\sigma E}{\rho r}, \tag{6}$$

где r – радиус струи вдоль осевой координаты x (рис. 1);

σ – плотность поверхностного заряда;

E – напряженность электрического поля в осевом направлении.

Запишем уравнение баланса заряда

$$2r\sigma E + r^2 kE = I, \tag{7}$$

где I – сила тока;

k – константа, которая в случае несжимаемого полимера зависит только от температуры.

Отсюда получаем

$$u\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{E\left(I - r^2 kE\right)}{\rho r^2}. \tag{8}$$

Далее, введя в рассмотрение новую переменную $v = -6\ln(u)$, получаем

$$\frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{6E\left(I - r^2 kE\right)}{\rho r^2}e^{v/2}. \tag{9}$$

Дифференцируя уравнение (9), с учетом $dr/dx \ll 1$ [43] имеем

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{3E\left(I - r^2 kE\right)}{\rho r^2}e^{v/2}\frac{\partial v}{\partial x} = 0. \tag{10}$$

Объединяя оба уравнения, в итоге приходим к одномерному уравнению Брату

$$\begin{cases} \dfrac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \lambda e^{v} = 0, \\ \lambda = -\dfrac{18E^2(I - r^2 kE)^2}{\rho^2 r^4}. \end{cases} \tag{11}$$

Некоторые подходы в приближенном решении начальной задачи Брату. *Метод разложения Адомиана (Adomian decomposition method* – ADM*)* Данный метод [45–47] определяет функцию $v(x)$ бесконечным рядом

$$v(x) = \sum_{n=0}^{\infty} v_n(x), \tag{12}$$

где компоненты $v_n(x)$ определяются рекуррентно. Нелинейный оператор $F(v)$ может быть разложен в виде бесконечного ряда полиномов, задаваемых формулой

$$F(v) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n, \tag{13}$$

где A_n – так называемые полиномы Адомиана, включающие функции $v_0,\ v_1,\ v_2, \ldots$:

$$A_n = \frac{1}{n!}\frac{d}{d\lambda^n}\left[F\left(\sum_{i=0}^{n} \lambda^i v_i \right) \right]_{\lambda=0}, \quad n = 0,1,2,..., \tag{14}$$

или эквивалентно

$$\begin{aligned} A_0 &= F(v_0), \\ A_1 &= v_1 F'(v_0), \\ A_2 &= v_2 F'(v_0) + \frac{1}{2} v_1^2 F''(v_0), \\ A_3 &= v_3 F'(u_0) + v_1 v_2 F''(v_0) + \frac{1}{3} v_1^3 F'''(u_0), \\ A_4 &= v_4 F'(v_0) + \left(v_1 v_3 + \frac{1}{2} v_2^2 \right) F''(v_0) + \frac{1}{2} v_1^2 v_2 F'''(v_0) + \frac{1}{24} v_1^4 F^{(\mathrm{IV})}(v_0), \quad ... \end{aligned} \tag{15}$$

В настоящее время эти полиномы могут быть сгенерированы для всех классов нелинейности согласно специальным алгоритмам. В частности, один из таких альтернативных алгоритмов построения полиномов Адомиана представлен в работе [47].

Далее кратко изложим получение на основе ADM [48] решения задачи при $\lambda = -2$. Начнем с того, что уравнение (1) можно записать в операторной форме

$$\begin{aligned} Lv &= 2e^{v}, \\ v(0) &= v'(0) = 0, \end{aligned} \tag{16}$$

где дифференциальный оператор L определен как

$$L = \frac{\partial^2}{\partial x^2}. \tag{17}$$

Обратный оператор L^{-1} представляется двукратным интегральным оператором

$$L^{-1} = \int_0^x \int_0^x (\cdot)\, \mathrm{d}x\, \mathrm{d}x. \tag{18}$$

Применяя обратный оператор L^{-1} к обеим частям уравнения (16) и используя начальное условие (2), получаем

$$v(x) = 2L^{-1}\left(\mathrm{e}^{v}\right). \tag{19}$$

Подстановка (12) и (13) в функциональное уравнение (19) дает

$$\sum_{n=0}^{\infty} v_n(x) = 2L^{-1}\left(\sum_{n=0}^{\infty} A_n\right), \tag{20}$$

где A_n – так называемые полиномы Адомиана нелинейного члена e^{y} дифференциального уравнения (1), определенные в [48] в виде

$$\begin{aligned}
A_0 &= \mathrm{e}^{v_0}, \\
A_1 &= v_1 \mathrm{e}^{v_0}, \\
A_2 &= \left(v_2 + \frac{1}{2} v_1^2\right)\mathrm{e}^{v_0}, \\
A_3 &= \left(v_3 + v_1 v_2 + \frac{1}{6} v_1^3\right)\mathrm{e}^{v_0}, \\
A_4 &= \left(v_4 + v_1 v_3 + \frac{1}{2} v_2^2 + \frac{1}{2} v_1^2 v_2 + \frac{1}{24} v_1^4\right)\mathrm{e}^{v_0}, \quad \ldots
\end{aligned} \tag{21}$$

Приняв для нулевой компоненты $v_0(x) = 0$, остальные компоненты $u_n(x)$, $(n \geq 1)$ могут быть получены рекуррентно с помощью соотношения

$$v_{k+1}(x) = 2L^{-1}\left(A_k\right), \quad k \geq 0. \tag{22}$$

В свою очередь это дает

$$\begin{aligned}
&v_0(x) = 0 \;\rightarrow\; v_1(x) = x^2 \;\rightarrow\; v_2(x) = \frac{1}{6} x^4 \;\rightarrow\; v_3(x) = \frac{2}{45} x^6 \;\rightarrow \\
&\rightarrow\; v_4(x) = \frac{17}{1\,260} x^8 \;\rightarrow\; v_5(x) = \frac{62}{14\,175} x^{10} \;\rightarrow\; v_6(x) = \frac{691}{467\,775} x^{12} \quad \ldots
\end{aligned} \tag{23}$$

С учетом (13) решение $v(x)$ принимает вид

$$v(x) = x^2 + \frac{1}{6}x^4 + \frac{2}{45}x^6 + \frac{17}{1\,260}x^8 + \frac{62}{14\,175}x^{10} + \frac{691}{467\,775}x^{12} + \ldots \quad (24)$$

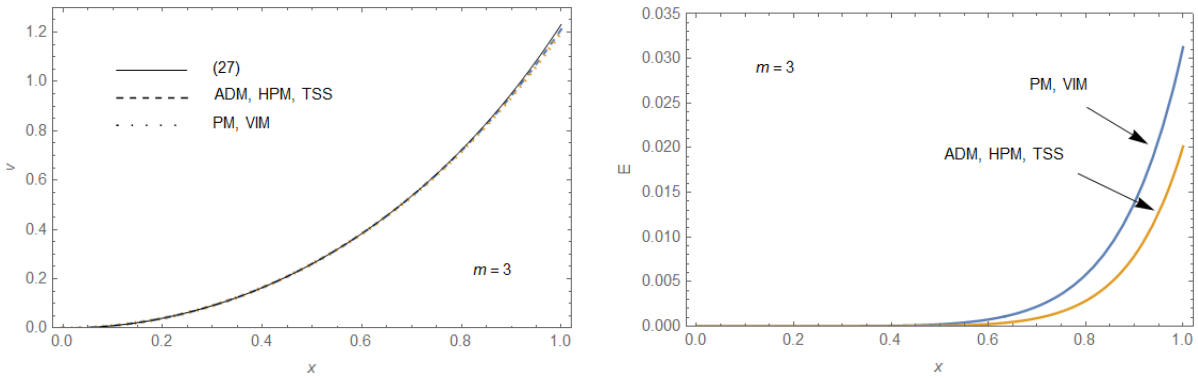
Решение (24) ограничено областью $0 \le x \le 1$. Точное решение задачи (1), (2) имеет вид [48]

$$v^*(x) = -2\ln\left[\cos(x)\right]. \quad (25)$$

Если разложим в ряд Тейлора точное решение (25), то придем к степенному ряду (24). Для приближенного решения, описываемого полиномом

$$v(x) \cong \sum_{n=0}^{m=3} v_n(x) = x^2 + \frac{1}{6}x^4 + \frac{2}{45}x^6, \quad (26)$$

построен график (рис. 2, *а*). Абсолютное отклонение приближенного решения от точного (25), определяемого формулой $E = \left|v(x) - v^*(x)\right|$, достигает максимального значения $\sim 0{,}020$ (рис. 2, *б*).



а *б*

Рис. 2. Графики приближенных (ADM, HPM, TSS, PM, VIM) и точного (27) (сплошная линия) решений (*а*) и графики абсолютных отклонений (*б*)

Метод возмущений (*Perturbation method* – PM). Этот метод хорошо известен [49] и одним из первых стал применяться при решении многих типов нелинейных задач прежде всего в таких областях как классическая механика, механика жидкости и газа, аэродинамика [50].

Следуя работе [51], будем предполагать, что нелинейный член в уравнении (1) представляет собой малое возмущение и что решение может быть выражено в виде степенного ряда по малому параметру:

$$v(x) = v_0 + \varepsilon v_1 + \varepsilon^2 v_2 + \ldots \quad (27)$$

Подстановка (27) в (1) и приравнивание членов с равными степенями дает серию обыкновенных дифференциальных уравнений, которые можно рекурсивно проинтегрировать для определения функций v_0, v_1, v_2 и т. д.

Обратившись к задаче Брату (1), (2), зададим $\lambda = -2$. Подстановка (27) в (1) дает

$$\begin{aligned} &v'' - 2e^{\varepsilon u_0} = 0, \\ &v_0'' + \varepsilon v_1'' + \varepsilon^2 v_2'' - 2\left(1 + \varepsilon v_0 + \varepsilon^2 \frac{v_0''}{2} + \ldots\right) = 0. \end{aligned} \tag{28}$$

Далее потребуем, чтобы члены одного порядка были равны друг другу:

$$\begin{aligned} &\varepsilon^0: \quad v_0'' - 2 = 0, && v_0(0) = v_0'(0) = 0, \\ &\varepsilon^1: \quad v_1'' - 2v_0 = 0, && v_1(0) = v_1'(0) = 0, \\ &\varepsilon^2: \quad v_2'' - v_0^2 = 0, && v_2(0) = v_2'(0) = 0. \end{aligned} \tag{29}$$

Решение системы уравнений (29) дает

$$v_0(x) = x^2, \quad v_1(x) = \frac{x^4}{6}, \quad v_2(x) = \frac{x^6}{30}, \quad \ldots \tag{30}$$

Подставив (30) в (27), получим приближенное решение

$$v(x) \cong x^2 + \varepsilon \frac{x^4}{6} + \varepsilon^2 \frac{x^6}{30} + \ldots \tag{31}$$

В работе [51] показано, что наиболее точная аппроксимация достигается при $\varepsilon = 1$. В частности, для $m = 3$ имеем приближенное решение [51]

$$v(x) \cong x^2 + \frac{x^4}{6} + \frac{x^6}{30}. \tag{32}$$

Для полинома (32) построен график (рис. 2, *а*). По сравнению с решением на основе ADM здесь мы имеем гораздо худшую аппроксимацию (рис. 2, *б*).

Гомотопический метод возмущений (Homotopy perturbation method – HPM*).* В 1998 г. Хе [52; 53] использовал основные идеи гомопотии в топологии, чтобы предложить общий аналитический метод – гомотопический метод возмущений (HPM) для решения нелинейных задач. Этот метод успешно применялся в решении многих типов нелинейных задач (см., например, [54] и [55]). На практике HPM представляет собой достаточно мощный и относительно простой в применении аналитический инструмент, которому не требуется наличие малых параметров в дифференциальных уравнениях. Для решения начальной задачи типа Брату (1), (2) в работе [56] применен метод с введением малого параметра и с разложением нелинейного члена уравнения в ряд Тейлора, основанный на методе HPM [52].

Следуя авторам работы [56], применим НРМ для решения задачи (1)–(2), введя непосредственно в уравнение Брату (1) параметр $p \in [0, 1]$ в виде

$$-v'' = \lambda e^{pv}, \tag{33}$$

$$v(0) = v'(0) = 0. \tag{34}$$

При $p = 1$ уравнение (33) становится исходным. Отметим, что ввиду того, что $p \in [0, 1]$, так называемый параметр вложения p можно рассматривать как «малый параметр». Применив технику метода возмущений [57], будем предполагать, что решение уравнений (33), (34) может быть выражено в виде степенного ряда по параметру p:

$$v(x) = \sum_{n=0}^{\infty} p^n v_n = v_0 + p v_1 + p^2 v_2 + p^3 v_3 + \ldots \tag{35}$$

Положив $p = 1$, получим

$$v(x) = \sum_{n=0}^{\infty} v_n = v_0 + v_1 + v_2 + v_3 + \ldots \tag{36}$$

Чтобы получить приближенное решение уравнения (33) с начальными условиями (34), разложим экспоненту e^v в ряд Тейлора:

$$e^v = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{v^n}{n!} = 1 + v + \frac{v^2}{2} + \frac{v^3}{6} + \ldots \tag{37}$$

Подставив (35)–(37) в (33) и (34) и приравняв коэффициенты с одинаковыми степенями для параметра p, получаем:

$$\begin{aligned}
&p^0: && -v_0'' = \lambda, && v_0(0) = v_0'(0) = 0,\\
&p^1: && -v_1'' = \lambda v_0, && v_1(0) = v_1'(0) = 0,\\
&p^2: && -v_2'' = \lambda\left(v_1 + \frac{1}{2}v_0^2\right) = 0, && v_2(0) = v_2'(0) = 0,\\
&p^3: && -v_3'' = \lambda\left(v_2 + v_0 v_1 + \frac{1}{6}v_0^3\right) = 0, && v_2(0) = v_2'(0) = 0.
\end{aligned} \tag{38}$$

Из уравнений (38) последовательно находим

$$v_0 = -\frac{\lambda}{2}x^2, \quad v_1 = \frac{\lambda^2}{24}x^4, \quad v_2 = -\frac{\lambda^3}{180}x^6, \quad v_4 = \frac{17\lambda^4}{20160}x^8, \quad v_5 = -\frac{31\lambda^5}{226800}x^{10}, \quad \ldots \tag{39}$$

При $\lambda = -2$ из (38) и (39) получаем приближенное решение в виде степенного ряда

$$v(x) = x^2 + \frac{1}{6}x^4 + \frac{2}{45}x^6 + \frac{17}{1260}x^8 + \frac{62}{14175}x^{10} + \ldots \tag{40}$$

Как видим, в итоге мы нашли приближенное решение, которое идентично решению (24), полученному в [48] на основе метода разложения Адомиана (ADM).

Метод вариационной итерации (Variational Iteration Method – VIM*).* Для иллюстрации основных положений метода вариационной итерации [58–60] рассмотрим дифференциальное уравнение

$$L(v)+N(v)=g(x), \tag{41}$$

где L – линейный оператор; N – нелинейный оператор; $g(t)$ – неоднородный член.

Тогда можем построить корректно выполняемый функционал следующим образом:

$$v_{n+1}(x)=v_n(x)+\int_0^1 \lambda\left[Lv_n(s)+N\bar{v}_n(s)-g(s)\right]\mathrm{d}s, \tag{42}$$

где λ – множитель Лагранжа [58; 59], который можно оптимально определить на основе вариационной теории. Второе слагаемое справа – это поправка, причем $\bar{u}_n$ рассматривается как ограниченная вариация, т. е. $\delta\bar{v}_n=0$. В нелинейном дифференциальном уравнении (42) нелинейный член $N(u)$ может быть представлен в виде ряда Тейлора

$$N(v)=\sum_{k=0}^{\infty}a_k v^k. \tag{43}$$

Множитель Лагранжа λ в функционале (42) определяется с учетом граничных условий (2). В результате получаем

$$v_{n+1}(x)=v_n(x)+\int_0^1 \lambda\left[Lv_n(s)+\sum_{k=0}^{\infty}a_k v^k(s)-g(s)\right]\mathrm{d}s. \tag{44}$$

Применительно к задаче (1), (2) при $\lambda=-2$ из (44) имеем итерационную формулу [32]

$$v_{n+1}(x)=v_n(x)+\int_0^1 (s-x)\left\{v''(s)-2\left[1+v+\frac{v^2}{2}\right]\right\}\mathrm{d}s. \tag{45}$$

Из (45) последовательно находим

$$\begin{aligned}
&v_1(x)=x^2,\\
&v_2(x)=x^2+\frac{x^4}{6}+\frac{x^6}{30},\\
&v_3(x)=x^2+\frac{x^4}{6}+\frac{2x^6}{45}+\frac{x^8}{140}+\frac{17x^{10}}{16200}+\frac{x^{12}}{11880}+\frac{x^{14}}{163800},\quad \ldots
\end{aligned} \tag{46}$$

График приближенного решения (46) для $v_2(x)$ полностью совпадает с аналогичным графиком для решения на основе РМ в виде полинома (32) (рис. 2, *а*). Аналогичное совпадение имеет место для абсолютного отклонения (рис. 2, *б*).

Метод контролируемой вариационной итерации (Controlled Variational Iteration Method – CVIM*).* Предложен новый алгоритм вариационной итерации для решения задачи типа Брату (1), (2) на основе ESP с введением ненулевого вспомогательного параметра χ, управляющего областью сходимости. Данный подход устраняет сложности, которые имеют место в стандартных вариационно-итерационных алгоритмах, проиллюстрированных в работах [29; 38], и здесь не требуется аппроксимация экспоненциального члена посредством его разложения в ряд Тейлора. Правильный выбор вспомогательного параметра χ приводит к более точной аппроксимации по сравнению со стандартным VIM.

Стандартная вариационная итерационная формула (42), примененная авторами [30; 33] для решения уравнения Брату, имеет два основных недостатка. Первый недостаток связан с уравнением Брату, которое усложняет формулу итерации ввиду сложности интегрирования (после первой итерации) вследствие присутствия нелинейного члена e^{v}. Практически все авторы, использовавшие VIM для решения уравнения Брату, преодолевали эту проблему, аппроксимируя нелинейный член e^{v} с помощью ряда Тейлора (37). Второй недостаток связан именно с самой схемой VIM, которая не предусматривает возможности повышения и контроля точности решения. Авторы работы [34] воспользовались примененным в [61] преобразованием дифференциального уравнения (1) посредством его умножения на $v'(x)$ и интегрирования по области $x \in [0,1]$. Ими было получено уравнение

$$\frac{\mathrm{d}^2 v}{\mathrm{d}x^2} - \frac{1}{2}\left(\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x}\right)^2 + \lambda = 0. \tag{47}$$

Используя алгоритм (42), с учетом (47) и параметра χ имеем [34]

$$v_{n+1}(x) = v_n(x) + \chi \int_0^1 (s-x)\left\{\frac{\mathrm{d}^2 v_n(s)}{\mathrm{d}x^2} - \frac{1}{2}\left(\frac{\mathrm{d}v_n(s)}{\mathrm{d}x}\right)^2 + \lambda\right\}\mathrm{d}s. \tag{48}$$

Из (48) для второй и третьей итераций получаем решения в виде [34]

$$v_2(x,\chi) = \left(2\chi - \chi^2\right)x^2 + \frac{1}{6}\chi^3 x^4, \tag{49}$$

$$v_3(x,\chi) = \left(3\chi - 3\chi^2 + \chi^3\right)x^2 + \frac{1}{6}\left(5\chi^3 - 5\chi^4 + \chi^5\right)x^4 + \frac{1}{45}\left(4\chi^5 - 2\chi^6\right)x^6 + \frac{1}{252}\chi^7 x^8. \tag{50}$$

Для решения (49), отвечающего второй итерации, был найден параметр $\chi = 1{,}17$, при котором абсолютная невязка уравнения (47) минимальная. Для третьей итерации (50) проведенные расчеты дают значение $\chi = 1{,}163$ с окончательным решением

$$v(x) \cong 1{,}00433x^2 + 0{,}140936x^4 + 0{,}0791483x^6 + 0{,}0114198x^8. \tag{51}$$

График для абсолютного отклонения $E(x)$ решения (52) представлен на рис. 3.

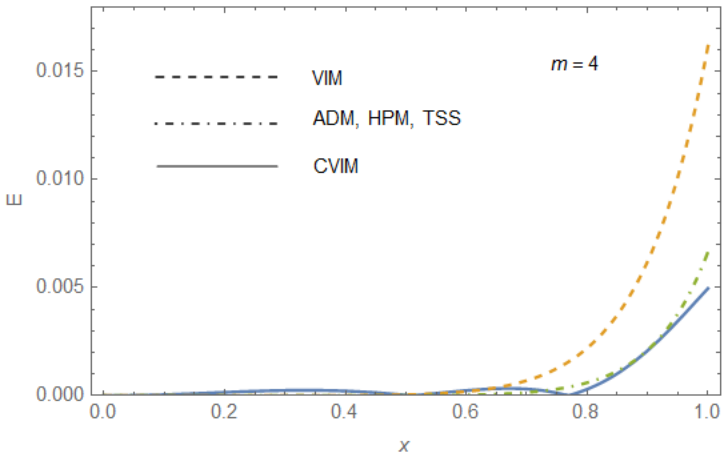


Рис. 3. Графики для абсолютных отклонений

Как видим, по сравнению со стандартным алгоритмом VIM здесь достигается достаточно существенное повышение аппроксимационной точности решения: максимальное отклонение уменьшается примерно в три раза. Однако если сравнить графики $E(x)$ для VIM, ADM и HPM, то для всех данных решений получаются примерно одинаковые максимальные аппроксимационные ошибки.

Новые приближенные решения начальной задачи типа Брату. Ниже представлены некоторые новые варианты получения приближенных полиномиальных (Polynomial Solutions – PS) решений начально-краевой задачи Брату (1), (2).

Применение разложения в ряд Тейлора (Taylor Series Solution – TSS*).* В работе [62] краевая задача Брату решена методом разложения искомого решения в ряд Тейлора в точке $x=0$ с граничными условиями $v(0)=v(1)=0$. Применим данный метод для решения начальной задачи Брату, т. е. с граничными условиями (2). Представим уравнение Брату в виде

$$v''(x)=\lambda e^{v}. \tag{52}$$

Далее продифференцируем многократно уравнение (52):

$$\begin{aligned}
v^{(3)} &= \lambda e^{v} v', \\
v^{(4)} &= \lambda\left[(v')^2 + v''\right]e^{u}, \\
v^{(5)} &= \lambda\left[(v')^3 + 3v'v'' + v^{(3)}\right]e^{v}, \\
v^{(6)} &= \lambda\left[(v')^4 + 6(v')^2 v'' + 3(v'')^2 + 4v'v^{(3)} + v^{(4)}\right]e^{v}, \quad \ldots
\end{aligned} \tag{53}$$

Для точки $x=0$, применив граничные условия (2), из (52) и (53) получаем

$$\begin{aligned}
&v''(0)=\lambda, \quad v^{(3)}(0)=0, \quad v^{(4)}(0)=\lambda^2, \quad v^{(5)}(0)=0, \quad v^{(6)}(0)=4\lambda^3, \\
&v^{(7)}(0)=0, \quad v^{(8)}(0)=34\lambda^4, \quad v^{(9)}(0)=0, \quad v^{(10)}(0)=496\lambda^5, \quad \ldots
\end{aligned} \tag{54}$$

Решение задачи в виде ряда Тейлора с учетом (54) запишем как

$$v(x)=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{v^{(n)}}{n!}x^n=v(0)+v'(0)x+\frac{1}{2!}v''(0)x^2+\frac{1}{3!}v'''(0)x^3+\frac{1}{4!}v^{(4)}(0)x^4+\ldots=$$
$$=\frac{\lambda}{2!}x^2+\frac{\lambda^2}{4!}x^4+\frac{4\lambda^3}{6!}x^6+\frac{34\lambda^4}{8!}x^8+\frac{496\lambda^5}{10!}x^{10}+\ldots \qquad (55)$$

В общем виде полученное решение (55) можно записать в виде

$$v(x)=\sum_{k=1}^{\infty}\frac{v^{(2k)}(0)}{(2k)!}x^{2k}=\sum_{k=1}^{\infty}\frac{b_k}{(2k)!}\lambda^k\,x^{2k}. \qquad (56)$$

Первые 10 значений коэффициента b_k в (56) приведены в следующей табл. 1.

Таблица 1. Коэффициенты полиномиального решения (34)

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
b_k	1	1	4	34	496	11 056	349 504	14 873 104	819 786 496	56 814 228 736

При $\lambda=2$ из (56) с учетом данных табл. 1 получаем

$$v(x)=x^2+\frac{1}{6}x^4+\frac{2}{45}x^6+\frac{17}{1\,260}x^8+\frac{62}{14\,175}x^{10}+\frac{691}{467\,775}x^{12}+\frac{21\,844}{42\,567\,525}x^{14}+\ldots \qquad (57)$$

Как видим, в итоге мы получили приближенное решение, идентичное решениям (24) и (40), полученным методами ADM и HPM соответственно (рис. 2 и 3).

Комбинированный метод. В начальной задаче типа Брату (1), (2) отсутствие граничных условий для $x=1$ приводит к существенному росту ошибки аппроксимации вблизи данной точки. Поэтому имеет смысл ввести в рассмотрение такие соотношения, которые каким-либо образом «задают» искомую функцию $v(x)$. и ее производную $v'(x)$ в граничной точке $x=1$, т. е.

$$v(1)=a,\qquad v'(1)=b. \qquad (58)$$

Несмотря на то, что значения a и b в (58) не известны, мы можем тем не менее их «определить» посредством некоторых соотношений, о которых пойдет речь ниже.

Умножим уравнение (1) на $v'(x)$ и проинтегрируем по области $x\in[0,1]$:

$$\int_0^1 v''(x)v'(x)\,\mathrm{d}x+\lambda\int_0^1 \mathrm{e}^{v(x)}\,v(x)\,\mathrm{d}x=0. \qquad (59)$$

В итоге получим

$$\left(\mathrm{e}^{v(1)}-1\right)\lambda+\frac{1}{2}v'(1)^2=0\ \rightarrow\ \left(\mathrm{e}^{a}-1\right)\lambda+\frac{1}{2}b^2=0. \qquad (60)$$

Отсюда находим

$$v'(1) = b = \sqrt{2\lambda(1-A)} \qquad (A = \mathrm{e}^{a}). \tag{61}$$

Из соотношения $A = \mathrm{e}^{a}$ имеем для точки $x = 1$

$$v(1) = a = \ln A. \tag{62}$$

Полученные соотношения (61) и (62) будем в дальнейшем использовать в виде дополнительных «граничных условий» для точки $x = 1$ согласно (58).

Соотношения (61) и (62) содержат неизвестный параметр A. Для его определения применим интегральное соотношение, которое получим интегрированием уравнения (1), предварительно умноженного на $(1-x)$. Применив интегрирование по частям, приходим к определяющему интегральному соотношению

$$S(A) = \int_0^1 \mathrm{e}^{v(x,A)}(1-x)\,\mathrm{d}x\,\frac{\ln(A)}{\lambda} = 0. \tag{63}$$

Далее применим полученные соотношения (61)–(63) совместно с результатами решения задачи, например, на основе TSS. Искомое решение запишем в виде

$$v(x) \cong \sum_{n=1}^{m-2} a_n x^{2n} + C_1 x^{2(m-1)} + C_2 x^{2m} \qquad (m = 3,4,\ldots). \tag{64}$$

Коэффициенты $\{a_n\}_{n=1}^{n=m-2}$ соответствуют решениям, полученным одним из методов: ADM, HPM, TSS. Тогда для входящих в (64) неизвестных коэффициентов C_1 и C_2 достаточно будет использовать «граничные условия» (61) и (62) с последующим применением интегрального соотношения (63). Получим приближенные решения при m = 3, 4, 5 и 6.

N = 6 (m = 3). Запишем искомое приближенное решение задачи (1), (2) при $\lambda = -2$ в виде полинома

$$v(x) \cong x^2 + C_1 x^4 + C_2 x^6. \tag{65}$$

Подстановка (65) в (61) и (62) дает систему линейных уравнений, из которой находим

$$C_1 = -2 - \sqrt{A-1} + 3\ln A, \qquad C_2 = 1 + \sqrt{A-1} - 2\ln A. \tag{66}$$

Применив численное интегрирование (63) с учетом (65) и (66), получим зависимость $S(A)$. Для $S(A) = 0$ получаем $A = 3{,}42163$. Отсюда, используя (66), находим коэффициенты

$$C_1 = 0{,}134193, \qquad C_2 = 0{,}0959245. \tag{67}$$

В итоге, учитывая (65), приходим к приближенному решению в виде

$$v(x) \cong x^2 + 0{,}134193x^4 + 0{,}0959245x^6. \qquad (68)$$

График решения (68) представлен на рис. 4, *а*. Отмечаем полное слияние графиков для приближенного и точного решений. График для абсолютного отклонения $E(x)$ (по сравнению с другими решениями) представлен на рис. 4, *б*. Мы видим существенное снижение максимального абсолютного отклонения по сравнению с решениями на основе ADM, HPM, TSS.

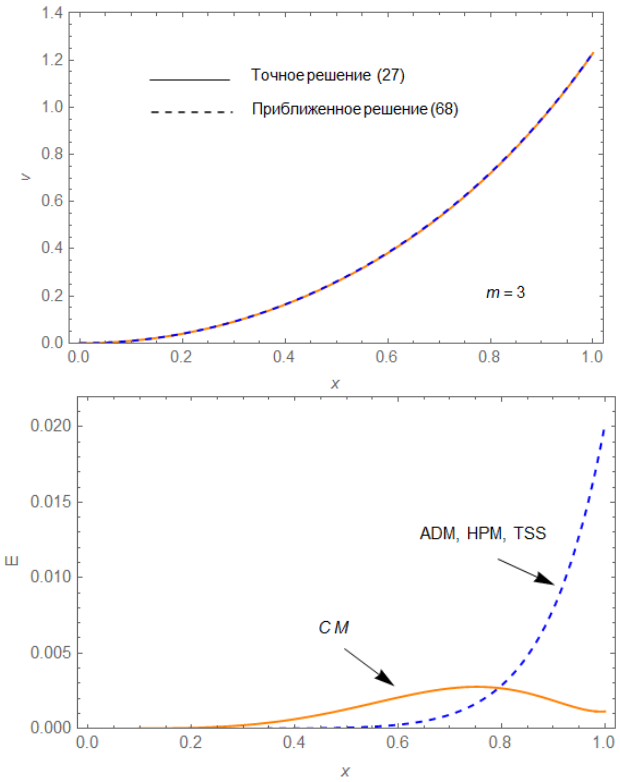


Рис. 4. Графики для точного (27) и приближенного (68) решений (*а*)
и для абсолютных отклонений ADM, HPM, TSS и CM при $m = 4$ (*б*)

$N = 8$ ($m = 4$). Для решения в виде полинома степени $N = 8$ из (64) имеем

$$v(x) \cong x^2 + \frac{x^4}{6} + C_1 x^6 + C_2 x^8. \qquad (69)$$

Проведя аналогичные случаю $m = 3$ вычисления, получаем

$$C_1 = -\frac{10}{3} - \sqrt{A-1} + 4\ln A, \qquad C_2 = \frac{13}{6} + \sqrt{A-1} - 3\ln A. \qquad (70)$$

Используя интегральное соотношение (63), находим $A = 3{,}425$, откуда из (7)

$$C_1 = 0{,}0338305, \qquad C_2 = 0{,}030604. \qquad (71)$$

Искомое решение из (69) получаем в виде следующего полинома:

$$v(x) = x^2 + \frac{x^4}{6} + 0,0338305x^6 + 0,030604x^8. \qquad (72)$$

Аналогичным образом могут быть получены решения для более высокого порядка приближения. В частности, при N = 10 и 12 соответственно находим

$$N = 10 \quad (m = 5): \qquad A = 3,42543 \;\rightarrow\; \{C_1 = 0,0098682, \quad C_2 = 0,010248\}, \qquad (73)$$

$$N = 12 \quad (m = 6): \qquad A = 3,4255 \;\rightarrow\; \{C_1 = 0,00310123, \quad C_2 = 0,00354352\}. \qquad (74)$$

Из (74) получаем следующие приближенные решения:

$$v(x) = x^2 + \frac{1}{6}x^4 + \frac{2}{45}x^6 + 0,0098682x^8 + 0,010248x^{10}, \qquad (75)$$

$$v(x) = x^2 + \frac{x^4}{6} + \frac{2x^6}{45} + \frac{17x^8}{1260} + 0,00310123x^{10} + 0,00354352x^{12}. \qquad (76)$$

Графики абсолютных отклонений полученных приближенных решений (68), (72), (75) и (76) представлены на рис. 5. Констатируем высокую сходимость данных приближенных решений, которые получены предложенным новым комбинированным методом.

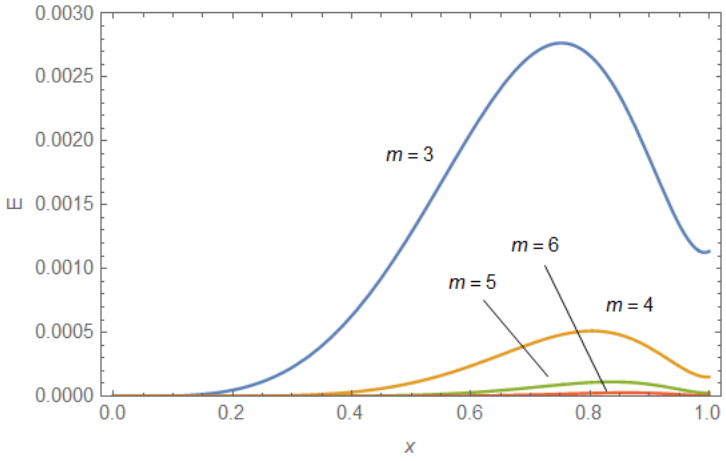


Рис. 5. Графики абсолютных отклонений E на основе комбинированного метода

Заключение. Для решения начальной задачи типа Брату, описывающей процесс электроспиннинга, проанализировано большинство основных приближенных аналитических и численно-аналитических методов, которые применялись многими исследователями. Показано, что среди данных методов следует особо выделить метод разложения Адомиана (ADM) и метод гомотопических возмущений (HPM). Данные приближенные методы дают достаточно точные аппроксимации начальной задачи типа Брату. В то же время метод возмущения

(PM) и вариационно-итерационный метод (VIM) заметно уступают в точности методам ADM и HPM. Применение других «усовершенствований» рассмотренных методов, как правило, не дает каких-либо существенных преимуществ. Среди них достаточно интересным и более точным выглядит метод контролируемой вариационной итерации (CVIM). В работе показано, что применение последовательного дифференцирования уравнения Брату в точке $x = 0$ с применением формулы Тейлора в виде разложения в степенной ряд (TSS) позволяет достаточно легко получать аппроксимационное решение начальной задачи типа Брату, которое полностью идентично решениям, отвечающим методу разложения Адомиана (ADM) и гомотопическому методу возмущения (HPM). Использование комбинации TSS (ADM, HPM) и полученных новых дополнительных «граничных условий» для $x = 1$ с привлечением специального интегрального соотношения позволяет очень существенно улучшить точность приближенных решений по сравнению со всеми рассмотренными методами, включая ADM и HPM, причем точность аппроксимационного решения повышается на порядок и более.

Литература

1. Bratu, G. Sur les equations integrales non lineaires / G. Bratu // Bull. Soc. Math. France. – 1914. – Vol. 42. – P. 113–142.
2. Aris, R. The mathematical Theory of Diffusion and Reaction in Permeable Catalyst / R. Aris. – Oxford University Press, 1975.
3. Bebernes, J. Mathematical Problems from Combustion Theory/ J. Bebernes, D. Eberly. – Springer-Verlag, 1989.
4. Ascher, U. M. Numerical Solution of Boundary Value Problems for Ordinary Differential Equations / U. M. Ascher, R. Matheij, R. D. Russell. – SIAM, Philadelphia, 1995.
5. Chui, C. K. A Mathematical Tool for Signal Analysis. Wavelets / C. K. Chui. – SIAM, Philadelphia, 1997.
6. Davis, H. T. Introduction to Nonlinear Differential and Integral Equations / H. T. Davis. – Dover, New York, 1962.
7. Frank-Kamenetski, D. A. Diffusion and Heat Exchange in Chemical Kinetics / D. A. Frank-Kamenetski. – Princeton Univ. Press, Princeton, NJ, 1955.
8. Hassan, I. H. A. H. Applying differential transformation method to the onedimensional planar Bratu problem / I. H. A. H. Hassan, V. S. Erturk // Int. J. Contemp. Math. Sci. – 2007. – Vol. 2. – P. 1493–1504.
9. Caglar, H. Dynamics of the solution of Bratu's equation / H. Caglar [and other] // Nonlin. Anal. Theory Methods Appl. – 2009. – Vol. 71. – P. 672–678.
10. Chandrasekhar, S. Introduction to the Study of Stellar Structure / S. Chandrasekhar. – Dover, New York, 1967.
11. Hsiao, C. H. Haar wavelet approach to linear stiff systems / C. H. Hsiao // Math. Comput. Simul. 2004. – Vol. 64. – P. 561–567.
12. Jacobson, J. The Liouville–Bratu–Gelfand problem for radial operators / J. Jacobson, K. Schmitt. // J. Differ. Equations. – 2002. – Vol. 184. – P. 283–298.
13. Lepik, U. Numerical solution of evolution equations by the Haar wavelet method / U. Lepik // Appl. Math. Comput. – 2007. – Vol. 185. – P. 695–704.

14. Lepik, U. Numerical solution of differential equations using Haar wavelets / U. Lepik // Math. Comput. Simul. – 2005. – Vol. 68. – P. 127–143.

15. Mounim, A. S. From the fitting techniques to accurate schemes for the Liouville-Bratu-Gelfand problem / S. A. Mounim // Numer. Methods Partial Differ. Equations. – 2006. – Vol. 22. – P. 761–775.

16. Wazwaz, A. M. A new method for solving singular initial value problems in the second order differential equations / A. M. Wazwaz // Appl. Math. Comput. – 2002. – Vol. 128. – P. 47–57.

17. Boyd, J. P. Chebyshev polynomial expansions for simultaneous approximation of two branches of a function with application to the one-dimensional Bratu equation / J. P. Boyd // Appl. Math. Comput. – 2003. – Vol. 142. – P. 189–200.

18. Boyd, J. P. An analytical and numerical study of the two-dimensional Bratu equation/ J. P. Boyd // J. Sci. Comput. – 1986. – Vol. 1. – P. 183–206.

19. Buckmire, R. Investigations of nonstandard Mickens-type finite difference schemes for singular boundary value problems in cylindrical or spherical coordinates / R. Buckmire // Numer. Methods Partial Differ. Equations. – 2003. – Vol. 19. – P. 380–398.

20. Buckmire, R. Application of Mickens finite difference scheme to the cylindrical Bratu Gelfand problem / R. Buckmire // Numer. Methods Partial Differ. Equations. – 2004. – Vol. 20. – P. 327–337.

21. Syam, M. I. An efficient method for solving Bratu equations / M. I. Syam, A. Hamdan // Appl. Math. Comput. – 2006. – Vol. 176. – P. 704–713.

22. Aksoy, Y. New perturbation iteration solutions for Bratu type equations / Y. Aksoy, M. Pakdemirli // Comput. Math. Appl. – 2010. – Vol. 59. – P. 2802–2808.

23. Wazwaz, A. M. A domain decomposition method for a reliable treatment of the Bratu type equations / A. M. Wazwaz // Appl. Math. Comput. – 2005. – Vol. 166. – P. 652–663.

24. Abbasbandy, S. The Lie group shooting method for solving the Bratu equation / S. Abbasbandy, M. S. Hashemi, C. S. Liu // Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul. – 2011. – Vol. 16. – P. 4238–4249.

25. Venkatesh, S. G. The Legendre wavelet method for solving initial value problems of Bratu type / S. G. Venkatesh, S. K. Ayyaswamy, S. R. Balachandar // Comput. Math. Appl. – 2012. – Vol. 63. – P. 1287–1295.

26. Salem, S. A. On solving Bratu's type equation by perturbation method / S. A. Salem, T. Y. Thanoon // Int. J. Nonlinear Anal. Appl. – 2022. – Vol. 13, No 1. – P. 2755–2763.

27. Feng, X. Application of homotopy perturbation method to thee Bratu-type equation / X. Feng, Y. He, J. Meng // Topological Methods in Nonlinear Analysis. – 2008. – Vol 31. – P. 243–252.

28. He, J. H. Variational iteration method : New development and applications / J. H. He, X. H. Wu // Computers & Mathematics with Applications. – 2007. – Vol. 54. – P. 881–894.

29. He, J. H. Variational iteration method for Bratu-like equation arising in electrospinning / J. H. He [and other] // Carbohydrate Polymers. – 2014. – Vol. 105. – P. 229–230.

30. Saravi, M. Solution of Bratu's equation by He's variational iteration method / M. Saravi, M. Hermann, D. Kaiser // American J. Comput. Appl. Math. – 2013. – Vol. 3. – P. 46–54.

31. Jin, L. Application of modified variational iteration method to the Bratu-type problems / L. Jin // Int. J. Contemp. Math. Sciences. – 2010. – Vol. 5, No. 4. – P. 153–158.

32. Abolarin, O. E. New improved variational homotopy perturbation method for Bratu-type problems / O. E. Abolarin // American Journal of Computational Mathematics. – 2013. – Vol. 3. – P. 110–113.

33. Batiha, B. Numerical solution of Bratu-type equations by the variational iteration method / B. Batiha // Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics. – 2010. – Vol. 39. – P. 23–29.

34. Mousa, M. M. Controlled variational iteration method for Bratu equation arising in electro-spun organic nanofibers elaboration / M. M. Mousa // British Journal of Mathematics & Computer Science. – 2015. – Vol. 5, No. 4. – P. 515–524.

35. Turkyilmazoglu, M. An optimal variational iteration method / M. Turkyilmazoglu // Applied Mathematics Letters. – 2011. – Vol. 24. – P. 762–765.

36. Khil, M. S. Electrospun nanofibrous polyurethane membrane as wound dressing / M. S. Khil [and other] // J. Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials. – 2003. – Vol. 67B, No. 2. – P. 675–679.

37. Taylor, G. Electrically driven jets / G. Taylor // Proceedings of the Royal Society A. – 1969. – Vol. 313.

38. Colantonia, A. Electro-spun organic nanofibers elaboration process investigations using comparative analytical solutions / A. Colantonia, K. Boubakerb // Carbohydrate Polymers. – 2014. – Vol. 101. – P. 307–312.

39. Jacobson, M. The Nonwovens Industry meets the Filtration Business / M. Jacobson. – Nonwovens Industry, 1991.

40. Li, W. J. Electrospun nanofibrous structure: a novel scaffold for tissue engineering / W. J. Li [and other] // J. Biomed. Mater. Res. – 2002. – Vol. 60. – P. 613–621.

41. Wan, Yu-Qin. Thermo-electro-hydrodynamic model for electrospinning process / Yu-Qin Wan, Q. Guo, N. Pan // Int. J. Nonlinear Sci. and Num. Simulat. – 2004. – Vol. 5, No 1. – P. 5–8.

42. Spivak, A. F. Asymptotic decay of radius of a weakly conductive viscous jet in an external electric field / A. F. Spivak, Y. A. Dzenis // Applied Physics Letters. – 1998. – Vol. 73, No. 21. – P. 3067–3069.

43. Spivak, A. F. A model of steady state jet in the electrospinning process / A. F. Spivak, Y. A. Dzenis, D. H. Reneker // Mech. Research Communications. – 2000. – Vol. 27, No 1. – P. 37–42.

44. Jafar, H. Electro-spunorganic nanofibers elaboration process investigations using BPs operational matrices / H. Jafar, H. Tajadod // Iranian J. of Mathematical Chemistry. – 2016. – Vol. 7, No. 1. – P. 19–27.

45. Adomian, G. Solving Frontier Problems of Physics: The Decomposition Method / G. Adomian. – Kluwer, Boston, 1994.

46. Adomian, G. A review of the decomposition method in applied mathematics / G. Adomian // J. of Mathematical Analysis and Application. – 1988. – Vol. 135. – P. 501–544.

47. Wazwaz, A. M. A new algorithm for calculating Adomian polynomials for nonlinear operators / A. M. Wazwaz // Applied Mathematics and Computation. – 2000. – Vol. 111. – P. 53–69.

48. Wazwaz, A. M. Adomian decomposition method for a reliable treatment of the Bratu-type equations / A. M. Wazwaz // Applied Mathematics and Computation. – 2005. – Vol. 166. – P. 652–663.

49. Holmes, M. H. Introduction to Perturbation Methods. Springer-Verlag / M. H. Holmes. – New York, 1995.

50. Chow, T. L. Classical Mechanics / T. L. Chow. – John Wiley and Sons Inc., USA, 1995.

51. Salema, S. A. On solving Bratu's type equation by perturbation Method / S. A. Salema, T. Y. Thanoon // Int. J. Nonlinear Anal. Appl. – 2022. – Vol. 13, No. 1. – P. 2755–2763.

52. He, J. H. Homotopy perturbation technique / J. H. He // Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. – 1999. – Vol. 178. – P. 257–262.

53. He, J. H. Newton-like iteration method for solving algebraic equation / J. H. He // Comm. Nonlinear Sci. Num. Simul. – 1998. – Vol. 3. – P. 106–109.

54. Abd El-Latif, G. M. A homotopy and a perturbation technique for non-linear problems / G. M. Abd El-Latif // Appl. Math. Comput. – 2005. – Vol. 169. – P. 576–588.

55. Ghori, Q. K. Application of homotopy perturbation method to squeezing flow of a Newtonian fluid / Q. K. Ghori, M. Ahmed, A. M. Siddiqui // Int. J. Nonlinear Sci. Numer. Simul. – 2007. – Vol. 8. – P. 179–184.

56. Xinlong Feng, X. Application of homotopy perturbation method to the Bratu-type equations / X. Xinlong Feng, Y. He, J. Meng // Topological Methods in Nonlinear Analysis. – 2008. – Vol. 31. – P. 243–252.

57. Nayfeh, A. H. Perturbation Methods / A. H. Nayfeh. – Wiley, New York, 2000.

58. He, J. H. Homotopy Perturbation method for bifurcation of nonlinear problems / J. H. He // Int. J. of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation. – 2005. – Vol. 6, No. 2. – P. 207–208.

59. He, J. H. Some asymptotic methods for strongly nonlinear equations / J. H. He // Int. J. of Modern Physics B. – 2006. – Vol. 20, No. 10. – P. 1141–1199.

60. He, J. H. Variational iteration method for delay differential equations / J. H. He // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. – 1997. – Vol. 2, No. 4. – P. 235–236.

61. Hassan, H. N. Analytic approximate solution for the Bratu's problem by optimal homotopy analysis method / H. N. Hassan, M. S. Semary // Communications in Numerical Analysis. – 2013. – P. 1–14.

62. He, Chun-Hui. Taylor series solution for fractal Bratu-type equation arising in electrospinning process / Chun-Hui He, Y. Shen, F. Y. Ji, J. H. He // Fractals. – 2019. – Vol. 28, No 1.

УДК 621.921

Проектирование абразивного инструмента для шлифования деталей подшипников

Крюков С. А., доктор техн. наук, профессор;
Шумячер В. М., доктор техн. наук, профессор;
Волгоградский государственный технический университет
400005, Россия, Волгоград, пр. им. Ленина, 28

Аннотация. При шлифовании дорожек качения роликовых подшипников предъявляются высокие требования к точности, геометрической форме, а также качеству поверхности (шероховатость и отсутствие прижогов). На финишной операции хорошо зарекомендовал себя керамический электрокорундовый абразивный инструмент фирмы Tyrolit. В настоящее время в РФ достаточное количество предприятий абразивной отрасли, которые потенциально могли бы справиться с задачей по замене импортного инструмента. Для решения этой задачи были проведены необходимые исследования на базе научно-технологического центра Волжского научно-исследовательского института абразивов и шлифования (НТЦ ВНИИАШ) Волгоградского государственного технического университета. Созданы экспериментальные круги, изготовленные из смеси зерен разной зернистости, работающие весь цикл обработки в режиме равномерного самозатачивания и непрерывной регенерации рабочей поверхности, что является одной из основных причин их высоких режущих свойств.
Ключевые слова: износостойкость, эксплуатационные характеристики, абразивный инструмент, структура.

Design of an abrasive tool for grinding bearing parts

Kryukov S. A., Shumyacher V. M.,
Volgograd State Technical University

Annotation. When grinding roller bearing raceways, high demands are placed on accuracy, geometric shape, as well as surface quality (roughness and absence of cauterization). The ceramic electrocorundum abrasive tool of Tyrolit company proved itself well at the finishing operation. Currently, there are a sufficient number of enterprises in the abrasive industry in the Russian Federation that could potentially cope with the task of replacing imported tools. To solve this problem, the necessary research was carried out on the basis of the scientific and Technological Center of the Volga Research Institute of Abrasives and Grinding (STC VNIIASH) Volgograd State Technical University. Experimental circles made of a mixture of grains of different grain sizes have been created, working the entire processing cycle in the mode of uniform self-sharpening and continuous regeneration of the working surface, which is one of the main reasons for their high cutting properties.
Keywords: war resistance, performance characteristics, abrasive tool, structure.

Введение. Замещение импортного абразивного инструмента на отечественный является необходимым процессом создания инновационных технологий в производстве подшипников.

Целью исследования являлось проектирование отечественного высокоэффективного абразивного инструмента (АИ) для шлифования дорожек качения роликовых подшипников.

Исходными данными для проектирования и создания высокоэффективного отечественного АИ было использование классических материалов и существующей технологии производства на российских абразивных предприятиях. На наш взгляд наиболее перспективным направлением проектирования абразивного инструмента является управление структурой и дисперсностью компонентов. Изменение процентного содержания отдельных фракций шлифзерна ведет к достижению необходимых эксплуатационных показателей процесса шлифования, а также определяет пути повышения производительности шлифования. Применение предлагаемых шлифкругов позволяет повысить производительность шлифования за счет увеличения скорости вращения круга или глубины обработки.

Производители АИ уделяют особое внимание назначению гранулометрического состава абразивного зерна и наполнителей. Размер и форма компонентов АИ оказывают значительное влияние на качество самого инструмента и его эксплуатационных характеристик. Зерновые составы абразивных материалов и наполнителей представляют собой полидисперсные системы зерен, различающихся размерами и формой. ГОСТ 3647-80 «Материалы шлифовальные» определяет суммарное содержание крупной, основной и мелкой фракций. Однако, анализ данных по абразивному инструменту, зарекомендовавшему себя в отечественном производстве, показывает, что в зерновых составах рассмотренных номеров зернистостей, наиболее часто применяемых при шлифовании, содержание основных фракций соответствует норме и не выходит за пределы, допускаемые ГОСТом. В то же время предельные, крупные и мелкие фракции по отдельным видам шлифзерна значительно превосходят допускаемые пределы. Особенно это касается мелкой фракции, содержание которой может быть в 5,8 раза больше или в 15 раз меньше, чем предусмотрено ГОСТом.

В связи с этим перспективными направлениями являются изыскание новых и совершенствование существующих составов абразивных смесей различных характеристик, реализующие конкретные требования к инструментам по прочности, твердости, пористости и структуре.

Анализ высококачественного импортного инструмента ряда производителей показал, что содержание основной фракции зерна в два раза меньше, а мелкой фракции содержится в 8–9 раз больше, а в отдельных импортных шлифкругах присутствует дополнительная мелкодисперсная фракция в 5–6 раз меньше размеров зерен основной фракции. Приведенные данные свидетельствуют, что абразивные составы смесей отдельных зарубежных фирм значительно отличаются от отечественных зерновых составов. Следует отметить, что зерновой состав импортных кругов имеет содержание основной фракции зерна в два раза меньше, а мелкой фракции содержится в 8–9 раз больше, чем у зерна марки 24А.

Основные структурные и физико-механические свойства АИ зависят, главным образом, от дисперсности (крупности) зерен и от их соотношения в зерновом составе. С уменьшением зернистости и оптимизации зернового состава свойства улучшаются, как правило, показатели инструмента [1–5].

Оптимизация зернового состава подразумевает получение абразивной смеси с узкой фракцией зерна по размеру или набором разных фракций, но сравнительно одинаковым их соотношением в зерновом составе.

Исходя из вышесказанного были изготовлены опытные образцы абразивного инструмента 6 кругов 150×10×10 25AF46/F60/F80L6V. Серийные (отечественные) – 25AF46L6V. Серийный-импортный, характеристики неизвестны.

Эксплуатационные показатели кругов оценивались по следующим критериям (ГОСТ 2424-83):

– режущая способность кругов Q_m, мм^3/мин·мм;

– скорость изнашивания кругов Q_a, мм^3/мин·мм;

– коэффициент шлифования $K_ш = Q_m / Q_a$;

– шероховатость шлифованной поверхности R_a, мкм.

Наличие прижогов, трещин и других дефектов определяли визуально.

Линейный износ круга замерялся микронным индикатором с точностью до 1 мкм в четырех точках по периферии и в 5–6 точках по его высоте. В качестве базовой части использовалась неработающая поверхность, и по известным формулам определялась скорость изнашивания кругов, мин·мм.

Режущая способность кругов определялась с помощью стационарно установленных микронных индикаторов путем замера глубины сошлифованного металла в двух точках по ширине и трех точках по длине образца с точностью до 1 мкм. Результаты замеров усреднялись и пересчитывались в мм^3/мин·мм.

Шероховатость обработанной поверхности замеряли на профилометре модели 283.

Необходимое количество испытаний и измерений определялось известным методом математической статистики по оценке выборочной средней с помощью доверительных интервалов [6]. Расчеты показали, что при относительной ошибке средних значений экспериментальных данных в пределах ±10 % и доверительном уровне 0,95 количество сравнительных испытаний кругов должно быть от 4 до 6.

Результаты испытаний показали, что режущая способность с увеличением глубины шлифования имеет тенденцию к увеличению. При этом наибольшие результаты, аналогичные импортным, получены при шлифовании экспериментальным кругом, изготовленным из смеси зерен разной зернистости 25AF46/F60/F80L6V, они превышают результаты серийного (отечественного) круга по стали ШХ15 примерно в 1,4 раза. В то же время износ Q_a экспериментальных кругов больше, чем серийных (отечественных). При малой глубине обработки коэффициент шлифования $K_ш$ у всех кругов практически одинаковый, а с увеличением глубины обработки этот коэффициент у экспериментальных кругов повышается в 1,18–1,43 раза по сравнению с серийными (отечественными) кругами. Помимо этого, при шлифовании экспериментальным шлифкругом шероховатость обработанных поверхностей снижается на 1–2 разряда класса чистоты, а его стойкость между правками повышается в 1,4–1,8 раза по сравнению

с серийным (отечественным) кругом. А прижоги в отличие от импортного АИ и серийного (отечественного) отсутствуют полностью. Это объясняется тем, что экспериментальный круг имеет измененную структуру черепка. В экспериментальном круге каркас черепка и рабочей поверхности состоит из зерен крупной зернистости, между которыми располагаются зерна средней и мелкой зернистостей. Зерна мелкой зернистости являются, в основном, армирующим элементом связки. Зерна средней зернистости при выходе на рабочую поверхность инструмента в процессе резания вырываются из связки, образуя дополнительные поры между основными крупными зернами. Это устраняет практически полностью «засаливание» рабочей поверхности круга.

В связи с этим экспериментальные круги, изготовленные из смеси зерен разной зернистости работают весь цикл обработки в режиме равномерного самозатачивания и непрерывной регенерации рабочей поверхности, что является одной из основных причин их высоких режущих свойств.

Заключение. Проведенные теоретические и экспериментальными исследования показали правильность, заявленных нами предложений по модификации абразивного инструмента путем применения широкой гаммы размеров абразивных зерен и наполнителей.

Применение предлагаемых шлифкругов позволяет не только решить вопросы импортозамещения, но и повысить производительность шлифования за счет увеличения скорости вращения круга или глубины обработки.

Литература

1. Крюков, С. А. Шлифовальный инструмент из абразивного материала на основе составляющих разной зернистости / С. А. Крюков // Вестник машиностроения. – 2014. – № 10. – С. 49–51.

2. Мурдасов, В. А. Некоторые особенности изготовления крупнозернистых шлифкругов для зачистки металла / В. А. Мурдасов, Ю. П. Григорьев, А. И. Котельников // Абразивы: науч.-техн. реф. сб. – Вып. 6. – М. : НИИМАШ, 1963. – С. 5–8.

3. Крюков, С. А. Использование наполнителей и смесей из абразивов разных зернистостей и формы для совершенствования шлифовальных инструментов / С. А. Крюков, Н. В. Байдакова, А. И. Мироседи. – Москва, 2017.

4. Байдакова, Н. В. Влияние формы и зернистости абразивного зерна на эффективность процесса шлифования / Н. В. Байдакова, С. А. Крюков, А. В. Славин // Тяжелое машиностроение. – 2016. – № 3–4. – С. 35–37.

5. Байдакова, Н. В. О влиянии формы и зернистости абразивного зерна на эффективность шлифования / Н. В. Байдакова, С. А. Крюков // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Сборник статей Международной научно-технической конференции Шлифабразив-2014. – 2014. – С. 106–110.

6. Голубцова, Е. С. Статистические методы исследования конструкционной керамики: монография / Е. С. Голубцова, Б. А. Каледин. – Минск : Технопринт, 2004. – 259 с.

7. Mohan, R. A review of self-sharpening mechanisms of fixed abrasive tools / R. Mohan, R. Deivanathan // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2019. – № 10. – 965–974.

УДК 621.923

Применение новых технологий окончательной обработки бронзовых вкладышей подшипников скольжения для повышения их работоспособности

Куфаев В. Г.
Санкт-Петербургский горный университет Императрицы Екатерины II
199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, 2

Аннотация. Анализ литературы по применению подшипников скольжения показал, что их вкладыши подвержены значительному неравномерному износу. По причине того, что имеющиеся методы окончательной обработки имеют недостатки, существенно проявляющиеся при обработке бронзы, было предложено использование комбинации методов финишной обработки поверхностей бронзовых вкладышей подшипников скольжения.
Ключевые слова: вкладыши подшипников скольжения, неравномерный износ, керамические режущие пластины, метод магнитно-абразивной обработки.

Application of new finishing technologies of bronze inserts for sliding bearings to increase their performance

Kufaev V. G.
St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II

Annotation. An analysis of the literature on the use of sliding bearings showed that their bearings are subject to significant uneven wear. Due to the fact that the available finishing methods have disadvantages that are significantly manifested when processing bronze, it has been proposed to use a combination of methods for finishing the surfaces of bronze journal bearing shells.
Keywords: plain bearing shells, uneven wear, ceramic cutting inserts, magnetic abrasive processing method.

Введение. Подшипники скольжения широко используются в различных областях техники. В частности, сферические подшипники скольжения устанавливаются на карьерных самосвалах серии БЕЛАЗ-7513, где они используются в конструкции задней и передней пневмогидравлических подвесок, соединяя проушину с основанием, устанавливаются на тяге рулевой трапеции, обеспечивая ее соединение с поворотными рычагами, а также обеспечивают установку гидроцилиндров опрокидывающего механизма на раму и платформу [1].

Подшипники скольжения состоят из корпуса и вкладыша, который изготавливается из материалов с низким коэффициентом трения. Чаще всего используются бронзовые и латунные сплавы, а также алюминий или чугун. При этом именно вкладыши подшипников скольжения изнашиваются в этих узлах в наибольшей степени, что приводит к потере работоспособности всего подшипникового узла и провоцирует остановку машины на техническое обслуживание и ремонт [2].

Износ вкладышей подшипников скольжения сопровождается потерей ими эксплуатационных свойств, в частности, это касается центральной части вкладыша, которая, соприкасаясь с вращающимся валом все время работы, изнашивается наиболее значительно. Соответственно, износ вкладышей является неравномерным и часто наблюдается следующая ситуация: вкладыш подшипника достигает критического износа в своей центральной части, однако в целом время замены еще не подошло – деталь могла бы работать безотказно еще несколько циклов [3].

Существующие проблемы при использовании традиционных методов обработки вкладышей подшипников скольжения. Эксплуатационные свойства, такие, как износостойкость, стойкость к задирам и усталостная прочность, закладываются на этапах окончательной обработки деталей и зависят от качества получаемой поверхности: шероховатости, ее направления, а также микротвердости. Для вкладышей подшипников скольжения могут применяться следующие операции финишной обработки: шлифование, хонингование, полирование, тонкое точение алмазными или корундовыми резцами. Однако абразивные методы обработки бронзы не являются достаточно эффективными вследствие быстрого засаливания инструментов элементами отделяющейся стружки. Это приводит к быстрому снижению качества обрабатываемой поверхности, появлению на ней дефектов. Кроме того, шлифование, как высокотемпературный метод обработки, способствует шаржированию обрабатываемой поверхностью частиц инструмента, а также способствует развитию поверхностных трещин [4]. Полирование также не является предпочтительным вариантом обработки вследствие того, что не обеспечивает высокого качества поверхности и не исправляет дефектов, оставшихся от предыдущих операций, хотя и позволяет достичь высокого класса шероховатости за счет сглаживания неровностей [5]. Метод тонкого точения алмазными или корундовыми резцами не является экономически эффективным из-за большой стоимости режущих пластин [6].

Предложение по решению выделенных проблем. Таким образом, необходим поиск методов окончательной обработки, которые не только обеспечат высокое качество обработанной поверхности, но и позволят повысить ее эксплуатационные свойства, в частности, износостойкость. Решением может стать комбинация двух методов: точения с использованием пластин из режущей керамики, в частности, сплавов ВОК-60 или ВОК-63, и метода магнитно-абразивной обработки.

Применение метода точения с использованием керамических режущих пластин позволяет добиться высокой эффективности обработки, снизить затраты на обработку, поскольку пластины из режущей керамики дешевле даже твердосплавных, а также сократить само время обработки, поскольку скорости резания

при данной обработке, как правило, значительные [7, 8]. Кроме того, данный метод точения позволяет получить поверхность повышенной точности с низкой шероховатостью при правильном подборе режимов обработки, а также обеспечении у пластин необходимого радиуса скругления режущей кромки. Правильный подбор данного параметра позволит продлить ресурс работы инструмента, снизить силы резания и остаточные напряжения на обработанной поверхности [9].

Что касается метода магнитно-абразивной обработки, он является в настоящее время весьма перспективным для применения, особенно на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) вследствие своей высокой универсальности [10, 11]. Также это метод бесконтактной обработки, что позволяет избежать высоких температур и нагрузок при его использовании. Эффективность применения данного метода также напрямую зависит от рационального подбора параметров обработки, в частности, вида порошка и его фракции, вида магнитного поля и смазывающе-охлаждающей жидкости. В частности, для обработки вкладышей подшипников рекомендуется использовать нетрадиционный метод магнитно-абразивной обработки, основанный на применении индуктора на постоянных магнитах с нанесенным на него абразивным порошком марки Р6М5, обладающего высокими магнитными свойствами, что особенно важно при обработке слабомагнитной бронзы [12]. Поскольку метод способствует не только снижению шероховатости, но также положительно сказывается на износостойкости, оказывая силовое воздействие, приводящее к микропластическому деформированию и наклепу обработанной поверхности, он может быть использован для упрочнения вкладышей подшипников скольжения и повышения их работоспособности. На базе Санкт-Петербургского Горного университета Императрицы Екатерины II планируется проведение лабораторных исследований по магнитно-абразивной обработке бронзовых заготовок с целью подтверждения высказанных доводов.

Заключение. Входя в состав различных горных машин, подшипники скольжения оказывают важное влияние на эффективность их работы. Тем не менее, их вкладыши подвержены неравномерному износу, что ставит перед исследователями ряд проблем по повышению эффективности технологий окончательной обработки. Применение метода магнитно-абразивной обработки после предварительного точения с использованием резцов из керамических материалов может стать одним из направлений решения данного вопроса, повысив эксплуатационные свойства обрабатываемой детали и, тем самым, увеличив ее работоспособность.

Литература

1. Карьерные самосвалы серии БЕЛАЗ-7513: БЕЛАЗ-7513, БЕЛАЗ-75131, БЕЛАЗ-75135, БЕЛАЗ-75137, БЕЛАЗ-75139, БЕЛАЗ-75131А, БЕЛАЗ-75131В. Руководство по эксплуатации 75131-3902015 РЭ / ОАО «БЕЛАЗ» управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ». – 2015.

2. Киселев, Б. Р. Техническая механика. Привод технологических машин / Б. Р. Киселев. – СПб. : Лань, 2022. – 312 с.

3. Нагоркин, М. Н. Надежность технологического обеспечения шероховатости и износостойкости поверхностей деталей инструментами из синтетических сверхтвердых материалов: дис. …док. техн. наук / М. Н. Нагоркин. – Брянск : ФГБОУ ВО «БГТУ», 2019. – 374 с.

4. Зубарев, Ю. М. Основы резания материалов и режущий инструмент / Ю. М. Зубарев, Р. Н. Битюков. – СПб. : Лань, 2022. – 228 с.

5. Егоров, М. Е. Технология машиностроения / М. Е. Егоров, В. И. Дементьев, В. Л. Дмитриев. – М. : Высшая школа, 1976. – 534 с.

6. Хозяев, И. А. Основы технологий пищевого машиностроения / И. А. Хозяев. – СПб. : Лань, 2022. – 264 с.

7. Халимоненко, А. Д. Точность обработки при точении заготовок режущим инструментом, оснащенным сменными керамическими пластинами / А. Д. Халимоненко, Р. В. Вьюшин // Записки Горного института. – 2014. – Т. 209. – С. 99–103.

8. Максаров, В. В. Влияние параметров магнитно-абразивной обработки на керамический режущий инструмент для технологического обеспечения качества прецизионных изделий из хладостойких сталей / В. В. Максаров, М. А. Попов, В. П. Захарова // Черные металлы. – 2023. – № 1. – С. 67–73.

9. Исследование влияния радиуса скругления режущей кромки на шероховатость поверхности деталей / В. В. Максаров [и др.] // Металлообработка. – 2023. – № 2 (134). – С. 8–18.

10. The use of composite powders in the process of magnetic-abrasive finishing of taps to improve the quality of threads in articles made of corrosion-resistant steels / V. V. Maksarov [и др.] // Черные металлы. – 2022. – № 2. – С. 49–55.

11. Maksarov, V. V. Improving internal threaded surfaces in highly loaded components / V. V. Maksarov, S. A. Vasin, A. I. Keksin // Russian Engineering Research. – 2021. – № 41 (10). – P. 944–947.

12. Хомич, Н. С. Магнитно-абразивная обработка изделий / Н. С. Хомич. – Минск : БНТУ, 2006. – 218 с.

УДК 34:004.8

Инновационные технологии искусственного интеллекта и гражданско-правовые отношения

Лойко А. И., доктор фил. наук, профессор
Белорусский национальный технический университет
220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65

Аннотация. Целью является изучение феномена асимметрии динамики технологий искусственного интеллекта и цифровых институтов права и этики, и обоснование роли самоорганизации пользователя на основе цифрового этикета. Методологическую основу исследования составляют аналитические методы сравнительного анализа и системного анализа. Выявлены причины асимметрии динамики технологий искусственного интеллекта и цифровых институтов права и этики. Они заключаются в неопределенности ситуации, связанной с широким употреблением термина «искусственный интеллект» на фоне признания тезиса о том, что подобный уровень технологий еще не создан. Под искусственным интеллектом понимаются компьютерные программы, которые согласно тесту А. Тьюринга способны адекватно отвечать на поставленные им вопросы. Признается, что эти компьютерные программы относятся к уровню слабого искусственного интеллекта. Но поскольку применение этих программ приобрело широкий спектр в области экономики (маркетинга, менеджмента, логистики, промышленного интернета) в условиях перехода на цифровые платформы безбарьерной среды, то были обнаружены риски цифровизации. Также констатировано отставание цифрового права от технологической динамики. Вследствие этого в условиях переходного периода все большая роль отводится институту самоорганизации пользователей сети.
Ключевые слова: асимметрия, цифровое право, гражданско-правовые отношения, искусственный интеллект, цифровая антропология.

Innovative technologies of artificial intelligence and civil relations

A. I. Loiko,
Belarusian National Technical University

Annotation. To study the phenomenon of asymmetry in the dynamics of artificial intelligence technologies and digital institutions of law and ethics and substantiate the role of user self-organization based on digital etiquette. The methodological basis of the study consists of analytical methods of comparative analysis and system analysis. The reasons for the asymmetry in the dynamics of artificial intelligence technologies and digital institutions of law and ethics have been identified. They lie in the uncertainty of the situation associated with the widespread use of the term “artificial intelligence” against the backdrop of recognition of the thesis that a similar level of technology has not yet been created. Artificial intelligence refers to computer programs that, according to A. Turing’s test, are capable of adequately answering questions posed to

them. It is recognized that these computer programs belong to the level of weak artificial intelligence. But since the use of these programs has acquired a wide range in the field of economics (marketing, management, logistics, industrial Internet) in the context of the transition to digital platforms of a barrier-free environment, the risks of digitalization were discovered. It was also noted that digital law lags behind technological dynamics. As a result, during the transition period, an increasingly important role is given to the institution of self-organization of network users.
Keywords: asymmetry, digital law, civil law relations, artificial intelligence, digital anthropology.

Introduction. Many authors write about the asymmetry in the dynamics of the development of digital technologies and the institution of civil law relations. Asymmetry is emphasized even at the stage of forecasting the development of new technologies. It is understood that new digital technologies with their characteristic components will create a subject field of civil law relations [1]. And this is true, since many questions arise for users due to the desire to have guarantees of order fulfillment through digital technologies [2]. The transformation was accelerated by the pandemic [3].

Results. Applied consequences of the asymmetry of digital technologies and legal regulation of social networking institutions.

First of all, questions arise regarding sites and applications, since they are intermediaries between providers of services and goods and users. We are talking about business aggregators and whether they should bear legal responsibility for the quality of services and goods, as well as for the guarantee of their provision. In some national legislations, arbitration courts take the position that business aggregators do not provide services, but are only intermediaries in providing information about services. Consequently, they are not responsible for the quality of the services and goods provided. Courts of general jurisdiction, on the contrary, tend to recognize the legal responsibility of business aggregators for the quality of services and goods provided through them.

Users of social networks are faced with the phenomenon of electronic agreements. This is a digital transaction. An electronic agreement presupposes conclusive actions. In the case of using an electronic digital signature, the rule on simple written form applies.

Social media is closely tied to transactions. They are carried out in the forms of classical national currencies and are associated with verification procedures through a password and login. This is the most vulnerable point in the transaction, since it is directly related to confidential information [4]. Therefore, passwords and logins are the main goal of social engineering, which uses psychological practices that meet the age characteristics of different generations of people [5]. Vishing and phishing have become widespread [6].

Issues related to the legal regulation of the crypto currency space have also become relevant [7]. In some states, crypto currencies are recognized as virtual property, in other states they are given the status of a means of payment, as well as the status of uncertificated securities [8].

The problem of insecurity of the rights of crypto currency buyers is relevant. It is formed by the practices of freezing and seizing tokens. There is also information

asymmetry between developers and buyers [9]. There is a lack of legal responsibility for platform developers [10]. Smart contracts can play an important role in contractual practice. The question has arisen about considering the online platform through the categorical structures of civil law. The issue of taking into account copyrights using digital technologies has also become relevant, since the functioning of the crypto currency market has not only a functional component, but also a design component that requires copyright protection.

When considering the dynamics of civil and legal relations in the economy of digital platforms, the topic of a philosophical component arose. It is due to the fact that the considered specific aspects of the functioning of electronic transaction market technologies revealed the evolution of the economy of digital platforms to a situation of changing its basic paradigm.

The economy of digital platforms in the space of social networks began based on the paradigm of cyber libertarianism [11]. The Californian creators of this paradigm viewed social networks as the embodiment of the ideals of freedom and democracy. They also emphasized the position of the majority of social network users [12]. It reflected the opportunity for users to escape the control of government agencies. Digital technologies were interpreted as a means of promoting individual and decentralized initiatives.

Connective intelligence is not identical to collective intelligence, since it is a decentralized actor-network structure [13]. But with the growing presence of geopolitical factors in the information war on social networks, connective intelligence began to give way to collective intelligence. It should be understood as psychological technologies for reducing many individual intellects to a certain assessment of the geopolitical situation in the categories of confrontation between Western democracy and states with an authoritarian model of the political regime. This is a situation of crisis in the globalization paradigm, in which there is a return to the concepts of sovereignty, national information space, and national regulator. The topic of ecology sounds new [14]. This trend determines the emphasis in the development of various forms of law.

Geopolitical transformations coincided with deep technological transformations and required turning to the fundamental foundations of certain branches of philosophy. Digital anthropology is in demand [15].

Digital anthropology studies how people interact with digital devices [16]. How they behave in the context of technology and how they use technology to interact [17]. Methods include sentiment analysis, netnography, and empathy research [18].

As a result, the subject of digital anthropology has become new digital technologies, virtual communities created by technology, and the impact of technology on everyday culture – language, communication, social structures and cultural identity. Collectively, they are social digital ecosystems [19].

Conclusions. A steady trend of convergence between artificial intelligence technologies, law and philosophical anthropology has been discovered. This research trend of their interdisciplinary fusion is due to four reasons. The first reason was created by experimental design techno science. It is dominated by the development of neural interfaces to help people suffering from coordination, vision, and hearing impairments. These technologies inevitably create a cyborg – an individual with special cognitive devices (artifacts) complementing his physicality.

The first reason has an emphasis that also applies to physically healthy people. It is due to the fact that cognitive artifacts have become part of the psychological world of modern man. This psychological world has a decentralized basis. Some of the functions of storing data, information, knowledge, skills, and memory are delegated to mobile technical devices, despite the fact that by such actions an individual leaves digital traces and a digital shadow. User digital traces have become the subject of study in digital anthropology, digital visual anthropology, and digital ethnography. The convergence of the human body with cognitive artifacts has created the phenomenon of human body expansion.

The second reason was created by the philosophy of consciousness, in the space of which the strategy of expanding the human brain is implemented through its convergence with artificial intelligence technologies. But there is a barrier here, which is designated as a difficult problem of consciousness. This barrier insures against the risks associated with the technological singularity.

The third reason is created by the peculiarities of the market economy of a mass consumer society. In this context, the use of information technology is closely linked to the most complete knowledge of the behavioral characteristics of a potential buyer. This emphasis has created the phenomenon of behavioral economics and neural marketing [20].

Norms do not have time to be established against the backdrop of technological breakthroughs.

As a result, the topic of cyber security is a pressing one, one of the key areas of which is the improvement of verification technologies in the digital communication space. This applies to transactions, confidentiality, and access to corporate networks. A special role is given to the functions of protecting the national information space in the historical era of global turbulence and the crisis of the globalization paradigm.

Reference

1. Бурьянов, М. С. Глобальные цифровые права человека в контексте рисков цифровизации / М. С. Бурьянов // Век глобализации. – 2020. – Выпуск № 3 (35).

2. Bostrom, N. Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies / N. Bostrom. – Oxford : Oxford Univ. Press, 2020. – 390 p.

3. Щербаков, Р. А. Распространение цифровых технологий в условиях внешних шоков: на примере пандемии COVID-19 / Р. А. Щербаков, С. Г. Приворотская, К. О. Вишневский // Бизнес-информатика. – 2023. – Т. 17, № 1. – С. 37–52.

4. Humerick, M. Taking AI Personally : How the E. U. Must Learn to Balance the Interests of Personal Data Privacy & Artificial Intelligence / M. Humerick // Santa Clara High Technology Law Journal. – 2016. – Vol. 34, No 4. – P. 393–418.

5. Bikeev, I. I. Criminological Risks and Legal Aspects of Artificial Intelligence Implementation / I. I. Bikeev [and other] // In Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence, Information Processing and Cloud Computing (AIIPCC'19). Association for Computing Machinery. – New York, USA. – Article 20. – P. 1–7.

6. Khisamova, Z. I. On Methods to Legal Regulation of Artificial Intelligence in the World / Z. I. Khisamova, I. R. Begishev // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. – 2019. – Vol. 9, No. 1. – P. 515–520.

7. Кибальник, А. Г. Искусственный интеллект: вопросы уголовно-правовой доктрины, ожидающие ответов / А. Г. Кибальник, П. В. Волосюк // Юридическая наука и практика: Вестник Нижегородской академии МВД России. – 2018. – № 4 (44). – С. 173–178.

8. Бегишев, И. Р. Криминологические риски применения искусственного интеллекта / И. Р. Бегишев, З. И. Хисамова // Всероссийский криминологический журнал. – 2018. – Т. 12, № 6. – С. 767–775.

9. Кузьмин, В. Н. Методический подход к выявлению угрозы извлечения конфиденциальных данных из автоматизированных систем управления на базе интернет-технологий / В. Н. Кузьмин, А. Б. Менисов // Бизнес-информатика. – 2021. – Т. 15, № 3. – С. 35–47.

10. Грибков, Е. И. Нейросетевая модель для обработки запросов пользователей на этапе эксплуатации и сопровождения программного продукта / Е. И. Грибков, Ю. П. Ехлаков // Бизнес-информатика. – 2020. – Т. 14, № 1. – С. 7–18.

11. Pace, J. Cyberlibertanism in the mid-1990s / J. Pace // Digital Civil Society Lab, Stanford University, United States of America.

12. Долганова, О. И. Улучшение клиентского опыта взаимодействия с искусственным интеллектом путем соблюдения этических принципов / О. И. Долганова // Бизнес-информатика. 2021. – Т. 15, № 2. – С. 34–46.

13. Славин, Б. Б. Технологии коллективного интеллекта в управлении бизнес-процессами организации / Б. Б. Славин // Бизнес-информатика. – 2022. – Т. 16, № 2. – С. 36–48.

14. Centralized resource allocation based on energy saving and environmental pollution reduction using data envelopment analysis models / S. Madadi [et al] // Business Informatics. – 2022. – Vol. 16, No 1. – P. 83–100.

15. Miller, D. Digital anthropology / D. Miller// The Open Encyclopedia of Anthropology, edited by Felix Stein. Facsimile of the first edition in The Cambridge Encyclopedia of Anthropology. – 2018.

16. Гафарова, Ю. Ю. Цифровая антропология: установки и принципы / Ю. Ю. Гафарова // Человек в социокультурном измерении. – 2022 – № 2 – С. 10–14.

17. Захаров, М. Ю. Цифровая культура – исторический этап развития информационной культуры общества / М. Ю. Захаров, И. Е. Старовойтова, А. В. Шишкова // Вестник университета. – 2020. – № 5. – С. 200–205.

18. Колозариди, П. Канон интернет – исследований: сообщество без дисциплины / П. Колозариди, П. Юлдашев // Философия. Журнал высшей школы экономики. – 2022. – Т. 6, № 2. – С. 81–113.

19. Косенков, А. Ю. Цифровая реальность и онтологический статус цифровых технологий / А. Ю. Косенков // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя гуманітарных навук. – 2021. – Т. 66, № 1. – С. 7–15.

20. Loiko, A. I. Technology of digital ecosystems / A. I. Loiko // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Философия». – 2022. – Т. 4, № 1. – С. 49–56.

УДК 621.9.025.19

Разработка элементов технологической системы для повышения эффективности обработки профиля колесных пар железнодорожных составов

Мирзомахмудов А. Р.; Исаев А. В., канд. техн. наук, доцент
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
127994, Россия, г. Москва, ГСП-4, Вадковский пер., 1

Аннотация. В статье представлена разработанная конструкция дисковой фрезы со сменными многогранными пластинами, позволяющая улучшить процесс обработки профиля колесных пар железнодорожных составов. По сравнению с традиционными методами обработки профилей колесных пар с использованием токарных резцов и сборных фасонных фрез, предлагаемая методика обработки на основе дисковых фрез со сменными многогранными пластинами обладает рядом преимуществ, связанных с повышением производительности, качества, надежности обработки и удобства эксплуатации.
Ключевые слова: дисковая фреза, сборный режущий инструмент, ремонт железнодорожных колесных пар, фрезерование, восстановление колесных пар.

Development of components of a technological system to enhance the efficiency of processing the profile of railroad wheelsets

Mirzomakhmudov A. R., Isaev A. V.
Moscow State University of Technology “STANKIN”

Annotation. The paper presents the developed design of a disc milling cutter equipped with indexable cutting inserts, which allows to improve the process of machining the profile of wheel pairs of railway trains. Compared to the traditional methods of machining wheelset profiles using lathe cutters and indexable formed milling cutters, the proposed method of machining based on use of indexable disc milling cutters has a number of advantages associated with increased productivity, quality, reliability of machining and ease of operation.
Keywords: disc milling cutter, indexable milling cutter, railway wheelset repair, milling, wheelset restoration.

Введение. В железнодорожной отрасли решаются специфические технологические задачи, например, обработка колесных пар, рельсов, остряков стрелочных переводов и т. п. Для изготовления таких деталей требуется специализированное оборудование, инструмент и технологии, вопросы проектирования и изготовления которых представляют собой комплекс сложных научно-технических задач. Исследования в области взаимосвязи конструктивных параметров дисковых фрез со сменными многогранными пластинами (СМП) и показателей эффективности обработки колесных пар, а также технологических и эксплуатационных параметров оборудования для обработки колесных пар, являются актуаль-

ной задачей для современной железнодорожной отрасли. Эти исследования имеют потенциал значительного повышения эффективности производства и снижения затрат. Целью представленной работы является оптимизация процесса обработки профилей колесных пар железнодорожных составов с использова-нием дисковых фрез с СМП, при минимизации недостатков, характерных для традиционных методов обработки, путем внедрения новой методологии обработки на основе дисковых фрез с СМП.

Основная часть. Колесные пары железнодорожных составов представляют собой узлы, состоящие из двух колес, установленных на общей оси. Эти колесные пары являются ключевыми компонентами железнодорожных подвижных составов, таких, как поезда и вагоны. Каждая колесная пара соединена с подвижным составом через подшипники и другие механизмы. На рис. 1 представлен профиль колесной пары грузовых и пассажирских вагонов [1].

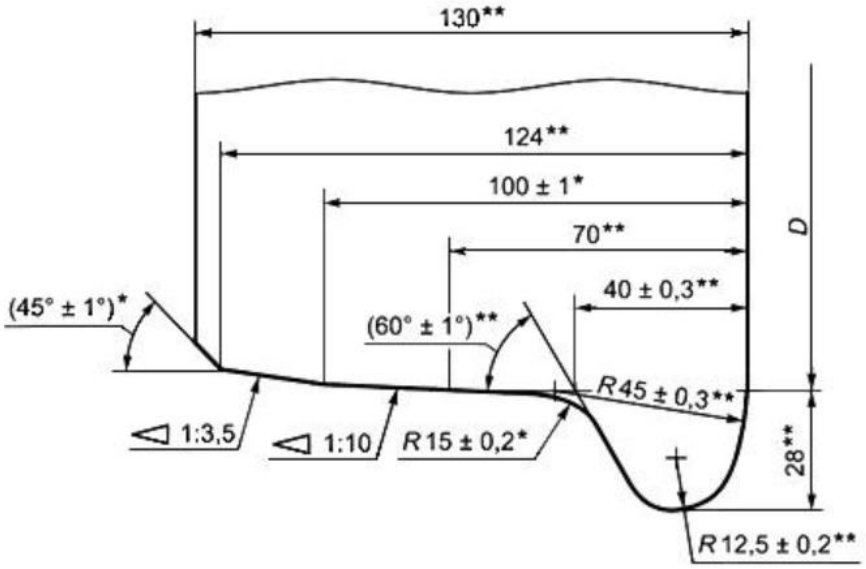


Рис. 1. Профиль колесной пары грузовых и пассажирских вагонов

Основные функции колесных пар в железнодорожном транспорте следующие:

1. Обеспечивают контакт между поездом и рельсами, что позволяет подвижному составу двигаться вдоль железнодорожного пути.

2. Вес подвижного состава передается на рельсы через колесные пары, обеспечивая равномерное распределение нагрузки и стабильность движения.

3. Обеспечивают амортизацию ударов и вибраций, создаваемых неровностями на рельсах, что способствует комфортному движению и предотвращает повреждения оборудования.

4. Электрические или механические узлы, привязанные к колесам, могут использоваться для передачи тягового усилия и движения поезда.

5. Многие поезда используют системы торможения, связанные с колесными парами, чтобы обеспечивать безопасное замедление и остановку.

6. Колесные пары подвергаются износу в процессе эксплуатации, и их техническое обслуживание включает в себя замену изношенных колес и другие ремонтные мероприятия для обеспечения надежной работы железнодорожного транспорта.

Бандажи колесных пар изготавливают из стали марок:

1. Ст2 – для пассажирских, грузовых и маневровых поездов.
2. Ст4 – для грузовых и маневровых локомотивов.

Шероховатость поверхности бандажей колесных пар допускается до Rz = 40 мкм (Ra = 10 мкм) [2]. Бандажи подвергают термической обработке: закалке и отпуску.

Химический состав стали представлен в табл. 1.

Физико-механические свойства бандажей представлены в табл. 2.

Таблица 1. Химический состав бандажей колесных пар

Марка стали	Массовая доля элементов, %						
	C	Mn	Si	Cr	V	P	S
					Не более		
Ст2	0,57–0,65	0,6–0,9	0,22–0,45	Не более 0,2	0,15	0,03	0,02
Ст4	0,65–0,75			0,2–0,6			

Таблица 2. Физико-механические свойства бандажей колесных пар

Марка стали	Временное сопротивление разрыву, Н/мм^2	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Твердость, НВ		Ударная вязкость KCU, Дж/см^2	
		Не менее		На глубине 20 мм	На гребне, не менее	При +20 ºС	При –60 ºС
						Не менее	
Ст2	930–1110	10	14	Не менее 269	321	25	15
Ст4	Не менее 1050	9	12	320–360	380	20	

На рис. 2 представлены примеры износа бандажей колесных пар при различных условиях эксплуатации в железнодорожной отрасли.

а *б*

Рис. 2. Примеры износа бандажей колесных пар:
а – ползун; *б* – остроконечный накат; *в* – выщербина; *г* – навар

в *г*

Рис. 2. (окончание)

В табл. 3 приведены виды и величина износа бандажей колесных пар.

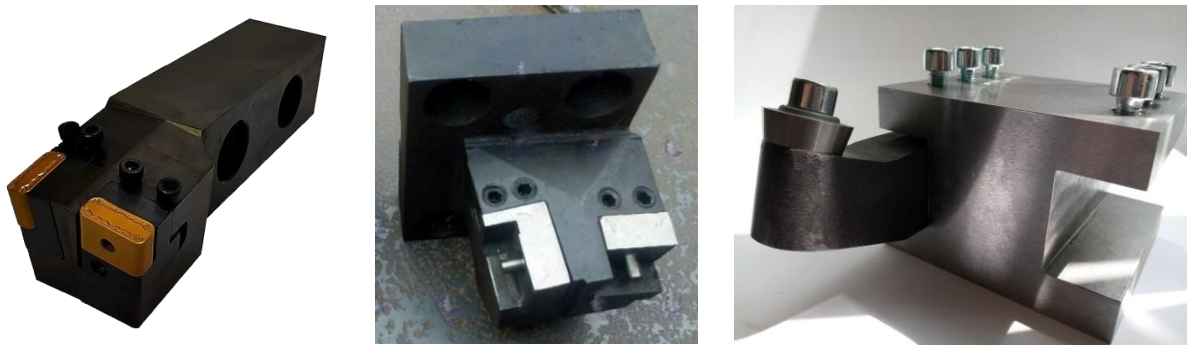
В современной железнодорожной отрасли широко применяются такие традиционные методы обработки бандажей колесных пар, как резцы с СМП [3–5] и сборные фасонные фрезы с СМП [6–7]. Эти методы обработки обеспечивают определенные преимущества и широко применяются в различных этапах обслуживания и ремонта колесных пар.

На рис. 3 представлены различные конструкции резцов с СМП для обработки бандажей колесных пар.

На рис. 4 представлены различные конструкции сборных фасонных фрез с СМП для обработки бандажей колесных пар.

Таблица 3. Виды и величина износа бандажей колесных пар

Вид износа	Вагоны дальнего следования		Мотор-вагонный подвижной состав		Грузовой и рефрижераторный ПС	
	до 120 км/ч	120…140 км/ч	до 120 км/ч	120…140 км/ч	до 120 км/ч	120…140 км/ч
Прокат, мм	7	5	8	–	9	–
Толщина проката, мм	33–25	33–28	33–25	33–28	33–25	
Толщина обода, мм	90–25	90–35	90–25	90–35	90–22	
Выщербина, мм	глубиной 10 или длиной более 50		глубиной 10 или длиной более 25			
Кольцевые выработки, мм	глубиной 1 или длиной более 15				глубиной 2 или длиной более 15	
Навар, мм	1–2					
Ползун, мм	1–12 при ползуне более 12 max скорость передвижения поездов составляет 10 км/ч					
Остроконечный накат гребня	Недопустим					



а *б* *в*

Рис. 3. Различные конструкции резцов с СМП для обработки бандажей колесных пар: *а* – резец с тангенциальным креплением СМП; *б* – резцовая головка с тангенциальным креплением СМП; *в* – резец с радиальным креплением СМП

а *б*

Рис. 4. Конструкции сборных фасонных фрез с СМП фирм: *а* – ООО «Славерс», Россия; *б* – «CORUN», Сербия

Рассмотрим некоторые из характеристик резцов с СМП и сборных фасонных фрез с СМП.

Резцы с СМП.

Преимущества:

1. Высокая точность обработки, что важно для колесных пар, где правильная геометрия играет решающую роль.

2. Универсальность под конкретные требования обработки различных типов профилей колесных пар. Не требуется смена режущего инструмента и переналадка оборудования за счет использования станка с ЧПУ.

3. Стоимость резцов с СМП по сравнению со сборными фасонными фрезами с СМП.

4. Несложная замена изношенных СМП.

Недостатки:

1. Длинные сливные стружки в зоне резания. Оператору станка потребуются дополнительные помощники, которые следят за процессом обработки и снимают сливные стружки из зоны резания специальным инструментом «крючком».

2. Резцы быстро изнашиваются от повышенного и непрерывного трения и нагрузок, особенно при обработке закаленных участков гребня колесной пары. Это приводит к регулярной замене режущих элементов, что увеличивает время простоя железнодорожных составов.

3. Низкая производительность по сравнению с другими методами обработки колесных пар, особенно при работе с большими объемами снимаемого материала.

4. Высокие расходы на быстроизнашиваемые СМП.

Сборные фасонные фрезы с СМП.

Преимущества:

1. Подходят для обработки сложных форм профилей колесных пар [8].

2. Позволяют достичь высокой точности обработки [9].

3. Долговечность за счет прерывистой обработки и конструктивных особенностей режущего инструмента [10].

4. Высокая производительность даже при работе с большими объемами снимаемого материала [11].

Недостатки:

1. Более сложная конструкция по сравнению с конструкциями резцов с СМП.

2. Сложная настройка вне станка, где требуется опытный персонал и дополнительное оборудование, т. к. масса фасонной фрезы в сборе превышает 85 кг.

3. Ограничение при обработке различных типов профилей колесных пар. Требуется переналадка вне станка для смены ножей с одними профилями на другие профили колесных пар.

4. Высокая стоимость сборных фрез.

Как видим, оба метода обработки имеют свои преимущества и ограничения. Выбор между ними зависит от конкретных требований обработки, условий эксплуатации и технологических предпочтений.

Предлагаемое решение не имеет перечисленных недостатков и обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными решениями:

1. Долговечность за счет прерывистой обработки и конструктивных особенностей режущего инструмента.

2. Высокая производительность за счет долговечности и меньшей времени на переналадку дисковых фрез с СМП.

3. Легче монтаж, установка и наладка.

4. Универсальность, определяемая возможностью применения под конкретные требования обработки различных типов профилей колесных пар. За счет использования станка с ЧПУ не требуется смена режущего инструмента и переналадка оборудования.

5. Более простая конструкция и более низкая стоимость дисковых фрез с СМП по сравнению со сборной фасонной фрезой.

6. Масса дисковой фрезы с СМП составляет приблизительно 15–20 кг, что существенно меньше массы сборной фасонной фрезы.

7. Соответственно, меньше нагрузка на шпиндель и опоры станка.

Таким образом, по совокупности характеристик предлагаемое решение обладает существенными преимуществами перед известными аналогами. На рис. 5 представлена разработанная дисковая фреза с СМП для обработки бандажей колесных пар.

Был получен патент на конструкцию дисковой фрезы с СМП [12]. В основу заявленной конструкции дисковой фрезы с СМП был положен технический результат – расширение эксплуатационных возможностей и повышение производительности за счет отсутствия необходимости смены режущего инструмента для обработки одной фрезой различных деталей фасонной формы, например, для обработки различных профилей колесных пар.

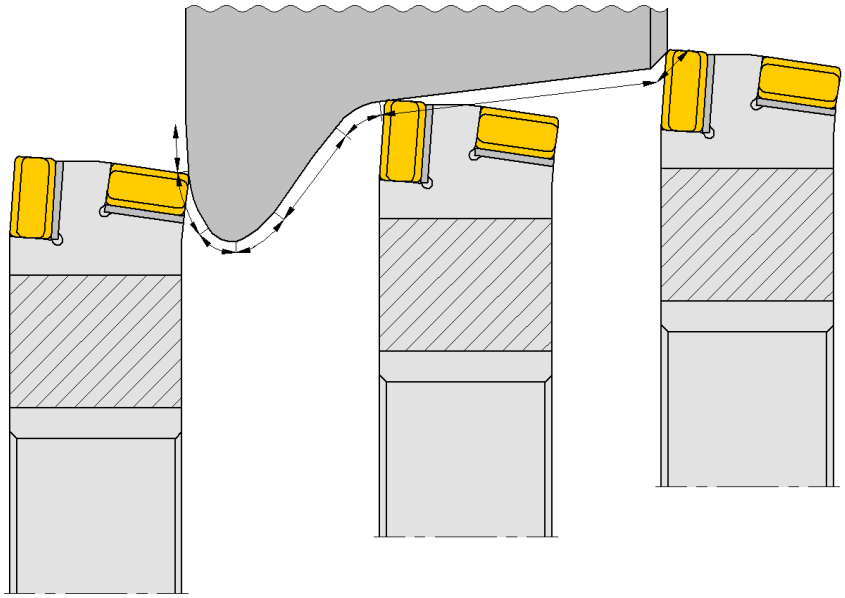


Рис. 5. Разработанная дисковая фреза с СМП

Материал корпуса дисковой фрезы с СМП 40Х или аналог.

Материал СМП Т14К8 или аналог.

Габариты корпуса:

– наружный диаметр 160–300 мм;

– посадочное отверстие 32–45 мм.

Масса корпуса: не более 25–30 кг.

Требования по хранению, транспортировке и упаковке согласно ГОСТ 18088 [13].

Маркировка: на торце каждого корпуса фрезы должны быть четко нанесены:

– товарный знак предприятия-изготовителя;

– диаметр фрезы;

– ширина;

– марка стали корпуса.

Для повышения эффективности применения разрабатываемой конструкции дисковой фрезы с СМП планируется модернизация конструкции станка «TRIONFATORE» или аналога. По проведенным расчетам режимов резания установлены следующие параметры станка:

– частота вращения шпинделей фрез (бесступенчатое регулирование) 150–500 мин$^{-1}$;

– крутящий момент 400 Н·м;

– мощность электродвигателей приводов главного движения 1 кВт.

Заключение. В результате проведенных раннее исследований и разработок, можно сделать вывод о существенных преимуществах использования дисковых фрез с СМП для обработки профилей колесных пар железнодорожных составов. Применение дисковых фрез с СМП представляет собой современное и эффективное решение для обработки колесных пар, обеспечивая оптимальное сочетание производительности, надежности и экономии ресурсов.

Литература

1. ГОСТ 10791-2011. Колеса цельнокатаные. Технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 2011. – 27 с.
2. Мирзомахмудов, А. Р. Анализ шероховатости поверхности катания колесных пар железнодорожных составов после обработки сборными фасонными фрезами / А. Р. Мирзомахмудов, А. В. Исаев // Автоматизация и управление в машиностроении. – 2018. – № 4 (33). – С. 3–8.
3. Резцедержатель двухкассетный (левый, правый) для колесотокарных станков UBB-112/2 и других модернизаций [Электронный ресурс] / ООО «КТС РЕСУРС». – Режим доступа: https://ktsresurs.ru/product/1050/.
4. Резцедержавка (державка накладная, резцедержка, резцедержатель) фланцевая однокассетная и двухкассетная для колесотокарных станков КЗТС КЖ-1836А.Б.М.10 и РАФАМЕТ UBB112/2. [Электронный ресурс] / ООО «СЛАВЕРС». – Режим доступа: https://slavers.ru/katalog/komplek tuyushhie/rez-czederzhka-1836.html.
5. Державка и резцедержатель колесотокарных станков 1АК200 ZIP и TURBO [Электронный ресурс] / RUSSO-BALT KG. – Режим доступа: https://1ak200.ru.
6. Фреза КЖ-20. Юстированные ножи. Производство. Ремонт [Электронный ресурс]: официальный сайт / ООО «СЛАВЕРС». – Режим доступа: https://slavers.ru/katalog/komplektuyushhie/frezy-na-kzh20.html/.
7. Специальные инструменты [Электронный ресурс] / CORUN – Электрон. дан. – Режим доступа: https://corun.rs/специальные-инструменты/?lang=ru.
8. Мирзомахмудов, А. Р. Компьютерное моделирование сборных фасонных фрез со сменными многогранными пластинами для обработки бандажей колесных пар / А. Р. Мирзомахмудов, А. В. Исаев / Машиностроение: традиции и инновации (МТИ-2020) : сборник докладов XIII всероссийской конференции с международным участием. – М.: ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2020. – С. 265–273.
9. Мирзомахмудов, А. Р. Повышение эффективности обработки колесных пар сборными фасонными фрезами за счет обеспечения равномерности фрезерования / А. Р. Мирзомахмудов, А. В. Исаев // Вестник МГТУ «СТАНКИН». – 2023. – № 3 (66). – С. 79–85.
10. Мирзомахмудов, А. Р. Геометрическая модель сборной фасонной фрезы со сменными режущими пластинами для обработки колесных пар / А. Р. Мирзомахмудов, А. В. Исаев // Вестник МГТУ «СТАНКИН». – 2022. – № 4 (63). – С. 70–74.
11. Мирзомахмудов, А. Р. Сборные фасонные фрезы для обработки деталей железнодорожной отрасли / А. Р. Мирзомахмудов, А. В. Исаев // Вестник МГТУ «СТАНКИН». – 2021. – № 2 (57). – С. 48–54.
12. Пат. 217298 Российская Федерация, МПК B 23 C 5/08. Дисковая фреза / П. М. Пивкин [и др.]. – № 2022132628; заявл. 13.12.2022.
13. ГОСТ 18088-83. Инструмент металлорежущий, алмазный, дереворежущий, слесарно-монтажный и вспомогательный. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 9 с.

УДК 001.891

К вопросу выбора приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности технических вузов

Мухиддинов З. Н.
Ташкентский университет имени Ислама Каримова
100128, Узбекистан, г. Ташкент, Университетская улица, 2

Аннотация. Данное исследование посвящено анализу стратегического выбора приоритетных направлений в научной, научно-технической и инновационной деятельности технических вузов. Основной целью работы является выявление ключевых областей развития, способствующих эффективному прогрессу и укреплению позиций высших технических учебных заведений. Исследование ориентировано на выработку стратегий, способных оптимизировать использование ресурсов и стимулировать инновационные решения в контексте науки и технологий. Это позволяет не только выявить важные приоритеты, но и разработать конкретные пути их реализации. Важно учесть, что оптимизация ресурсов и стимулирование инноваций в области науки и технологий могут взаимодействовать и поддерживать друг друга. Исследование может включать в себя анализ эффективности текущего использования ресурсов в технических вузах, выявление узких мест и возможностей для оптимизации. Кроме того, важно рассмотреть опыт успешных инновационных проектов и выявить факторы их успеха. Можно также провести сравнительный анализ с опытом других стран или вузов, где эффективное использование ресурсов и стимулирование инноваций привели к заметным результатам. Это может дать ценные уроки и вдохновение для разработки стратегий, подходящих для конкретного контекста исследования. Результаты работы предоставят ценные рекомендации для принятия обоснованных решений в развитии технического образования, обеспечивая устойчивое и перспективное будущее.
Ключевые слова: высшее техническое образование, научно-технические инновации, университет 3.0, инновационная деятельность технических вузов, конкурентоспособность в образовании, системный анализ в науке и технологиях, индустриальное партнерство в науке и образовании.

On the issue of choosing priority areas of scientific, scientific-technical and innovative activities of technical universities

Mukhiddinov Z. N.
Tashkent University named after Islam Karimov

Annotation. This study is devoted to the analysis of the strategic choice of priority areas in the scientific, scientific, technical and innovative activities of technical universities. The main goal of the work is to identify key areas of development that contribute to effective progress and strengthening the position of higher technical educational institutions. The research is focused on developing strategies that can optimize the use of resources and stimulate innovative solutions in the context of science and technology.

This allows not only to identify important priorities, but also to develop specific ways to implement them. It is important to consider that optimizing resources and stimulating innovation in science and technology can interact and support each other. The study may include an analysis of the effectiveness of the current use of resources in technical universities, identifying bottlenecks and opportunities for optimization. In addition, it is important to consider the experience of successful innovation projects and identify the factors of their success. Comparative analysis can also be carried out with the experience of other countries or universities where the efficient use of resources and stimulation of innovation have led to significant results. This can provide valuable lessons and inspiration for developing strategies appropriate to the specific research context. The results of the work will provide valuable recommendations for making informed decisions in the development of technical education, ensuring a sustainable and promising future.
Keywords: higher technical education, scientific and technical innovations, university 3.0, innovative activities of technical universities, competitiveness in education, system analysis in science and technology, industrial partnership in science and education.

Введение. В наше время стремительных перемен и технологических прорывов актуальность определения ключевых областей научных исследований становится более чем очевидной. Данное исследование направлено на выявление стратегических направлений развития, способствующих повышению конкурентоспособности технических вузов и обеспечению устойчивого прогресса в области науки и инноваций. В представленном исследовании мы обращаем внимание на вопрос, который становится все более важным в контексте выбора приоритетных направлений в научной, научно-технической и инновационной сферах деятельности технических вузов. В нашу эпоху стремительных перемен и технологических прорывов актуальность определения ключевых областей научных исследований становится явной и насущной задачей. Настоящее исследование нацелено на выявление стратегических направлений развития, которые не только способствуют повышению конкурентоспособности технических вузов, но и обеспечивают устойчивый прогресс в области науки и инноваций.

Для достижения целей исследования по выбору приоритетных направлений в научной, научно-технической и инновационной деятельности технических вузов, был выбран системный и многоплановый метод анализа. Начальным этапом работы стал обзор литературы и анализ существующих стратегий в высшем техническом образовании, и далее последовали выводы.

Основная часть. Современное мировое развитие характеризуется резким ростом влияния науки и технологий, обусловленным интенсификацией процессов создания и распространения знаний и активизацией инновационной деятельности.

В этих условиях результативность государственной политики в значительной степени зависит от того, насколько правильно выбраны национальные ориентиры научно-технологического и инновационного развития, в какой мере эффективны методы их определения и какие инструменты используются для их реализации.

В большинстве развитых стран работы по выбору приоритетов научного и технологического развития лежат в основе формирования научно-технической

политики. Основное внимание при этом фокусируется на решении стратегических задач социально-экономического развития и концентрации усилий на реализации инновационных технологий, обеспечивающих достижение конкурентных преимуществ.

Методологическая основа для проведения подобных работ в значительной степени была сформирована в США, Японии и странах Евросоюза. В последнее время в США регулярно разрабатываются стратегические документы, определяющие приоритеты научно-технического и инновационного развития на национальном и отраслевом уровнях. Во Франции к настоящему моменту реализованы четыре проекта по выбору ключевых технологий (проекты «Сто ключевых технологий»).

Несмотря на множественность интерпретаций научной, научно-технической и инновационной деятельности технических вузов, одним из наиболее признанных является подход, определяющий траекторию изменения современных университетов в направлении модели «Университет 3.0». В основе этого подхода лежит концепция реализации одновременно трех миссий: образовательной, научно-исследовательской и инновационной, направленной на коммерциализацию знаний. Данная концепция была положена в основу методологии исследования. В качестве гипотезы было выдвинуто предположение о том, что, помимо активного перехода многих вузов к модели «Университет 3.0», в современных условиях происходит формирование новой перспективной и ориентированной на будущее модели «Университет 4.0». Его миссия определяется уже не только как образование, наука и инновации, но и еще и как интеграция различных структур социума для решения проблем устойчивого развития общества.

Обобщение практики развития технических университетов на постсоветском пространстве и в дальнем зарубежье, как было уже отмечено, позволяет сделать вывод о практической реализации различных институциональных моделей современного технического университета: «Университет 1.0, 2.0, 3.0, 4.0», в том числе и о теоретической разработке модели «Университет 5.0».

При этом под моделью современного технического университета понимается идеальная и обобщенно представляемая многокомпонентная и разноуровневая структура учреждения высшего образования, осуществляющего в системе образования и обществе свою исторически обусловленную роль и нормативно определяемые функции.

В положениях аналитических отчетов и правительственных документов о реализации Стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Узбекистан на период до 2030 года в рекомендательной части в качестве актуального направления развития высшего образования отмечена целесообразность совершенствования деятельности университетов на основе модели развитии «Университет 3.0» и перехода к сетевой системе учреждений высшего образования через кластеризацию (формирование образовательных комплексов – кластеров, объединяющих учреждения различных уровней образования) [1].

Во многих странах внутреннее обеспечение качества высшего образования было разработано под давлением со стороны внешних структур обеспечения качества образования, что чаще всего соответствовало моделям «Университет 1.0» и «Университет 2.0».

Модель «Университет 3.0» отвечает запросам постиндустриального этапа общественного развития, ориентированного на инновации и потребности индустрии знаний, разработку и применение инновационных технологий и технических решений в новом наукоемком производстве (переход к цифровой индустрии, миниатюризация в электронике, автоматизация производства, создание высокопроизводительных компьютеров, микрочипов и автоматизированных систем, производство материалов с заданными свойствами и т. д.), а также рост сектора услуг и потребления. Процессы развития социума актуализируют повышение роли университетов в развитии человеческого капитала, в формировании и развитии у специалиста таких универсальных компетенций, которые позволяют эффективно осуществлять профессиональную деятельность в различных сферах [2].

В рамках описываемой модели университет представляет собой учреждение высшего образования предпринимательского типа – предпринимательского по результатам создания инновационных компаний и предпринимательского по характеру взаимодействий команды менеджеров-управленцев – руководства университета и представителей бизнеса. На данном этапе развития своей институциональной эволюции университет стремится к привлечению дополнительного инвестирования, интенсивно использует в педагогическом процессе инновационные технологии и тесно взаимодействует с бизнесом, заинтересованным в практико-ориентированных разработках университетских ученых. В реализуемой институциональной модели «Университета 3.0» создаются благоприятные условия для формирования высокотехнологических стартап и спин-офф компаний с участием студентов и преподавателей. Наряду с уже традиционными для своей деятельности культуротранслирующей, образовательной и исследовательской функциями, учреждение высшего образования выполняет функцию трансфера передовых технологий, которые коммерциализирует. Университет становится мощным научно-исследовательским центром, который в условиях кластеризации производит для нужд рынка те инновационные технологии и продукцию, которые затребованы потребителем. В материальном оснащении университет 3.0 включает в свою структуру, наряду с учебными аудиториями, лабораториями и библиотеками, бизнес-инкубаторы и технопарки, конструкторские бюро, проектные офисы и выставочные центры. Существование подобных компонентов обусловлено функционально.

Привлекая инвестиции, университет во все большей степени стремится быть независимым от государства в финансовом плане. При этом интегрирующая функция университетской институциональной организации модели 3.0 заключается не только в активной роли в процессах, связанных с коммерциализацией технологий и технических решений, но и в развитии бизнес-структур через их объединение и укрупнение, а также формирование новых рынков. Классическим примером реализации модели такого университета является Стэнфордский университет и сформированная при его участии «силиконовая долина».

Модернизация системы высшего образования (визуальный модерн – обновленный, современный, быстроразвивающийся) требует относительно инновационного подхода к образованию:

– необходимости развития профессионально-инновационной компетентности педагога в отношении разработки и внедрения педагогических инноваций;

– коммерциализации исследовательской деятельности и инновационного подхода к образованию.

Эти нововведения и трансформации требуют постоянного изучения, анализа и обобщения передового педагогического опыта внедрения коммерциализации и инноваций в высшее образование таких стран, как Китай, Япония, Корея, Великобритания и др.

В целях обеспечения реализации задач, связанных с коммерциализацией и созданием бизнес-инкубатора научных проектов на базе Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова создан «Образовательный и научно-производственный кластер» на основе государственно-частного партнерства. Были проанализированы и углубленно изучены первые 30 научно-инновационных проектов молодых ученых с высоким уровнем готовности к коммерциализации. Из них 12 стартап-проектов были отобраны в качестве первых пилотных проектов для коммерциализации на базе вновь созданного кластера. Средства, необходимые для реализации отобранных стартап-проектов, составляют 6,65 млрд. сум, в результате их коммерциализации будет создано в общей сложности 320 рабочих мест и рассчитана чистая прибыль, получаемая при полном запуске проектов, которая составляет в размере 82,4 млрд. сум [3].

Заключение. Из проведенного анализа следует, что ключевыми областями развития, способствующими эффективному прогрессу и укреплению позиций высших технических учебных заведений, являются:

– создание условий для интеграции науки, технологий, производства, бизнеса, государства;

– кооперация для создания высокотехнологичной и конкурентоспособной продукции, услуг, процессов;

– развитие мирового рынка инноваций и налаживание международных контактов для развития собственного инновационного потенциала;

– объединение перспективных талантливых специалистов из разных областей деятельности, из разных регионов и стран для объединения усилия при решении поставленных задач, для обмена опытом и знаниями.

Литература

1. Обеспечение качества образования в условиях модели «Университет 3.0» / Ш. К. Нематов [и др.] // Наука и инновационное развитие. – 2022. – № 6. – С. 68–79.

2. Касперович, С. А. О совершенствовании деятельности учреждений высшего образования на основе модели «Университет 3.0» / С. А. Касперович // Вышэйшая школа. – 2018. – № 2. – С. 5–7.

3. Система обеспечения качества образования в условиях модели «Университет 3.0» / Ш. К. Нематов [и др.]. – Ташкент : Ташкентский университет имени Ислама Каримова, 2023.

УДК 330.34; 336.01; 336.76

Инженерия: интеллектуализация труда и когнитивная деятельность

Николаевский В. В., канд. экон. наук, доцент;
Шамардина И. А., канд. экон. наук, доцент
Белорусский национальный технический университет,
220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65

Аннотация. В статье обосновывается понятие инженерии как способности человека к инновационной деятельности и определяется его когнитивными способностями. Развиваясь как уникальные способности отдельных личностей, в настоящее время инженерия становится объективной необходимостью каждого специалиста. Это объясняется действием закона экспансии разума и его следствия как закономерности эволюции общественного развития. Эта закономерность заключается в поэтапном вытеснении живого труда и замещении его интеллектуальной деятельностью. Связанная с этим объективная потребность в развитии когнитивных способностей человека ставит перед системой образования задачи не формального отношения к обучению, а создания современной национальной информационно-коммуникационной системы образования и обучения на протяжении всей жизни – образовательной экосистемы. Предложенная архитектура такой системы образования может быть интегрирована в образовательные системы более высокого уровня, создавая интегрированную глобальную систему подготовки специалистов, обеспечивающих развитие когнитивных способностей и формирующих инженерный подход к решению актуальных задач в различных сферах человеческой деятельности, и обеспечивая устойчивое экономическое развитие предприятия, региона, государства.
Ключевые слова: инженер, замещение живого труда, образование, когнитивные способности, система образования, обучение на протяжении жизни, информационное пространство, технологическое пространство, пространство когнитивной деятельности.

Engineering: Labor intellectualization and cognitive activity

Nikolaevsky V. V., Shamardzina I. A.
Belarusian National University of Technology

Annotation. The article substantiates the concept of engineering as a person's ability to innovate and is determined by his cognitive abilities. Developing as unique abilities of individuals, engineering is now becoming an objective necessity for every specialist. This is explained by the action of the law of expansion of reason and its consequences as a pattern of evolution of social development. This pattern consists in the gradual displacement of living labor and its replacement by intellectual activity. The related objective need for the development of a person's cognitive abilities poses the task of the education system not of a formal attitude to learning, but of creating a modern national information and communication system of education and lifelong learn-

ing. The proposed architecture of such an education system can be integrated into higher-level educational systems, creating an integrated global system of training specialists who ensure the development of cognitive abilities and form an engineering approach to solving urgent problems in various spheres of human activity and ensuring sustainable economic development of an enterprise, region, state.
Keywords: engineer, substitution of living labor, education, cognitive abilities, education system, lifelong learning, information space, technological space, cognitive activity space.

Введение. Рассматривая разнообразные подходы к определению понятия инженерии, можно с уверенностью говорить о том, что в самом общем виде это свойство разума ставить и решать задачи по преобразованию окружающей среды [1]. Такой вывод следует из работ Л. Моргана [2] и Ф. Энгельса [3], рассмотревших в ретроспективе развитие цивилизации и ставящих когнитивную деятельность во главе этого процесса.

Ретроспектива и современность инженерии. Инженерия, как способность и потребность к творчеству зародилась на заре формирования человеческой цивилизации. Можно предположить, что первые инженеры как представители профессионального сообщества формировались как в среде ученых, создававших оборудование для своих исследований, так и среди ремесленников, создававших устройства для облегчения своего труда. В конечном итоге, вся эта естествоиспытательная деятельность была направлена на формирование нового знания, в широком его смысле, и разработку технологий получения, развития и управления им. А это были уникальные люди, такие, как, например, Леонардо да Винчи или Никола Тесла, Пифагор и Парацельс, М. В. Ломоносов, И. П. Кулибин, И. В. Курчатов, а также многие другие, обладающие набором уникальных талантов и способностей, результаты труда которых поражают сознание ученых и практиков и которыми мы пользуемся до настоящего времени [4; 5]. Они должны были сочетать в себе одновременно качества художника и архитектора, специалиста по вопросам артиллерии и фортификации, математика и естествоиспытателя, врача и алхимика. По мере общественного развития сформировалась профессия инженера и определилась его миссия в общественном развитии – создание на основе использования природных ресурсов, естественнонаучных знаний и практического опыта искусственных материальных объектов (зданий, сооружений, машин, механизмов и др.) и технологий использования этих объектов, ориентированных на формирование комфортной среды жизнедеятельности людей.

Из отдельных одаренных людей, обладающих уникальными способностями, под воздействием объективных потребностей общественного развития сформировался слой профессиональных работников – инженеров. Заметим, что становление инженерной профессии – это комплексный и системный процесс взаимодействия способов общественного производства, техники и технологий, с одной стороны, и одаренных людей с их когнитивными способностями, с другой стороны. Становление профессии инженера – это динамический процесс, затрагивающий и изменяющий все аспекты общественного развития: технику, технологии и способ производства; общественно-экономические отношения и политические институты; общественное сознание и психологию; науку и образова-

ние. При этом когнитивные способности инженеров и способ производства, характеризующийся использованием на практике достижениями инженерной мысли, следует считать комплементарными активами [6]. Данные активы, взаимодействуя друг с другом, усиливая и развивая друг друга, приводят к синергетическому эффекту общественного развития и определяют его нелинейный характер [7], а также смену технологических укладов [8]. Заметим, что в основе технологических укладов лежат инженерные разработки – рис. 1.

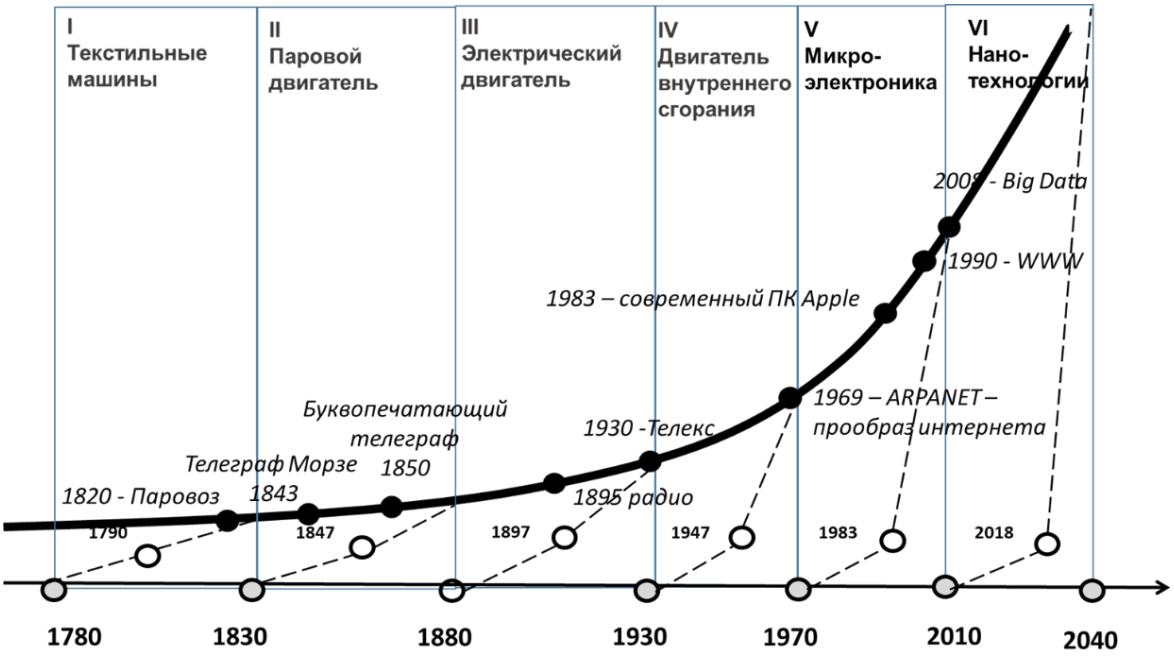


Рис. 1. Связь инженерной деятельности, информационно-коммуникационных технологий и нелинейности общественного развития

Как видно из рис. 1, доминирующей тенденцией мирового развития являются информационно-коммуникационные технологии и инженерные разработки в этой сфере. Влияние процесса распространения информации в глобальном масштабе и технологий, обеспечивающих ее получение, распространение, обработку и хранение оказывают синергетический эффект на темпы экономического развития [9]. Новые технологические решения в производстве, обеспечивающие экономический рост, создают объективные условия и спрос на распространение знаний и информации об этих технологиях. В свою очередь, информация создает условия для развития когнитивной деятельности, получения новых знаний в сфере разработки новых технологических решений как в области производственных технологий, так и в области систем распространения информации. Все это создает объективные условия для перевода экономики на «рельсы экономики знаний». Основной фигурой и производительной силой в новых экономических условиях становится инженер, в широком смысле этого понятия.

Деятельность профессионального инженера по мере общественного развития все время усложнялась и требовала новых знаний. В настоящее время инженерная деятельность имеет преимущественно интеллектуальный характер, а для достижения высоких результатов требует мультидисциплинарных знаний и аналитического образа мышления. Инженер-профессионал в своей деятельности

находится на передовых позициях и создает инновационные решения как симбиоз фундаментальных знаний, знаний новейших технологий, принципов и использования современных методов проектирования, принципов, эффективных концепций и методов в области организации производства и управления им и др. При этом, все это изначально требует развития когнитивных способностей и, как следствие, построения эффективного образовательного процесса по подготовке специалистов в области инженерии.

Когнитивная деятельность в контексте общественного развития. Акцентируем внимание на том, что понятие инженерии уже давно вышло за рамки понимания специальности инженера как специалиста технического профиля, «умеющего строить паровозы» [10]. В науке и практике появляются новые направления инженерной деятельности такие, как, например, генная инженерия, включая и ее аграрный аспект [11], инженерия знаний как возможность выявления направлений научных исследований в интересующих областях [12], системная инженерия (system engineering – системотехника) как совокупность методов и приемов проектирования больших технических и социальных систем [13], финансовая инженерия как система знаний для конструирования разнообразных финансовых инструментов [14] и др.

Обобщая приведенную информацию, можно на системной дать определение инженерии как деятельности по проектированию, разработке и реализации инновационных проектов и инструментария по их реализации. И на этой основе построить универсальную модель инженерной деятельности, приведенную на рис. 2.

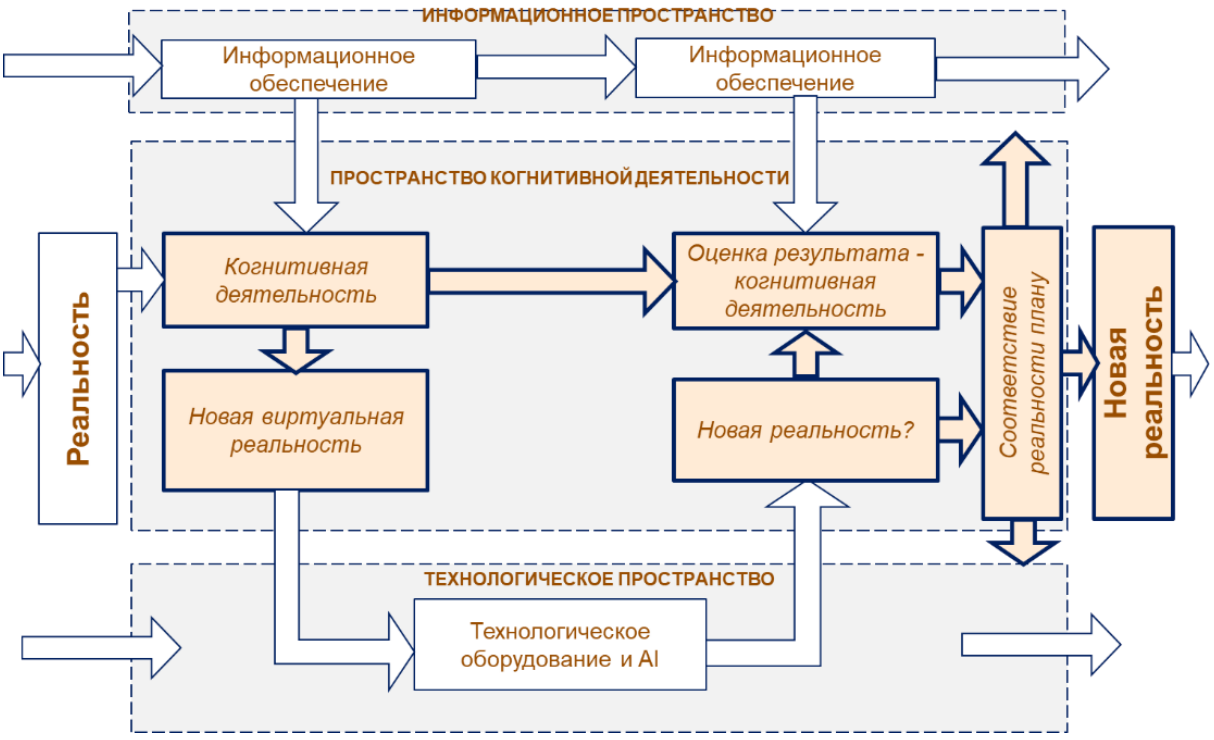


Рис. 2. Универсальная системная модель инженерии
в контексте когнитивной деятельности

Как видно из приведенного рис. 2, любой вид сознательной деятельности человека – инженерии как реализации задуманного проекта может быть представлен в виде системы из трех связанных функциональных элементов (пространства информационного, технологического и когнитивной деятельности). Целью функционирования этой системы является преобразование существующей реальности в новую, будущую реальность через формирование в сознании виртуальной модели новой реальности и ее материализации в новую реальность [15]. При этом основным фактором формирования новой реальности как будущего состояния, например, экономической системы является когнитивная деятельность. Информационное пространство представляется потоком знаний (разнообразной информации), из которого выбирается информация, соответствующая и подтверждающая возможность реализации сформированного в сознании виртуального проекта как новой виртуальной реальности. Новая виртуальная реальность может быть материализована только в системе реально существующих технологических процессов, оборудования и инструментов, образующих технологическое пространство.

В перспективе технологическое пространство может быть представлено в виде комплекса роботизированных производственных регулируемых и саморегулируемых систем, управляемых искусственным интеллектом (artificial intelligence – AI). Реализованный проект по формированию новой виртуальной реальности подлежит контролю на соответствие заявленным целям. Это является функцией когнитивной деятельности по управлению достижением поставленной цели – оценка соответствия параметров новой реальности параметрам новой виртуальной реальности. Заметим, что эта функция является определяющей и различающей границы ответственности искусственного и естественного интеллекта и проходит на эмоциональном уровне. В случае допустимого соответствия построенной новой реальности параметрам новой виртуальной реальности она признается допустимым результатом инженерной деятельности как новая реальность и является базовым результатом для дальнейшего развития.

Акцентируем внимание на том, что предложенная нами модель инженерии как элемента в системе механизма общественного развития косвенно подтверждается и исследованиями, проводимыми в рамках Всемирного экономического форума (World Economic Forum) [16]. В частности, в рамках проведенного глобального социологического опроса, в котором участвовали множество коммерческих организаций различной величины и различного профиля деятельности, были получены результаты о наиболее востребованных в будущем навыках специалистов. В результате был сделан вывод о наиболее востребованных навыках уже в ближайшем будущем (по убыванию): творческое мышление (creative thinking); аналитическое мышление (analytical thinking); технологическая грамотность (technological literacy); любознательность и обучение на протяжении всей жизни (curiosity and lifelong learning); жизнестойкость, гибкость и сообразительность (resilience, flexibility and agility); системное мышление (systems thinking); искусственный интеллект и большие данные (AI and big data) и др. [17, p. 39, Fig. 4.3].

Рассмотрение долгосрочных тенденций развития инженерии позволяет выявить закономерность интеллектуализации экономики [17] за счет развития

когнитивных способностей человека, позволяющих создавать условия для постепенного вытеснения живого труда из производственного процесса: механизация – автоматизация – роботизация – искусственный интеллект и роботизация. Эта закономерность является одним из следствий закона экспансии разума [18] и приводит к ряду противоречий на рынке труда, в части подготовки специалистов.

Система непрерывного образования в контексте развития когнитивных способностей. Согласимся с мнением Эли Джозеф [19] о том, что инфляция имеет множество ликов и может проявиться в виде «инфляции навыков», которая означает избыточность квалификации – в настоящее время численность «дипломированных специалистов» превышает численность лиц, обладающих соответствующей квалификацией для удовлетворения потребностей рынка. При этом расходы на получение образования – соответствующей квалификации постоянно растут, а уровень образованности оставляет много вопросов. Это мировая тенденция замещения системы образования системой предоставления образовательных услуг.

Решение этой проблемы Эли Джозеф видит в приобретении квалификационных навыков за пределами формального образования (университетского образования), получая не соответствующие знания, но навыки в рамках знакомства с отраслевыми стратегиями и тенденциями развития.

По нашему мнению, это предложение ведет к деградации, но не развитию человеческой деятельности, основанной на стимулировании роста когнитивных способностей. Более того, такое предложение по выходу из проблемной ситуации противоречит системе национальных интересов суверенных государств, поскольку подталкивает в ловушку деградации интеллектуальных возможностей нации и ее конкурентоспособности в долгосрочной перспективе. Однако следует отметить и справедливые замечания Эли Джозеф о неоправданном росте числа выдаваемых дипломов.

Решение задачи обеспечения устойчивой конкурентоспособности государства переходит в плоскость формирования не национальной системы образования, но национальной образовательной экосистемы, формирующей высококлассных специалистов, занимающихся инженерией в различных сферах человеческой деятельности на протяжении всей жизни (рис. 3). Эта экосистема имеет сложную системную структуру, обеспечивающую первичное образование населения, подготовку и переподготовку профессиональных кадров на протяжении всей трудовой деятельности населения [20].

Заметим, что изображенная на рис. 3 экосистема представляется элементом в системе более высокого уровня, способного создать принципиально новую систему образования на глобальном уровне параллельно с формированием новой политической и экономической системы мироустройства в рамках блока БРИКС. Решение такой задачи в настоящее время возможно, и для ее реализации требуется лишь политическая воля руководителей государств, а технологические возможности для создания эффективной глобальной системы образования имеются [21].

Рис. 3. Модель формирования экосистемы образования на основе цифровых информационно-коммуникационных технологий [20, с. 14, рис. 5]

Заключение. Акценты конкурентоспособности человека, предприятия и национальной экономики смещаются в пространство когнитивной деятельности. В этой связи, развитие системы образования переходит в разряд основного фактора обеспечения национальной конкурентоспособности, а, следовательно, и устойчивого развития государства, обеспечения его безопасности. Заметим, что качество преподавательских кадров в этом процессе будет иметь определяющее значение как ключевой фактор построения экономически и социально устойчивого суверенного государства.

Литература

1. Вернадский, В. И. Биосфера и ноосфера / В. И. Вернадский. – М. : Рольф, 2002. – 576 с.

2. Морган, Л. Г. Древнее общество, или исследование линий человеческого прогресса от дикости через варварство к цивилизации / Л. Г. Морган. – Л. : Издательство института народов Севера ЦИК СССР, 1935. – 368 с.

3. Энгельс, Ф. Происхождение семьи, частной собственности и государства / К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения. – М. : Государственное издательство политической литературы, 1961. – С. 23–178.

4. Рейзлин, В. И. Введение в инженерную деятельность / В. И. Рейзлин. – Томск : Издательство Национального исследовательского Томского политехнического университета, 2013. – 159 с.

5. Гаврилова, Т. А. Инженерия знаний : модели и методы / Т. А. Гаврилова, Д. В. Кудрявцев, Д. И. Муромцев. – М. : Лань, 2023. – 324 с.

6. Milgrom, P. Complementarities and Systems: Understanding Japanese Economic Organization [Электронный ресурс] / P. Milgrom, J. Roberts. – Режим доступа: https://web.stanford.edu/~milgrom/publishedarticles/Milgrom-Roberts-complements%20&%20Japan.pdf.

7. Maddison, A. The World Economy: Historical Statistics / A. Maddison. – Paris : Development Centre Studies OESD, 2003. – 273 p.

8. Глазьев, С. Ю. Открытие закономерности смены технологических укладов в ЦЭМИ АН СССР / С. Ю. Глазьев // Экономика и математические методы. – 2018. – Т. 54, № 3. – С. 17–30.

9. Николаевский, В. В. Цифровая экономика: сущность, определение и онтология экономической системы в контексте информационно-коммуникационных технологий / В. В. Николаевский // Финансы и кредит. – 2022. – Т. 28, № 11 (827). – С. 2593–2628.

10. Шматко, Н. А. Компетенции инженерных кадров: опыт сравнительного исследования в России и странах ЕС / Н. А. Шматко // Форсайт. – 2012. – Т. 6, № 4. – С. 32–47.

11. Век генетики и век биотехнологии на пути к редактированию генома человека: монография / В. И. Глазко [и др.]. – М. : КУРС, 2016. – 560 с.

12. Гаврилова, Т. А. Инженерия знаний: модели и методы / Т. А. Гаврилова, Д. В. Кудрявцев, Д. И. Муромцев. – М. : Лань, 2023. – 324 с.

13. Гуд, Г. Х. Системотехника: введение в теорию больших систем / Г. Х. Гуд, Р. Э. Макол. – М. : Советское радио, 1962. – 390 с.

14. Marshall, J. F. Financial Engineering: A Complete Guide to Financial Innovation / J. F. Marshall, V. K. Bansal. – New York : New York Institute of Finance, 1992. – 728 p.

15. Николаевский, В. В. Финансовая деятельность как формирование и материализация новой виртуальной реальности / В. В. Николаевский // Финансы и кредит. – 2023. – Т. 29, № 1. – С. 21–37.

16. WEF23. Future of Jobs Report 2023. – Geneva : The World Economic Forum, 2023. – 296 p.

17. Киршов, И. А. Генезис интеллектуализации экономики: теоретическое обобщение / И. А. Киршов, А. В. Титов // Ученые записки Казанского университета. Гуманитарные науки. – 2012. – Т. 154, кн. 6. – С. 7–18.

18. Николаевский, В. В. Закон экспансии разума и глобализация как его следствие / В. В. Николаевский / Предпринимательство и факторы его развития. – Минск : Право и экономика, 2010. – С. 27–39.

19. Joseph, E. Skill inflation': What is it and how to avoid becoming victim to it [Электронный ресурс] / E. Joseph. – Режим доступа: https://www.weforum.org/agenda/2023/08/skill-inflation-what-is-it-and-how-to-avoidbecoming-victim-to-t/?utm_source=sfmc&utm_medium=email&utm_campaign=2808 809_Weekly-Agenda11August2023&utm_term=&emailType=Agenda%20Weekly200, свободный.

20. Системный подход к организации образования: политические и цивилизационные аспекты / В. А. Дадалко [и др.] // Вестник института мировых цивилизаций. – 2020. – Т. 11, № 4 (29). – С. 6–16.

21. Цифровизация как определяющий цивилизационный фактор системы организации образования / В. А. Дадалко [и др.] // Вестник института мировых цивилизаций. – 2021. – Т. 12, № 1 (30). – С. 17–27.

УДК 691.542

Модернизация цементного завода путем установки циклонного теплообменника для снижения углеродного следа

Озерова Н. В., канд. техн. наук, доцент; Зиньков К. А.; Якубов, А. С.; Хмелев К. М.[4]
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
111250, Россия, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14, стр. 1

Аннотация. Актуальность выбранной темы обусловлена растущими темпами жилищного строительства и возрастающей потребностью в цементе. В статье предложен способ модернизации цементного завода путем установки циклонного теплообменника для снижения углеродного следа в выбросах производства. Целями работы, описанными в данной статье, являются снижение себестоимости цемента, а также сокращение выбросов углекислого газа в атмосферу при его производстве. Обе задачи решаются за счет установки циклонного теплообменника, который позволяет уменьшить потребление ископаемого топлива, затрачиваемого на обжиг сырья. Для достижения целей были выполнены следующие задачи: анализ эколого-экономических проблем цементной промышленности.
Ключевые слова: парниковые газы, декарбонизация в цементной промышленности, тепловая энергия отходящих газов, выбросы диоксида углерода в атмосферу.

Modernization of the cement plant by installing a cyclone heat exchanger to reduce the carbon footprint

Ozerova N. V., Yakubov A. S., Zinkov K. A., Khmelev K. M.
National Research University ”MPEI”

Annotation. The relevance of the chosen topic is due to the growing pace of housing construction and the increasing need for cement. The article suggests a way to modernize a cement plant by installing a cyclone heat exchanger to reduce the carbon footprint in production emissions. The objectives of the work described in this article are to reduce the cost of cement, as well as to reduce carbon dioxide emissions into the atmosphere during its production. Both tasks are solved by installing a cyclone heat exchanger, which reduces the consumption of fossil fuels spent on firing raw materials. To achieve the goals, the following tasks were performed: analysis of ecological and economic problems of the cement industry.
Keywords: greenhouse gases, decarbonization in the cement industry, thermal energy of waste gases, carbon dioxide emissions into the atmosphere.

Введение. Строительная отрасль показывает устойчивые темпы развития как в России, так и в мире. Так, в 2021 году в нашей стране был установлен новый рекорд по количеству квадратных метров построенного жилья – 92,6 млн. Однако уже в 2022 этот рекорд был побит – в эксплуатацию ввелись 101,5 млн м^2 [1].

Понятие «углеродный след» включает в себя совокупность выбросов парниковых газов, прямо или косвенно произведенных на предприятии. Основными парниковыми газами являются углекислый газ, метан и закись азота. На каждом этапе производства цемента, от добычи до переработки отходов независимо от типа используемой энергии присутствуют выбросы загрязняющих веществ, в том числе парниковых газов.

Производство цемента является одним из углеродоемких секторов мировой экономики, потребляя большое количество традиционного ископаемого топлива, карбонатного сырья и электроэнергии. Мировые выбросы диоксида углерода цементной промышленностью составляют 8 % от их общего количества. Цементная отрасль ответственна за 8 % мировых выбросов углекислого газа, что эквивалентно приблизительно 1400 млн т углекислого газа в год [2]. В условиях стремительного роста цен на энергоресурсы, а также ужесточения климатической политики необходимо проводить масштабную комплексную модернизацию цементных заводов, с целью решения приоритетных проблем отрасли.

Только процессы декарбонизации на цементных заводах России являются источниками выбросов более чем 2 % от общего объема выброса углекислого газа в России [3, 4].

Рынок цемента в России является одним из самых крупных в мире, и многие местные и зарубежные компании внесли вклад в развитие цементной промышленности в стране. Однако, в последнее время наблюдается рост цен на сырье и энергию, которые могут повлиять на дальнейшее развитие данной отрасли.

Цементная промышленность в России является важным элементом строительной индустрии и играет значительную роль в экономике страны. Россия является одним из крупнейших производителей цемента в мире, имеет множество крупных компаний.

Цементный рынок в России зависит от множества факторов, таких, как экономические условия, доступность сырья и инфраструктуры, условия производства и экологические законы. В последние годы на рынке цемента в России наблюдались колебания, но в целом он остается динамичным и перспективным.

Важно отметить, что в цементной промышленности существует ряд экологических проблем, таких, как выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, использование земельных ресурсов и повышение уровня загрязнения воды. Эти проблемы требуют решения, чтобы обеспечить «устойчивое» развитие цементной промышленности в России и сохранить состояние окружающей среды.

Более чем 30 лет цементная отрасль оставалась без серьезных изменений, несмотря на стремительно развивающиеся информационно-цифровые технологии и повышение технического потенциала страны. Для решения проблемы негативного воздействия на окружающую среду, в данной отрасли следует оценивать совокупное влияние различных факторов, от методов реализации технологического процесса до качества управления персоналом, работающих на предприятиях производства, транспортировки и фасовки цементной продукции.

Производство «сухим» способом требует более сложного и дорогостоящего оборудования, однако это позволяет обеспечить высокую производительность печного агрегата, что позволяет снизить энергоемкость цементного производства [5, 6].

На рис. 1 показан фрагмент генплана рассматриваемого предприятия. Сырьем для цемента служат карбонатные и глинистые породы, которые доставляются на завод железнодорожным транспортом. Они поступают в сырьевое отделение, где смешиваются в нужных пропорциях.

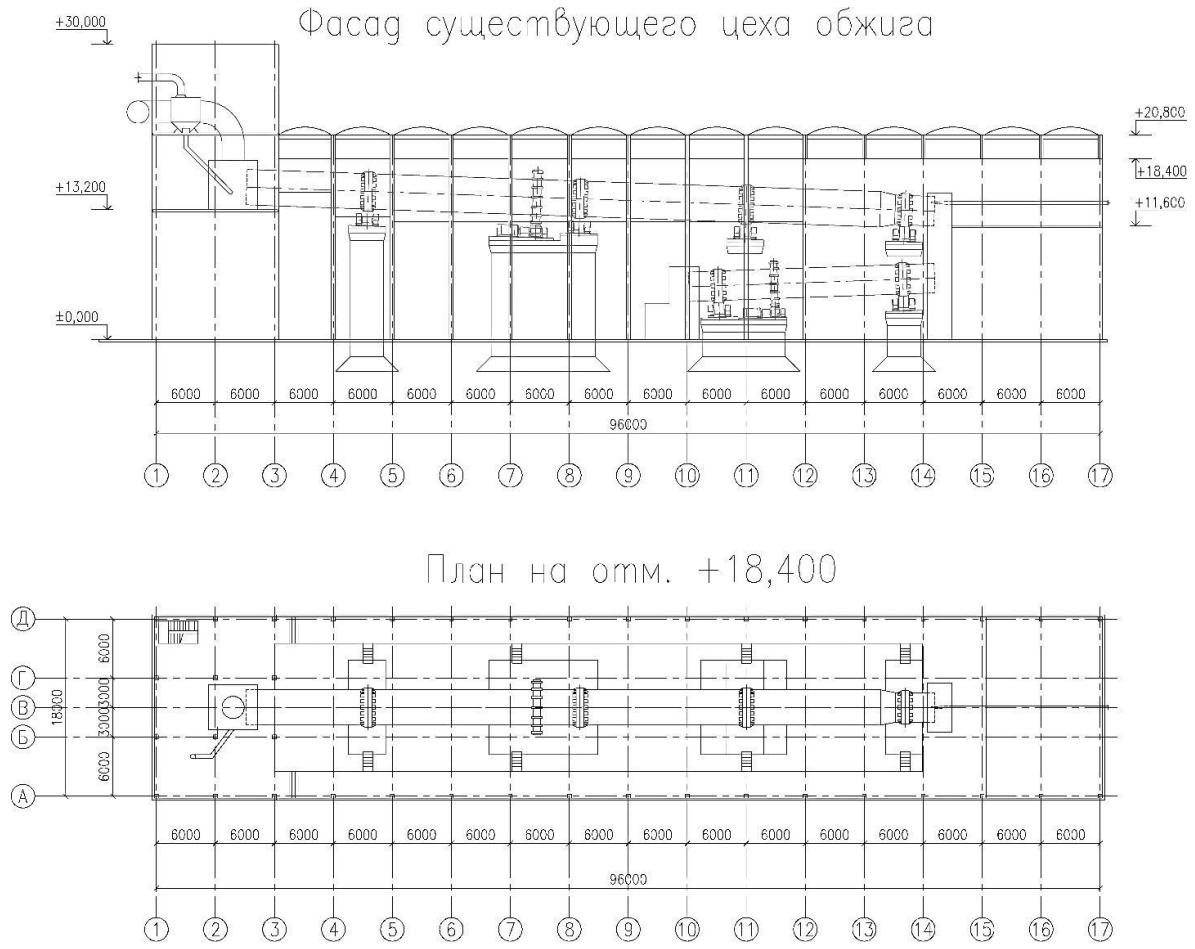


Рис. 1. Фрагмент генплана рассматриваемого предприятия

В процессе помола в сырьевую смесь также могут вводиться корректирующие добавки. Добавки могут быть железосодержащими, кремнийсодержащими, алюмосодержащими или комбинированными. Пропорции сырья и добавок зависят от требуемого конечного качества цемента и от исходного химического состава сырья. Кроме того, в качестве сырья используется летучая зола, которая образуется как отход тепловых электростанций. Помол сырья происходит по сухому способу, то есть без добавления воды. Затем сырьевая смесь поступает в цех обжига, где при температуре около 1500 °С происходит ее спекание в цементный клинкер. Далее в этом же цеху клинкер охлаждается и поступает в цех помола, где его измельчают до состояния порошка, попутно вводя в небольшом количестве гипс. На данном этапе цемент готов, его упаковывают в мешки и отгружают потребителям.

Модернизация будет осуществляться в цеху обжига [7]. Рассмотрим схему его работы. Сырье попадает в загрузочный бак-дозатор, откуда с нужным расходом подается во вращающуюся печь длиной 70 м и диаметром 3,6 м. Внутри при

температуре около 1500 °С происходит спекание сырья в цементный клинкер. Из печи клинкер попадает в холодильник барабанного типа, где он охлаждается до температуры порядка 90 °С. Топливо в печь подается газовой горелкой. Отходящие газы направляются в электрофильтр, где происходит их обеспыливание, и затем в дымовые трубы, откуда они попадают в атмосферу.

Модернизация цеха обжига заключается в том, что в загрузочном отделении устанавливается циклонный теплообменник, который использует тепловую энергию отходящих газов для предварительного подогрева сырья. Соответственно, сырье, поступая в печь, уже нагрето до температуры около 800 °С и требует меньших затрат топлива для дальнейшего нагрева [8].

Был принят четырехступенчатый двухветвевой теплообменник. Он работает следующим образом: газы, отходящие из печи, поднимаются вверх по газоходам, проходя все ступени; сырье же подается из загрузочного бака сверху вниз, сначала оно попадает в газоход 4 ступени, где подхватывается восходящими газами и уносится в циклон 4 ступени. Там происходит теплообмен, сырье осаждается, по течке попадает в газоход 3 ступени, также подхватывается газом, попадает в циклон 3 ступени и так далее. С учетом размеров печи и ее производительности были рассчитаны геометрические параметры циклонов, а именно диаметры и высоты цилиндрических и конических частей, а также размеры входных и выходных патрубков [9].

Циклонный теплообменник опирается на металлическую этажерку, при этом у каждой ступени циклонов есть свой «этаж». Сама этажерка опирается на железобетонные колонны, верхняя отметка которых находится ниже вращающейся печи. Пространственная жесткость конструкции обеспечивается с помощью пространственных связей. Для определения геометрических параметров несущих конструкций был произведен поэтапный сбор нагрузок сверху вниз. Сначала была определена масса отдельных элементов циклонного теплообменника, а также его масса в целом, она оказалась чуть больше 2000 т.

Каждый циклон опирается на главные и две вспомогательные балки, которые в свою очередь и сами опираются на главные балки. Зная массу циклона и газохода, мы определили нагрузку на балки и подобрали их сечение в соответствии с гостом. Также были выбраны сечения остальных балок. Есть балки, назовем их прогонами, которые держат только металлические листы перекрытия, которые нужны для обеспечения доступа персонала к оборудованию; есть балки, на которые эти прогоны опираются. Сечения всех балок – двутавры. С учетом массы всех балок на всех этажах, массы самого циклонного теплообменника, а также грузовых площадей колонн, были спроектированы три двутавровых сечения металлических колонн, представленных на рис. 2.

Далее с учетом нагрузки оборудования, временных нагрузок и нагрузки от металлической этажерки был сделан расчет на прочность и спроектированы железобетонные колонны, также в количестве 3 штук [10]. Все колонны имеют сечение 600×600 мм. В колонне, воспринимающей наибольшую нагрузку, используются бетон класса В45 и 8 стержней арматуры диаметром 28 мм, процент армирования 1,37. В двух других типах колонн используются бетон В25 и арматура диаметром 25 и 16 мм с процентами армирования 1,09 и 0,45 соответственно. Колонны монолитные, перекрытия также монолитные, стыковка арматуры ко-

лонн 1 и 2 яруса происходит путем выпуска арматуры нижней колонны с ее отгибом. Выпуски арматуры нижней колонны и арматура верхней колонны обвязываются хомутами.

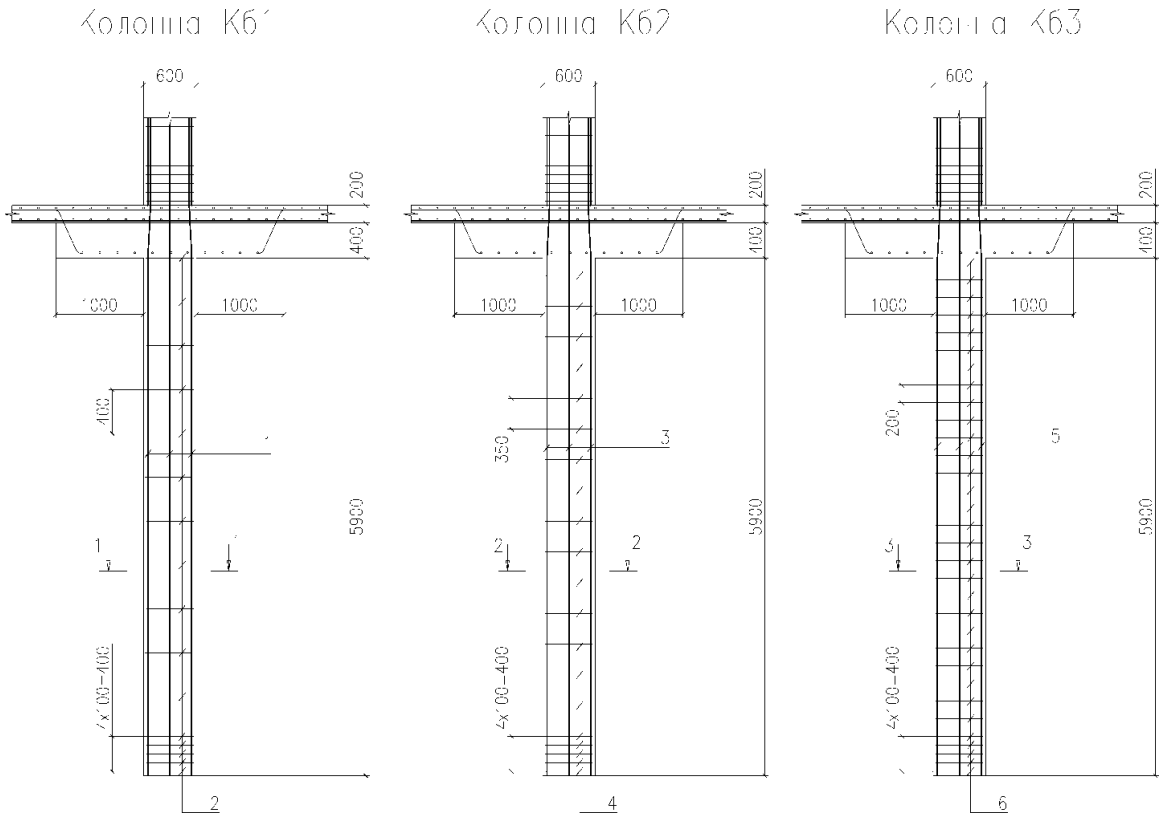


Рис. 2. Три двутавровых сечения металлических колонн

Такой способ стыковки наиболее распространен как наиболее надежный и достаточно экономичный. Так как в приопорной зоне колонн возникает максимальная концентрация поперечных усилий, то для недопущения разрушения перекрытия эти зоны необходимо усилить. Для этого были введены капители, которые также армируются. Арматура капителей отгибается в тело плиты [11].

Так как существующие конструкции не способны выдержать возросшую нагрузку, то необходимо произвести их полный демонтаж. Для этого был разработан проект производства работ краном. Так как реконструкция осуществляется на территории действующего предприятия, то условия осложняются необходимостью сохранения не только соседних зданий и сооружений, но и большей части конституций модернизируемого цеха. В стесненных условиях не представляется возможным произвести полный демонтаж автомобильным краном, поэтому целесообразно применение башенного крана. Демонтажные работы будут вестись поэлементным способом. Была составлена ведомость демонтируемых элементов и на ее основе подобран кран, который будет осуществлять демонтаж. Кран опирается на фундамент. При этом расстояние от башни крана до здания составляет 4 м, следовательно, безопасное расстояние соблюдено (4 > 0,7 м). Поворот стрелы крана ограничивается так, чтобы не допустить ее столкновения с дымовыми трубами с одной стороны и обеспечить безопасное расстояние до соседнего цеха с другой. Помимо демонтажных работ краном, также необходимо разобрать кир-

пичную кладку в осях А3-А4 и Д3-Д4. В силу того, что в непосредственной близости находятся конструкции, повреждение которых недопустимо, разборка будет осуществляться ручным способом с применением отбойных молотков.

Работы по раскопке фундаментов будут совмещать ручной и механизированный труд. Размеры котлована определяются с учетом последующего устройства новых фундаментов. Земляные работы будут вестись экскаватором с ковшом объемом 0,25 м^3. Для разбора фундаментов будет применяться гидромолот, прикрепленный к стреле вышеупомянутого экскаватора. Строительный мусор будет вывозиться с помощью фронтального погрузчика и автосамосвала [12]. Подача цементного раствора при бетонировании фундаментов, колонн и перекрытий будет осуществляться тем же самым башенным краном, который вел демонтажные работы. Его характеристики в некоторой степени превышают требуемые для бетонирования, однако такое решение обусловлено тем, что в стесненных условиях невозможно применение автомобильного крана, а затраты на монтаж и демонтаж другого башенного крана с меньшим запасом по характеристикам значительно превысят выгоду по стоимости его эксплуатации. Тем не менее, перед началом бетонных работ с помощью телескопической клети убираются три верхние секции башни и уменьшается высота подъема крюка. При этом расстояние от основания откоса котлована до фундамента крана превышает минимальное необходимое расстояние для выемок не глубже 2 метров в песчаных грунтах, соответственно безопасность обеспечивается.

На рис. 3, 4 изображены стройгенплан на период монтажных работ и его фрагмент.

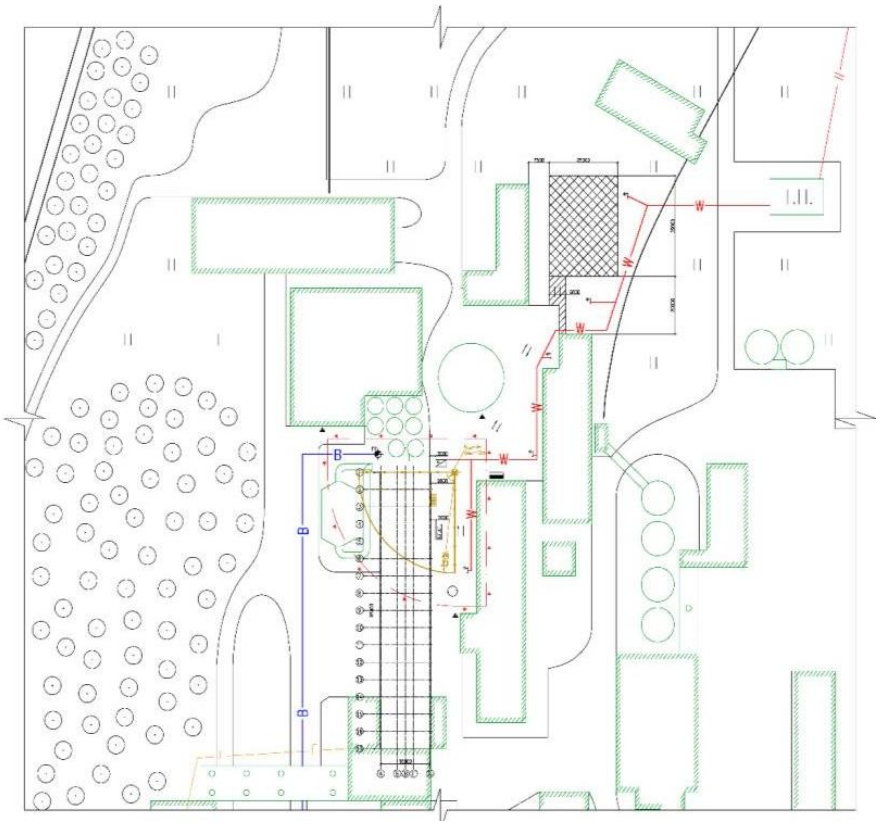


Рис. 3. Стройгенплан на период монтажных работ

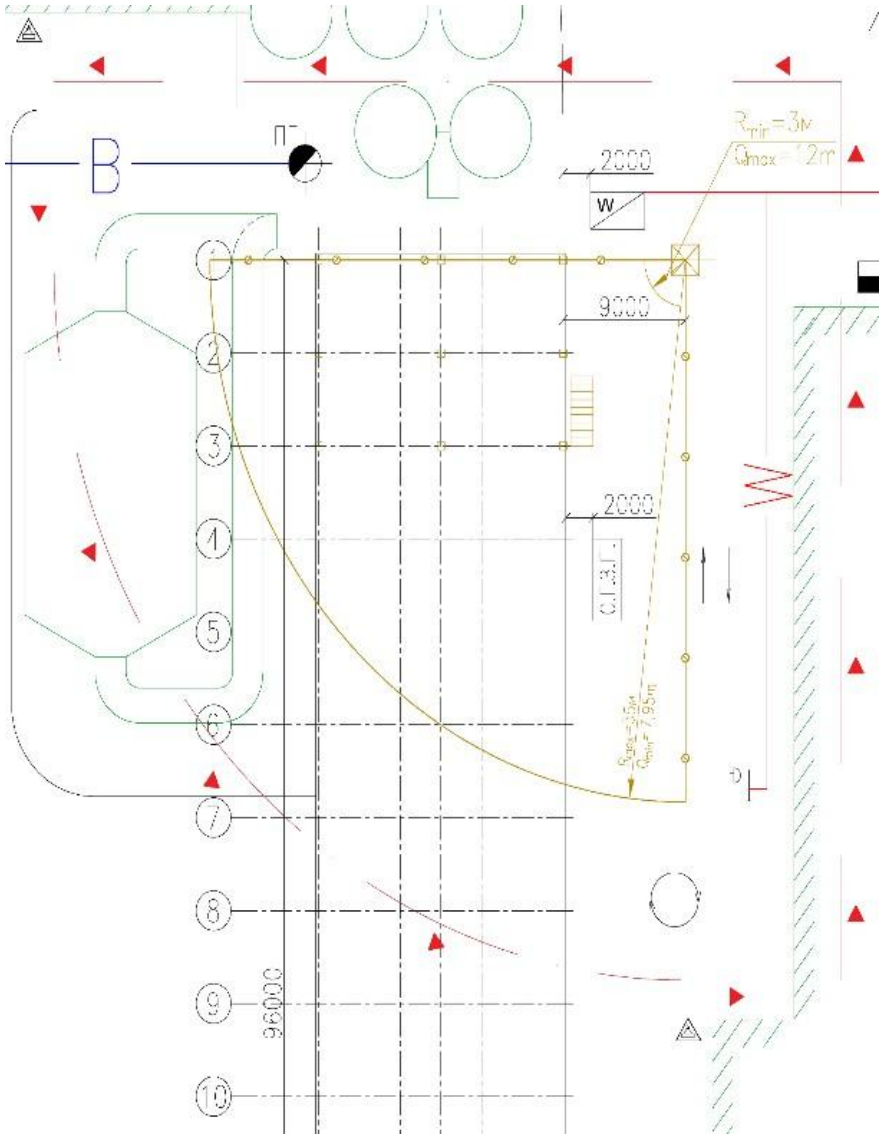


Рис. 4. Фрагмент стройгенплана в увеличенном масштабе

Строительные материалы доставляются на объект железнодорожным транспортом. В непосредственной близости от путей на пустой площадке организован склад, который соединен временной дорогой с существующей. От существующей трансформаторной подстанции спроектирована временная линия электроснабжения для питания строительных машин и механизмов, а также для освещения зон движения транспорта, по которым будет осуществляться доставка строительных конструкций со склада в зону действия монтажного крана. Также была рассчитана опасная зона работы крана, на ее границах размещены знаки, предупреждающие о начале опасной зоны. Для защиты от пожара был предусмотрен пожарный гидрант и временный наземный водопровод к нему, а также пожарный пост.

Заключение. Цементная промышленность не может избавиться от выбросов парниковых газов, так как в основе технологического процесса лежит разложение карбонатов на оксиды и углекислый газ. Но снизить выбросы можно путем оптимизации процессов горения и использования энергоэффективных методов производства.

Литература

1. Хуснуллин оценил прирост строительства в России по итогам 2022 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://realty.rbc.ru/news/63bec17a9a7947a49a1c4022. – Дата доступа: 13.03.2023.

2. Lehne, J. Making Concrete Change Innovation in Low-carbon Cement and Concrete / J. Lehne, P. Felix. – The Royal Institute of International Affairs, 2018. – 138 p.

3. Озерова, Н. В. Парниковые газы и стройиндустрия / Н. В. Озерова, Д. Х. Мамина, М. М. Рукавишников // Сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции (г. Москва, 14–15 октября 2021 г.) Геоэкологические проблемы техногенного этапа истории Земли. – 2021. – М. : Издательство МИСИ. – МГСУ. – 2021.

4. Голякова, У. А. Выбросы парниковых газов при производстве цемента / У. А. Голякова, Н. В. Озерова // Сборник трудов Международной конференции «Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия». – Комсомольск-на-Амуре, 2021.

5. Производство портландцемента [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studfile.net/preview/5229949/page:7/#:~:text=В%20зависимости%20от%20приготовления%20сырьевой,и%20обжигают%20в%20сухом%20виде. – Дата доступа: 11.10.2023.

6. Как делают сухой цемент: мокрый и сухой способ производства цемента, технология [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://1beton.info/proizvodstvo/napolniteli/kak-delayut-suhoj-tsement-mokryj-i-suhoj-sposob-proizvodstva-tsementa#i -2. – Дата доступа: 19.03.2023.

7. Вращающиеся печи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://stroy-technics.ru/ article/vrashchayushchiesya-pechi. – Дата доступа: 07.10.2023.

8. Влияние технологий производства цемента на выбросы углекислого газа / М. М. Рукавишников [и др.] // Труды одиннадцатой Всероссийской конференции с международным участием «Энергосбережение – теория и практика (Москва, 10–14 октября 2022 г.). – М. : ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2022. – С. 347–350.

9. Прайс-лист на продукцию ООО «Батайский Завод Строительных Материалов» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.bazasm.ru/price/?ysclid= lh4n6xpfm 0421774156. – Дата доступа: 17.10.2023.

10. Беляева, З. В. Расчет и проектирование элементов металлических конструкций / З. В. Беляева, С. В. Кудрявцев. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2019. – 140 с.

11. Проектирование несущих конструкций многоэтажного каркасного здания / Н. Г. Головин [и др.]. – М. : МГСУ, 2014. – 72 с.

12. Поэлементная разборка зданий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://infopedia.su/23x27f5.html. – Дата доступа: 13.10.23.

УДК 628.38

Использование отходов ЖКХ для получения альтернативного топлива. Основные производства и технико-экономическая оценка

Пехота А. Н.[1], канд. техн. наук;
Хрусталев Б. М.[1], академик НАН Беларуси, доктор техн. наук, профессор;
Вострова Р. Н.[2], канд. техн. наук
[1]Белорусский национальный технический университет,
220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65
[2]Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»,
246653, Беларусь, г. Гомель, ул. Кирова, 34

Аннотация. Представлены результаты исследований свойств альтернативного твердого топлива на основе осадков сточных вод. Описано применение комплексного решения эффективного использования образующихся осадков сточных вод городских очистных сооружений в качестве вторичных возобновляемых энергоресурсов.
Ключевые слова: альтернативное топливо, твердое топливо, многокомпонентные составы, осадок сточных вод, экология, горючие ВЭР, брикетирование.

The use of housing and communal services waste to obtain alternative fuel. Main production facilities and technical and economic assessment

Pekhota A. N.[1], Khrustalev B. M.[1], Vostrova R. N.[2]
[1]Belarusian National Technical University
[2]Belarusian State University of Transport

Annotation. The results of studies of solid fuel properties based on sewage sludge are presented. The application of a comprehensive solution for the effective use of the generated sewage sludge from urban wastewater treatment plants as secondary renewable energy resources is described.
Keywords: alternative fuel, solid fuels, multicomponent compositions, sewage sludge, ecology, combustible VER, briquetting.

Введение. Проводимые в настоящее время за рубежом научные исследования направлены на разработку и совершенствование различных способов обработки и использования осадков сточных вод коммунальных очистных сооружений. В связи с этим решение вопроса экономически целесообразного и экологически безопасного размещения осадков сточных вод (ОСВ) в окружающей среде является актуальной задачей для предприятий водо-канализационного хозяйства (ВКХ) и мирового сообщества.

Применение технологии многокомпонентного брикетирования позволяет использовать осадок сточных вод в качестве компонента, обеспечивающего связующие свойства в смеси с древесно-растительными отходами [1; 2].

Основная часть. Коллективом белорусских ученых проведены научные и практические исследования, позволившие запустить производство многокомпонентного твердого топлива (англ. multicomponent solid fuel MSF). По результатам проведенных лабораторных исследований, выполненных в аккредитованных лабораториях, определены теплотехнические и физические свойства брикетов, а также выявлен интервал изменений химического состава в пределах варьирования соотношением ОСВ и древесных отходов [2].

По результатам проведенных экспериментов, математического моделирования с использованием информационных технологий и применения нейросетей определено оптимальное соотношение компонентов в *MSF*-топливе, которое обеспечивает наиболее полное сжигание используемых в нем горючих компонентов с выделением заданных теплотехнических характеристик и нормированного содержания вредных веществ в выбросах [4; 6; 7]

Результаты и обсуждения. Учитывая полученные научные результаты исследований, проведенный анализ и математическая обработка с определением зависимостей с учетом данных физико-химического состава различных видов твердого топлива и выбросов вредных веществ показал, что пределы варьирования зависимы от содержания в составе топлива ОСВ. Причем для обеспечения эффективного сжигания *MSF*-топлива, их долевое соотношение должно составлять 32,8–48,6 %. При этом обеспечиваются нормированные параметры выбросов вредных веществ при сжигании *MSF*-топлива в основном за счет повышенного применения в составе «чистых» отходов, таких, как, отходы деревообработки, сельскохозяйственного производства, и отходов переработки ее продукции, не находящих технологического применения.

Реализуемая схема разработанного процесса брикетирования в упрощенном виде состоит из следующих операций, представленных на рис. 1.

Рис. 1. Технологическая схема подготовки и брикетирования MSF топлива

Полученные данные исследований с применением разработанной установки, обеспечивающей электрогидравлическую обработку отходов в соответствии с об-

щеизвестным «эффектом Юткина» [3], позволили в процессе подготовки многокомпонентных смесей достигать гомогенизации с выделением природных связующих компонентов без химического и термического воздействия. Так, при обработке отходов импульсным искровым разрядом можно снижать содержание нежелательных химических веществ в виде тяжелых металлов, что обеспечивает экологичность получаемого топлива на стадии сжигания и образования золы. Это достигается, за счет формирования определенной частоты и силы разряда, что вместе с тем дополнительно формирует во влажной смеси коллоидно-дисперсные связующие растворы, пригодные для влажного брикетирования [1; 5–7].

Вместе с тем к некоторым специалистам может возникнуть вопрос о рациональности применения влажного брикетирования отходов. Проведенный расчет теплоэнергетической системы сушки MSF-топлива позволяет выполнить сравнение удельных энергозатрат при традиционном сухом и многокомпонентном влажном способах брикетирования [2; 5–13]. Традиционная технологическая схема брикетирования, например, древесных отходов с применением технологии *Pini Kay* в условиях «горяче-сухого» брикетирования в шнековом экструдере, представлена на рис. 2.

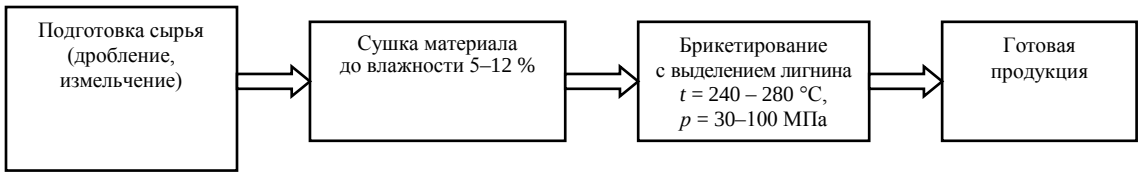


Рис. 2. Традиционная технологическая схема брикетирования (*Pini Kay)*

Исходя из представленной схемы технологического процесса, теории и практики «горячего» брикетирования, скорость формования ограничена скоростью процесса пластификации лигнина, а также требуемым временем нахождения топлива в процессе пластификации в обогреваемом канале под соответствующим давлением.

На рис. 3 представлена разработанная технологическая схема брикетирования МТТ. Одной из особенностей разработанной технологии «холодно-влажного» брикетирования многокомпонентных смесей является отсутствие затрат тепловой энергии в процессе брикетирования, так как связующим компонентом выступает не лигнин, содержащийся в структуре древесины и выделяемый при нагреве и повышенном давлении (t и P) на брикетируемый материал, а вязкие компоненты углеводородсодержащих отходов и мелкодисперсная органическая составляющая ОСВ [2; 11–13].

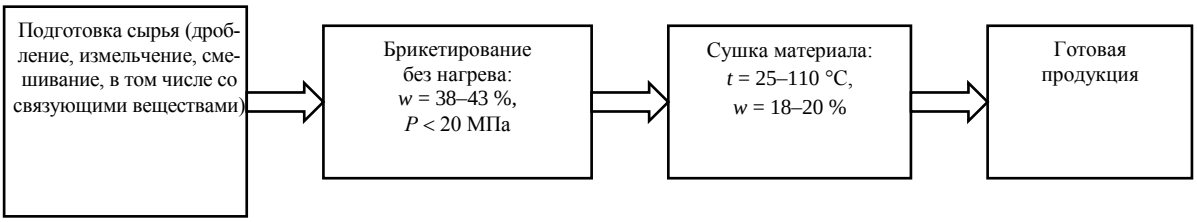


Рис. 3. Разработанная технологическая схема брикетирования МТТ

Принимая во внимание принципиальные особенности представленных технологических схем на рис. 2 и 3, выполнен сравнительный расчет удельных энергозатрат на получение брикетированного твердого топлива с учетом традиционной технологии брикетирования *Pini Kay* и технологии многокомпонентного брикетирования [1; 2]. Использование технологии «холодно-влажного» брикетирования позволяет осуществлять сушку брикета в теплое время года в естественных атмосферных условиях, под навесом, без дополнительных затрат энергии. В холодное время года – в конвективно-радиационной сушилке периодического действия.

Тепловой расчет сушки измельченного сырья древесных материалов выполнен с учетом применения прямоточной барабанной сушильной установки марки АВМ-0,65, которая часто используется в составе большинства технологических линий подготовки сырья к брикетированию и гранулированию твердого топлива. С учетом параметров влажности материала, поступающего в сушильную установку (W_1 = 45 % и конечная W_2 = 12 %), определены требуемые удельные энергозатраты на сушку измельченного сырья хвойных пород древесины, которые составляют q = 0,82 МДж/кг.

С учетом параметров транспортной влажности сформованного многокомпонентного состава (W_1 = 38 % и конечная W_2 = 20 %), определены удельные энергозатраты (нетто) на сушку, приведенные к 1 кг высушенного материала, которые составили q = 0,71 МДж/кг.

Сравнительный анализ показал, что использование технологии получения многокомпонентного брикетирования влажных смесей позволяет сократить теплоэнергетические затраты на 15 % по сравнению с применением технологии брикетирования *Pini Kay*.

Экономическая оценка себестоимости производства МТТ с учетом разработанных ТУ BY 490319372.002–2021 «Топлива твердые многокомпонентные котельно-печные», с использованием древесных отходов, осадка сточных вод и нефтесодержащих отходов, составляет 28,9 $ США.

При отпускной цене на МТТ (ОДО «ТеплоБел»), определенной на 10 % ниже стоимости 1 т дров в поленнице (кругляк), окупаемость производственной установки брикетирования составляет 21 месяц (при 2-сменном режиме работы; установка монтируется в существующем здании) [2; 4–9]. Оценка теплотехнических параметров различных видов твердого топлива с учетом их стоимости в Республике Беларусь, по состоянию на IV квартал 2022 года, представлена в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что твердое топливо МКУ 3-1с и торфобрикет находятся в диапазоне усредненно-равнозначной цены, что позволяет замещать торф, а его использовать в более выгодных с экономической точки зрения сегментах, например, извлечения из него полезных веществ для медицины, косметологии и биотехнологий, производства премиальных видов субстратов почво-грунта для цветов и декоративных растений, а также для выращивания грибов на покровных грунтах и другой востребованной органической продукции в сельскохозяйственном земледелии.

Таблица 1. Расчет удельной стоимости твердых видов топлива с учетом плотности и теплоты сгорания

Вид твердого топлива	Теплота сгорания топлива, ккал/кг	Цена твердого топлива, $/т	Плотность твердого топлива, кг/м^3	Удельная теплота сгорания, ккал/м^3	Удельная стоимость топлива, $/ккал (кг/м^3)
Твердое топливо МКУ 3-1с, *W* = 15 %	4330	54,2	0,82	3550	0,013/0,015
Дрова поленик (кругляк), *W* = 15 %	2900	59,6	0,38	1102	0,021/0,054
Дрова колотые, *W* = 15 %	2900	87,0	0,38	1102	0,030/0,079
Торфобрикет (навалом), *W* < 16 %	3600	51,7	1,1	3960	0,014/0,013
Топливный брикет *RUF*, *W* = 12 %	4100	152,2	1,0	4100	0,037/0,037
Топливный брикет *PiniKay*, *W* = 9 %	4490	147,8	1,2	5388	0,033/0,027
Топливные гранулы, *W* = 7,7 %	4570	165,2	1,2	5484	0,036/0,030
Уголь бурый марки Б-2	4177	113,0	1,2	5012	0,027/0,022
Уголь антрацит марки АМ	6200	261,9	1,5	9300	0,042/0,028

Цена образована по средней оптовой стоимости.

Заключение. Использование многокомпонентного брикетирования горючих отходов позволяет заместить традиционные виды топлива, что соответствует основным направлениям рационального использования природных ресурсов, а также расширению использования возобновляемых источников энергии в виде горючих производственных и коммунальных отходов, образующихся от хозяйственной деятельности человека.

Литература

1. Исследование многокомпонентного брикетированного топлива на основе осадков сточных вод городских очистных сооружений г. Гомеля и исследование теплотехнических свойств брикетов: отчет по НИР / Белорус. гос. ун-т трансп.; научный рук. А. Н. Пехота. – Гомель, 2020. – 99 с.

2. Пехота, А. Н. Многокомпонентное твердое топливо / А. Н. Пехота. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 243 с.

3. Юткин, Л. А, Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Л. А. Юткин. – Л. : Машиностроение, 1986. – 253 с.

4. Технология производства многокомпонентного твердого топлива с использованием отходов сточных вод / А. Н. Пехота [и др.] // Энергетика. – 2021. – Т. 64, № 6. – С. 525–537.

5. Пехота, А. Н. Определение эффективности параметров брикетирования и сушки многокомпонентных составов твердого топлива / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталев // Энергетическая Стратегия. – 2022. – № 2. – С. 34–38.

6. Пехота, А. Н. Исследование термоаналитическими методами энергетических свойств брикетированного многокомпонентного топлива / А. Н. Пехота, С. А. Филатов // Энергетика. – 2022. – Т. 65, № 2. – С. 143–155.

7. Пехота, А. Н. Исследование энергетических характеристик многокомпонентного твердого топлива с использованием горючих малоиспользуемых коммунальных и производственных отходов / А. Н. Пехота // Наука и техника. – 2022. – № 2. – С. 164–174.

8. Пехота, А. Н. Эффективное использование твердых коммунальных отходов в энергетических целях: особенности MSF-технологии // Энергоэффективность. – 2022. – № 5. – С. 27–32.

9. Пехота, А. Н. Оценка эффективности технологии многокомпонентного брикетирования топлива с использованием осадков сточных вод / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталев // Промышленная энергетика. – 2022. – № 6. – С. 40–50.

10. Технология производства MSF-топлива – направление, обеспечивающее переход к циркулярной экономике / Б. М. Хрусталев [и др.] // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 4. – С. 340–348.

11. Пехота, А. Н. Использование углеводородсодержащих отходов в технологии многокомпонентного брикетирования твердого топлива / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталев // Промышленная энергетика. – 2022. – № 9. – С. 53–61.

12. Термо-аналитический анализ брикетированного многокомпонентного топлива / Б. М. Хрусталев, А. Н. Пехота, С. А. Филатов // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте : материалы II Республ. науч.-техн. конф., Минск, 28–29 апреля 2022 г. / М-во образования Респ. Беларусь [и др.]. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 4–7.

13. Пехота, А. Н. Брикетирование осадка сточных вод на очистных сооружениях канализации / А. Н. Пехота, Р. Н. Вострова, Е. А. Пехота // ICEP-2022 Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сб. тр. V Междунар. науч.-практ. конф. посвященной 50-летию кафедры природопользования, Брест, 26–28 окт. 2022 г. : в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Брестский гос. техн. ун-т. – Брест : БрГТУ, 2022. – Ч. 2. – С. 173–178.

УДК 662.31.33

Перспективы использования торфа в производстве строительных материалов

Пехота А. Н.[1], канд. техн. наук;
Хрусталев Б. М.[1], академик НАН Беларуси, доктор техн. наук, профессор;
Чернюк Н. В.[2]
[1]Белорусский национальный технический университет,
220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65
[2]Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»,
246653, Беларусь, г. Гомель, ул. Кирова, 34

Аннотация. Производство строительных материалов в Республике Беларусь является важным сектором, формирующим экономику страны, и обеспечивает нужды внутренней потребности строительства, а также экспорта строительных материалов. С учетом того, что данный вид сырья может использоваться как на энергетические цели, так и являться основой для производства различной не топливной продукции, в статье представлены результаты исследований, позволяющих судить о возможности получения продукции строительного назначения с использованием торфа.
Ключевые слова: торф, многоцелевое использование торфа, экология, утеплитель, гидрофобные свойства, свойства верхового торфа.

Prospects for the use of peat in the production of construction materials

Pekhota A. N.[1], Khrustalev B. M.[1], Charnyuk N. V.[2]
[1]Belarusian National Technical University
[2]Belarusian State University of Transport

Annotation. The production of building materials in the Republic of Belarus is a necessary sector that creates dangerous situations in the country, and requires domestic production, as well as export of building materials. Taking into account the fact that this type can be used both for energy purposes and for the production of non-permanent fuel products, the article presents the results of research conducted by the authorities regarding the possibilities of construction products using peat.
Keywords: peat, multi-purpose use of peat, ecology, insulation, hydrophobic properties, properties of high-moor peat.

Введение. Республика Беларусь – страна с самыми большими в мире запасами торфа на душу населения. Торфяная промышленность республики имеет вековую историю. Первая промышленная разработка торфа в Беларуси начата в 1896 году. До 1960 года торф в Беларуси оставался основным видом топлива, на котором работало большинство электростанций. С конца 70-х годов происходит постепенная переориентация объектов энергетики с заменой использования

торфа на другие виды топлива – газ и мазут. В связи с Чернобыльской катастрофой и изменением конъектуры экологических и экономических требований торфяное топливо планомерно исключается из теплоэнергетики и к 1986 г. сжигание его на электростанциях и ТЭЦ прекращается. Вследствие этого происходит сокращение объемов добычи торфа и производства брикетов. Так, в 2001 году эти показатели составляли, соответственно, 2,0 и 1,1 млн. т [1].

Однако более перспективным в настоящее время представляется переработка торфа для получения нетопливной продукции. Проводимые в настоящее время за рубежом научные исследования направлены на разработку и совершенствование различных способов переработки и использования торфа. В связи с этим решение вопроса экономически целесообразного и экологически безопасного использования торфа в качестве нетопливной продукции является актуальной задачей для Республики Беларусь и мирового сообщества [1; 2].

Основная часть. В соответствии со схемой распределения торфяников по направлениям использования на период до 2030 года, утвержденной постановлением совета министров Республики Беларусь от 30 декабря 2015 г. № 1111, в разрабатываемый фонд включено 99,1 тыс. га земель торфяных месторождений с запасами торфа в количестве 302,1 млн т. При достижении устанавливаемых программой объемов добычи запасов торфа в республике достаточно для разработки и использования его в экономике на ближайшие 100 лет.

С учетом того, что данный вид сырья может как использоваться на энергетические цели, так и являться основой для производства различной продукции нетопливного назначения, можно говорить как минимум о значительном экономическом потенциале торфа для белорусской экономики.

Работами сотрудников Института природопользования НАН Беларуси и других исследователей [3] доказана способность торфа сорбировать ионы тяжелых металлов, органические и газообразные вещества, обусловленная его химической природой [4].

Зная об уникальном химическом составе, в медицине торф применяют как источник немалого количества различных элементов. Посредством разных реакций из торфа получают метиловый и этиловый спирты, а также добывают воск, парафин, уксусную кислоту [5].

Таким образом, нетопливное направление представлено производством органических и органоминеральных удобрений, удобрительных смесей и мелиорантов, биостимуляторов, ростовых веществ и кормовых добавок, сорбционных материалов для поглощения вредных и токсичных веществ, в том числе тяжелых металлов и радионуклидов, торфощелочных реагентов для буровых работ и производства строительных материалов, лекарственных средств, изделий бытовой химии, косметики, полиграфии и других продуктов [2].

Целью программы комплексной модернизации торфяных производств на 2021–2025 годы (утверждена постановлением министерства энергетики Республики Беларусь 31 декабря 2020 г. № 49) является обеспечение диверсификации топливно-энергетического баланса республики за счет использования торфяной топливной продукции, а также расширение направлений использования в республике торфяной нетопливной продукции, увеличение объемов ее производства и реализации.

Одной из задач для достижения данной цели является развитие альтернативных нетопливных направлений использования торфа.

С нашей точки зрения альтернативным является использование торфа в производстве строительных материалов.

При получении строительных материалов и изделий из торфа с заданными свойствами необходимо знать не только состав и свойства торфяных залежей в их естественном залегании, но и уметь прогнозировать их изменения в ходе технологической переработки.

Сложность состава и структур торфа связана с содержанием в нем органической, минеральной и водной составляющих. В торфе содержатся частицы разнообразных форм и размеров (от долей микрометра до нескольких сантиметров), поэтому торф является полидисперсной системой. С физико-химической точки зрения торф можно отнести к классу сложных многокомпонентных полидисперсных полуколлоидно-высокомолекулярных систем. Высокая молекулярность торфа обусловлена его происхождением (генезисом), так как растения-торфообразователи являются природными полимерами [6].

В торфе как в сложном органоминеральном сырье приняты две основные таксономические единицы классификации: тип торфа и степень разложения. От этих характеристик зависят его основные структурные особенности, а также физико-химические и физико-механические свойства [7]. В зависимости от способа образования и формирования различают три типа торфа: верховой, низинный и переходный, которые различаются соотношением минеральной и органической части. Степень разложения D_{dp} показывает содержание в торфе бесструктурного вещества, утратившего клеточное строение. При разной степени разложения торф одного и того же группового и химического состава может иметь разные свойства. В зависимости от степени разложения торфы делятся на слаборазложившиеся – D_{dp} < 20 %, среднеразложившиеся – D_{dp} = 20–45 % и высокоразложившиеся – D_{dp} > 45 %. Формирование физико-химических и физико-механических свойств зависит от вещественного состава и его структуры.

Органическая часть торфа и природа его отдельных компонентов рассмотрены в многочисленных трудах российских и зарубежных исследователей в связи с разработкой общей химической технологии переработки торфа, изучением генезиса твердых горючих ископаемых и природы торфа, а также в связи с сельскохозяйственным использованием торфа. Применительно к технологиям производства строительных материалов состав органической части торфов исследовался недостаточно [8]. В торфе выделяют следующие основные группы соединений: битумы, углеводная часть (водорастворимые, легкогидролизуемые и трудногидролизуемые), гуминовые вещества, фульвовые кислоты, целлюлоза, лигнин. Различие в содержании этих компонентов в торфах связано в основном с их типом и, в меньшей степени, со степенью разложения. Соотношение основных групп органических соединений во многом определяет физико-химические и физико-механические свойства торфа.

Строительные материалы на основе торфа обладают рядом положительных свойств и могут с успехом применяться в строительстве. Непереработанный торф, торфяная крошка, а также торфяные гранулы используются в качестве за-

полнителя для получения легких бетонов. Торф применяется для изготовления вяжущих веществ в качестве активного наполнителя.

В строительстве торф в первую очередь известен как звуко- и теплоизоляционный материал. Уже достаточно давно с этой целью используются торфяные плиты, внешне похожие на утеплители из минеральной ваты. Они изготавливаются из сфагнового торфа, имеющего степень разложения от 5 до 12 % и уровнем влажности 91–94 % [9; 10].

До 30 % плиты могут составлять сухие растительные остатки, в том числе грубое древесное волокно. Если добавить в торфяные плиты антипирены, они получат противопожарные свойства. Добавление гидрофобизаторов придаст им водостойкость, а антисептиков – способность противостоять биологическим угрозам, в том числе плесени и грибку [9].

Особый интерес представляют так называемые торфоблоки, для производства которых используется торф, который просеивается и перетирается с водой до состояния связующего вещества. В качестве наполнителей выступают стружка, опилки, льнокостра, рубленая солома. Блоки формируются под прессом и тщательно просушиваются, без обжига.

На данном этапе ученые выделяют следующие преимущества торфоблоков:

– небольшой вес (блок размером 510×250×88 мм весит не больше 4 кг, а 1 м^3 материала – от 250 кг);

– низкий коэффициент теплопроводности (находится в диапазоне 0,047–0,080 Вт/(м·°С), что делает строительный материал очень теплым);

– приемлемый индекс звукоизоляции (на уровне 53 дБ);

– экологически чистый материал на основе природных компонентов создает экологичный микроклимат строительной конструкции;

– торф – природный адсорбент, способен очищать воздух от неприятных запахов и вредных веществ;

– минеральные добавки при производстве делают торфяные блоки пожаробезопасным материалом;

– торф имеет приемлемые показатели воздухопроницаемости, поэтому строительные конструкции стен будут «дышать»;

– предел прочности при сжатии 10,7–12,0 кг/см^2 [11].

В настоящее время проводятся активные исследования торфа в плане улучшения свойств изготавливаемых из него строительных материалов [12].

Заключение. Определение наиболее приемлемых характеристик и их использование для оценки качества торфа существенно упрощаются при наличии установленных связей между признаками состава и свойств торфа.

Анализ свойств торфа и строительных изделий на его основе показал перспективность применения этого природного материала в качестве сырья для производства. Расширение области применения торфа в качестве основного компонента при производстве строительно-теплоизоляционных материалов многофункционального назначения определило актуальность дальнейших исследований в данной области.

Литература

1. О развитии торфяной промышленности [Электронный ресурс] / ГПО «Белтопгаз». – Режим доступа: https://www.topgas.by/content/sobytiya/novosti/156__o_razvitii_torfyanoy_promyshlennosti_gpo_beltopgaz_/?sphrase_id=6111/.
2. Государственная программа «Торф» на 2008–2010 годы и на период до 2020 года, утверждена постановлением Совмина от 23.01.2008 № 94.
3. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки // А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск : «Беларуская навука», 2009. – 328 с.
4. Биологически активная кормовая добавка с сорбционными свойствами для поросят-отъемышей / А. Э. Томсон [и др.] // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 249–261.
5. Для чего используется торф [Электронный ресурс] / «Строй-подсказка». – Режим доступа: https://stroy-podskazka.ru/torf/dlya-chego-ispolzuetsya.
6. Копаница, Н. О. Структурное моделирование свойств торфа как сырья для производства строительных материалов / Н. О. Копаница // Вестник ТГАСУ. – 2010. – № 2. – С. 162–168.
7. Лиштван, И. И. Физические свойства торфа и торфяных залежей / И. И. Лиштван. – Минск : Наука и техника, 1985. – 239 с.
8. Торфяные ресурсы Томской области и пути их использования в строительстве / Л. В. Касицкая [и др.]. – Томск : STT, 2007. – 290 с.
9. Использование торфа в строительстве [Электронный ресурс] // Digest Vizard – Режим доступа: https://digest. wizardsoft.ru/articles/ tech/ispolzovanie-torfa-v-stroitelstve.
10. Применение торфа [Электронный ресурс] // Грунтовозов. – Режим доступа: https://gruntovozov.ru/chasto-zadavayemiye-voprosy/primenenie-torfa/#primenenie-torfa-v-stroitelstve.
11. Использование торфа в строительстве [Электронный ресурс] // RMNT.RU. – Режим доступа: https://www.rmnt.ru/story/isolation/ispolzovanie-torfa-v-stroitelstve.1559726.
12. Чернюк, Н. В. Органические теплоизоляционные материалы в современном строительстве / Н. В. Чернюк, А. Н. Пехота // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте : материалы III Республ. науч.-техн. конф., Минск, 27–28 апреля 2023 г. / М-во образования Респ. Беларусь [и др.]. – Минск : БНТУ, 2023. – С. 19–23.

УДК 656

Исследование мирового автопарка гибридных автомобилей

Порохня А. А., канд. техн. наук, доцент; Оганисян А. П.
Северо-Кавказский Федеральный Университет
355017, Россия, г. Ставрополь, ул. Кулакова, 2

Аннотация. Гибридные автомобили – это электромобили, в которых используются небольшие двигатели внутреннего сгорания и электрогенератор. Преимущества этой концепции очевидны: повышенная топливная экономичность и снижение уровня загрязнения без усложнений и требований к техническому обслуживанию, характерных для автомобиля с чисто электрическим приводом. В этой статье представлен анализ конструктивных схем гибридных автомобилей, рассмотрен мировой рынок гибридных транспортных средств.
Ключевые слова: автомобили, гибридные автомобили, топливная экономичность, экологическая чистота, высоковольтная батарея, электрогенератор, электромобили, мотор-генератор.

Hybrid Electric Vehicles: A History of Technological Innovation

Porokhnya A. A., Oganisyan A. P.
North Caucasus Federal University

Annotation. Hybrid vehicles are electric cars that utilize small internal-combustion engines and an electric generator. The advantages of this concept are clear: increased fuel efficiency and reduced levels of pollution without the complications and maintenance requirements of a purely electrical-powered vehicle. This article presents an analysis of the design diagrams of hybrid vehicles and examines the global market for hybrid vehicles.
Keywords: cars, hybrid cars, fuel efficiency, environmental friendliness, high-voltage battery, electric generator, electric vehicles, motor-generator.

Введение. В последнее время наблюдается большой ажиотаж по поводу выхода гибридных автомобилей на российский потребительский рынок. Может показаться, что гибридная концепция является относительно новой для автомобильной промышленности, но это неправда. Почти столетие назад, в 1904 году, концепция была задумана американским инженером Х. Пайпером [1].

В течение многих лет концепция широко игнорировалась, в первую очередь из-за высоких затрат на разработку и неопределенности относительно широкого распространения электромобилей. Хотя первоначальная концепция Пайпера оказалась неудачной, его идея позже положила начало инновации.

Основная часть. Нынешнее стремление к гибридным технологиям кажется естественным развитием, если учесть многочисленные преимущества, которые они имеют перед традиционными автомобилями. Многие рассматривают эти автомобили как компромисс между электромобилями и обычными автомобилями

внутреннего сгорания и, таким образом, предполагают снижение выбросов на 50 % по сравнению с традиционными автомобилями. Фактически, при расчете на основе полного топливного цикла гибриды обеспечивают почти те же преимущества по выбросам, что и электромобили, по сравнению с современными автомобилями [2]. Если учесть загрязнение от источника, который заряжает аккумуляторы, электромобиль загрязняет окружающую среду примерно в десять раз меньше, чем обычный автомобиль с двигателем внутреннего сгорания. Гибрид может загрязнять окружающую среду примерно на одну восьмую. Более того, гибридный автомобиль обеспечивает высокую топливную экономичность.

Способность гибридных технологий расширять радиус действия гибридного автомобиля во многом зависит от их способности оптимизировать эффективность гибридной силовой установки. Большинству гибридных транспортных средств требуется полная мощность на колесах только для очень коротких рывков. Хотя максимальная мощность большинства новых автомобилей, продаваемых сегодня в России, составляет более ста киловатт, средняя мощность, фактически используемая при движении по городу и шоссе, составляет всего около 7,5 киловатт. При такой обычно небольшой нагрузке КПД двигателя очень низкий – обычно не выше 20 % [3]. В гибридной концепции очень маленький первичный двигатель, работающий с почти максимальной эффективностью, генерирует этот небольшой уровень мощности. Мощность двигателя внутреннего сгорания гибрида обычно колеблется от одной десятой до одной четверти мощности аналогичного автомобиля. В дополнение к этой конфигурации, обычно электрической, используется дополнительная трансмиссия, которая применяется при различных дорожных нагрузках [4].

Выбор типа силовой установки в новых гибридных автомобилях практически не ограничивает возможности трансмиссии. По расположению элементов гибридной силовой установки различают последовательные, параллельные и последовательно-параллельные гибридные автомобили. Гибридные автомобили, эксплуатируемые в Российской Федерации, в основном имеют последовательно-параллельное расположение элементов гибридной силовой установки [5].

В последовательной схеме колеса приводятся в движение электромотором (ЭМ), а двигатель внутреннего сгорания вращает генератор, который вырабатывает электроэнергию. На рис. 1 представлена схема автомобиля с последовательным расположением элементов гибридной силовой установки [6].

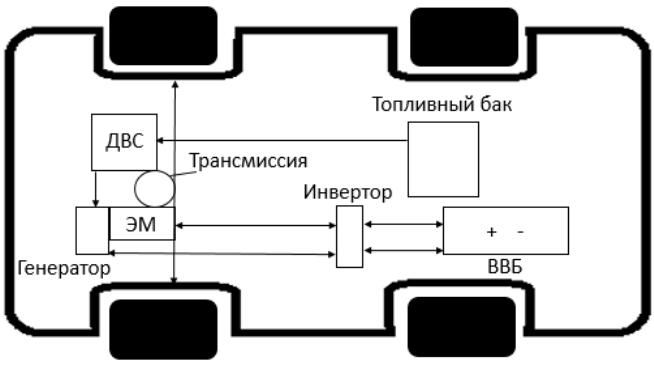


Рис. 1. Схема автомобиля с последовательным расположением элементов гибридной силовой установки

Параллельная схема расположения элементов гибридной силовой установки предполагает независимую работу двигателя внутреннего сгорания от электродвигателя. Двигатель внутреннего сгорания связан с механической трансмиссией, а электромотор выполняет функцию мотор-генератора (МГ) и маховика [7]. По шоссе автомобиль движется с помощью двигателя внутреннего сгорания, который также заряжает высоковольтную батарею от мотор-генератора. При ускорении оба двигателя включаются в работу, при этом каждый источник энергии вносит свой вклад в суммарную мощность [8]. В процессе торможения двигателем происходит возврат энергии в высоковольтную батарею. Конструктивная схема параллельного гибридного транспортного средства представлена на рис. 2.

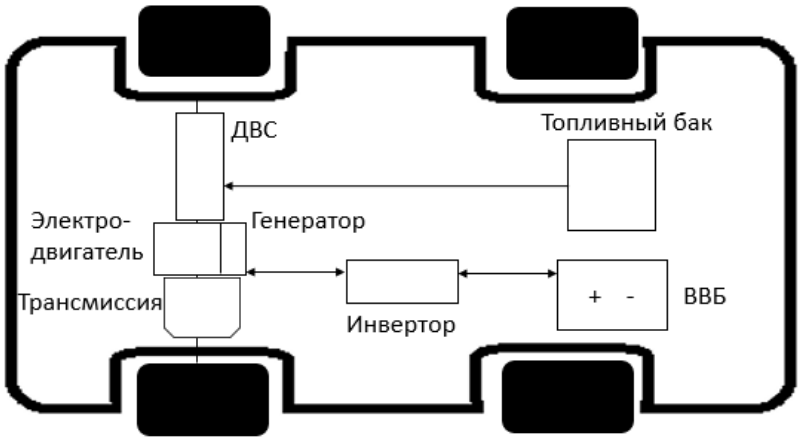


Рис. 2. Конструктивная схема параллельного
гибридного транспортного средства

Последовательно-параллельное расположение элементов гибридной силовой установки встречается у большинства гибридных автомобилей. В состав схемы входят электромотор-генератор (МГ1), мотор-генератор (МГ2), инвертор Ин1, инвертор Ин2 и тяговая высоковольтная батарея [9]. Схема может работать последовательно при низких скоростях и параллельно при больших ускорениях. На рис. 3 представлена схема с последовательно-параллельным расположением элементов гибридной силовой установки.

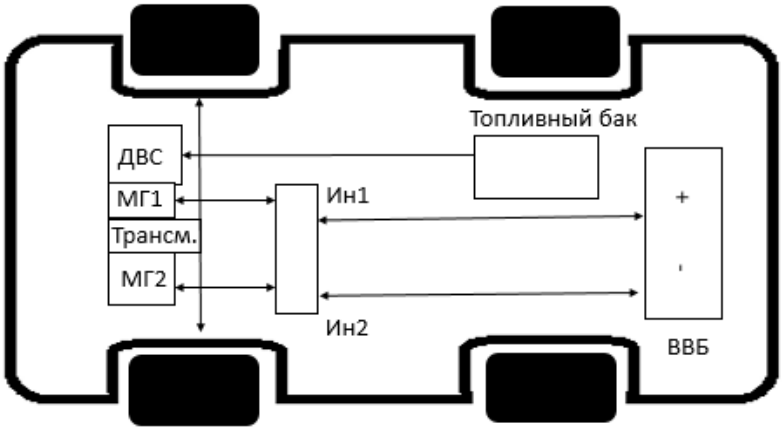


Рис. 3. Смешанная схема расположения элементов
гибридной силовой установки

По степени гибридизации (табл. 1) различают: микро-гибриды, мягкие гибриды, полные гибриды и подзаряжаемые гибриды.

Таблица 1. Классификация гибридных автомобилей по уровню гибридизации

Тип гибридного автомобиля	Степень гибридизации, %
Микро-гибрид	до 10
Мягкий гибрид	10–20
Полный гибрид	20–50
Подзаряжаемый гибрид	50–75

Довольно сложно оценить количество гибридных автомобилей, проданных по всему миру. Есть только статистика продаж по отдельным странам. На сегодняшний день наибольшее количество гибридных автомобилей продается в Японии, где общий объем продаж составляет примерно 8 млн единиц. Самыми популярными японскими гибридными автомобилями в 2022 году являются Toyota Prius, Toyota Aqua, Honda Civic Hybrid, Nissan Note, Honda Fit.

Вторыми по объему реализованных гибридных автомобилей являются США, где общий объем продаж составил 5,9 миллиона автомобилей до декабря 2022 года. Доля продаж гибридных автомобилей на рынке США составляет около 36 % от общего объема продаж гибридных автомобилей во всем мире. Этот сегмент рынка представлен большим количеством различных брендов. Из 32 моделей гибридных автомобилей, доступных в 2022 году, самыми популярными были Toyota RAV4, Ford Fusion и Toyota Prius. С 2005 года Ford продал около 400 000 гибридных автомобилей. При этом Ford Escape Hybrid считается одним из самых экономичных кроссоверов со средним расходом топлива в городе (по трассе) – 6,9 (7,5) л/100 км. Одним из самых экономичных полноразмерных седанов на сегодняшний день является Ford Fusion Hybrid, средний расход которого составляет 5,7 (6,5) л/100 км по городу (шоссе).

Европейские страны начали интересоваться гибридными автомобилями только с 2006 года, вследствие этого европейский парк гибридных автомобилей меньше, чем в США. Согласно статистике продаж, в Европе было реализовано около 3 млн. автомобилей с гибридными силовыми установками. В настоящее время около наибольшим спросом среди гибридных автомобилей в Европе пользуются автомобили марок Toyota и Lexus, 25 % – автомобили марок Honda, 15 % – гибридные автомобили европейского производства.

В Китае насчитывается примерно 1 млн. гибридных автомобилей, среди которых наиболее популярны такие марки автомобилей, как Chery и BYD.

Российский автопарк насчитывает более 44,1 млн легковых автомобилей, в том числе 82 000 гибридных автомобилей. Реализация автомобилей с гибридными силовыми установками в России началась в 2007 году. Сегодня парк российских гибридных автомобилей представлен японскими брендами, самым популярным среди которых является Toyota Prius. Их в России зарегистрировано 52 800 единиц, что составляет почти 64 % автопарка. Вторую строчку занимает Lexus RX (6,5 тыс. автомобилей, 8 %). Третью строчку занимает Toyota Aqua (6,3 тыс., 7,8 %). Наиболее популярными неяпонскими гибридными автомобилями являются Ford Escape, Mercedes-Benz S-Class и BMW X6 [10]. Изучив

статистику продаж гибридных автомобилей по всему миру, мы делаем вывод, что численность мирового автопарка гибридных автомобилей увеличивается примерно на 3 млн. шт. за каждые 5 лет.

Заключение. Гибридные автомобили набирают популярность среди покупателей, поскольку они предлагают следующие преимущества:

1. Экономия топлива. Гибридные автомобили потребляют в среднем 6,5 л/100 км в городе и 4,8 л/100 км за городом.

2. Экологическая безопасность. Гибридные автомобили считаются экологически чистым транспортом, поскольку использование электродвигателя уменьшают количество вредных выхлопных газов, выбрасываемых в окружающую среду.

3. Государственные льготы на покупку экологических автомобилей. Во многих странах существуют субсидии на покупку гибридных и электрических транспортных средств.

В отрицательную сторону отмечается: высокая сложность гибридного автомобиля; цена на данный автомобиль значительно превышает цену на автомобиль, имеющий двигатель внутреннего сгорания; аккумуляторные батареи подвержены саморазряду; ремонт гибрида значительно превышает ремонт автомобиля, оснащенного двигателем внутреннего сгорания [11]. Таким образом, можно сделать вывод о том, что автомобиль, который оснащен гибридной силовой установкой, не решает все проблемы, однако является ключевым звеном, которое устраняет проблему, связанную с выбросом вредных веществ в атмосфере, помимо этого гибридные технологии дадут возможность проработать такие ключевые технические компоненты, как компактность аккумуляторов, технологию быстрой зарядки от внешних источников, облегченность кузовов [12].

Литература

1. Оганисян, А. П. Автомобили с гибридными силовыми установками-решение экологических и экономических проблем / А. П. Оганисян, А. А. Порохня // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в техносфере и защиты населения и территорий в чрезвычайных ситуациях : сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции, Ставрополь, 24–25 мая 2021 года. – Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2021. – С. 117–120.

2. Кичигин, С. Ю. Повышение эффективности технической эксплуатации автомобилей путем оптимизации квалификации состава ремонтных рабочих : автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.22.10 / С. Ю. Кичигин. – М., 2011. – 29 с.

3. Кустиков, А. Д. Обоснование корректирования периодичности обслуживаний коробок передач автобусов для условий дорог с переменным продольным профилем: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.22.10 / А. Д. Кустиков. – М., 2015. – 32 с.

4. Володькин, П. П. Оптимизация транспортного обслуживания населения муниципальных образований с учетом социальных факторов: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 05.22.10 / П. П. Володькин. – М., 2011. – 34 с.

5. Маврин, В. Г. Совершенствование системы обслуживания автомобилей путем оптимизации территориального размещения автосервисных предприятий: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.22.10 / В. Г. Маврин. – М., 2010. – 31 с.

6. Слитников, К. Л. Обоснование периодичности предупредительных ремонтов автомобильных ДВС с целью сокращения эксплуатационных затрат: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.22.10 / К. Л. Слитников. – М., 2013. – 28 с.

7. Крамаренко, Г. В. Техническая эксплуатация автомобилей – М. : Транспорт, 1983. – 487 с.

8. Ушанов, В. А. Исследование и оптимизация параметров системы технического обслуживания и ремонта машин и их использование при прогнозировании технических услуг в АПК Восточной Сибири: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 05.22.10 / В. А. Анисимович. – М., 2000. – 18 с.

9. Живов, С. В. Методика оптимизации периодичности технического обслуживания автомобилей-такси: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / С. В. Живов. – М., 2008. – 26 с.

10. Раков, В. А. Методика оценки технического состояния гибридных силовых установок автомобилей: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.22.10 / В. А. Раков. – СПб., 2012. – 27 с.

11. Иванов, Б. В. Управление техническим обслуживанием машин / Б. В. Иванов. – М. : Машиностроение, 2009. – 160 с.

12. Рыбаков, М. П. Как построить надежную систему из надежных элементов / М. П. Рыбаков. – М. : Гостехиздат, 2015. – 523 с.

УДК 624.04

Постнапряжение в построечных условиях

Послед (Андронова) Е. Ю.; Зверев В. Ф., канд. техн. наук, профессор
Белорусский национальный технический университет,
220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65

Аннотация. В последнее время в практике строительства по всему миру постнапряженные перекрытия широко используются при возведении зданий. Использование технологии постнапряжения в плоских плитах перекрытия, наряду с простотой ее реализации и высокой надежностью, позволяет снизить расход арматуры в 1,7 раза, а расход бетона – на 20–30 % по сравнению с обычными железобетонными перекрытиями. Постнапряжение позволило увеличить пролеты, повысить трещиностойкость, жесткость и значительно снизить собственный вес конструкций, сделав их более экономичными. Существенным преимуществом этой технологии является ее использование высоких прочностных свойств напрягаемой арматуры. Применение постнапряжения в построечных условиях дает возможность решать недостатки монолитного строительства за счет использования прогрессивных строительных технологий и современных конструктивных решений возведения зданий. В Республике Беларусь метод предварительного напряжения бетона в построечных условиях применялся лишь при строитель-

стве торгового центра «Galleria Minsk» (пр-т Победителей, 9, Минск) и автовокзала «Центральный» в г. Минске.

Ключевые слова: технология постнапряжения, арматурные канаты, расчетные комплексы, монолитные железобетонные перекрытия.

Post-stress in building conditions

Posled (Andronova) E. Yu., Zverev V. F.
Belarusian National Technical University

Annotation. Recently, in construction practice around the world, post-tensioned floors are widely used in the construction of buildings. The use of post-tensioning technology in flat floor slabs, along with the ease of its implementation and high reliability, makes it possible to reduce the consumption of reinforcement by 1.7 times, and the consumption of concrete by 20–30 % compared to conventional reinforced concrete floors. Post-tensioning made it possible to increase spans, increase crack resistance, stiffness and significantly reduce the dead weight of structures, making them more economical. A significant advantage of this technology is its use of high strength properties of prestressed reinforcement. The use of post-tensioning in construction conditions makes it possible to solve the disadvantages of monolithic construction through the use of progressive construction technologies and modern design solutions for building construction. In the Republic of Belarus, the method of prestressing concrete under construction conditions was used only in the construction of the Galleria Minsk shopping center (9 Pobediteley Avenue, Minsk) and the Central bus station in Minsk.

Keywords: post-stress technology, reinforcing ropes, calculation complexes, monolithic reinforced concrete overlap.

Введение. Постнапряжение (от англ. «post-tension» – буквально «последующее напряжение» или «post-tensioned concrete» – «бетон с последующим напряжением»). Термин вошел в строительную практику относительно недавно, вместе с распространением технологии предварительного напряжения железобетонных конструкций в построечных условиях.

В общих чертах, термины «постнапряжение» и «преднапряжение» в Республике Беларусь имеют одинаковый смысл. В зарубежной проектной терминологии процесс, при котором происходит искусственное обжатие по периметру строительной конструкции (например, перекрытия), называется постнапряжением.

Существенное отличие применяемых технологий заключается в том моменте, когда происходит натяжение арматуры. В постнапряженном бетоне натяжение арматуры происходит на площадке, во время строительства.

Бетон, к которому приложены внутренние дополнительные сжимающие усилия с целью компенсировать и уменьшить внешние растягивающие напряжения, которым он подвергается от внешних нагрузок, называется бетоном с постнапряжением. В зависимости от типа конструкции постнапряжение может выполняться как без сцепления, так и со сцеплением напрягаемой арматуры с бетоном.

Результаты и их обсуждение. Постнапряжение (обжатие) железобетона конструкции производится после заливки бетона при наборе им определенной прочности. Предварительно уложенные в конструкции арматурные канаты натягиваются и закрепляются анкерами на торцах конструкции. В результате напрягаемая арматура воспринимает нагрузки, которые оказывают на нее внешние силы в течение всего срока службы сооружения. При необходимости имеется возможность дополнительно осуществлять корректировку усилий в напрягаемой арматуре.

В случае постнапряжения без сцепления с бетоном напрягаемая арматура может свободно перемещаться в каналах (оболочках). Усилия передаются на бетон при помощи специальных анкеров, которые устанавливаются на торцы железобетонного элемента. Чтобы предотвратить сцепление арматуры с бетоном и не допустить ее коррозии, напрягаемую арматуру помещают в пластиковую оболочку, покрытую специальным слоем полимера, который способствует уменьшению трения, возникающего между арматурой и оболочкой.

При использовании метода постнапряжения со сцеплением арматуры с бетоном, конструкция (например, перекрытие) может выдержать усилия при обрыве арматуры в теле бетона. Это играет важную роль в том случае, когда есть необходимость вскрыть перекрытие или существует вероятность повреждения части конструкции при эксплуатации, террористическом акте, огневом или ином воздействии. Например, после того, как в Останкинской телевышке произошел пожар, были выполнены работы по замене канатов. Система постнапряжения при налаженном мониторинге с помощью датчиков предотвращает возможность случайного обрыва постнапряженных канатов.

На основании вышеизложенного, можно выделить следующие преимущества постнапряжения:

1) возможность не только уменьшить размеры поперечного сечения элементов, но и увеличить пролеты, тем самым экономя материалы и затраты;

2) после завершения строительства он практически не требует технического обслуживания;

3) уменьшение деформаций перекрытия;

4) снижается общий вес конструкции, что чрезвычайно важно для районов с повышенной сейсмической активностью;

5) благодаря уменьшению растрескивания, основной причиной которого являются именно силы растяжения, бетон становится менее чувствительным к внешним факторам, что значительно продлевает срок службы несущих элементов.

40-летняя европейская и американская практика применения постнапряженных плит перекрытия показала, что данная технология позволяет сократить толщину плиты с 1/30 пролета до 1/40–1/45 пролета. Одновременно достигается уменьшение армирования до 35 % ненапрягаемой арматуры и до 10–15 % напрягаемых канатов на кубический метр. Экономический эффект от использования технологии постнапряжения наглядно показан на диаграмме по данным ООО «Следящие ТестСистемы», РФ [15].

Среди наиболее распространенных областей применения подобных систем в практике являются конструкции фундаментных плит, монолитных перекры-

тий, а также конструкции промышленных бетонных полов производственных зданий и торговых центров.

Ярким примером применения этого метода строительства в Беларуси является многоуровневая автостоянка в комплексе с автовокзалом «Центральный» в г. Минске, а также торгово-развлекательный центр «Galleria» в г. Минске. В них плиты перекрытий были выполнены с использованием постнапряженного железобетона.

Проект уникального здания автовокзала в г. Минске был разработан проектным институтом «Моноракурс» во главе с И. П. Дубатовка при научном сопровождении БНТУ под руководством доктора технических наук, профессора Пастушкова Г. П., а также кандидата технических наук, доцента Пастушкова Г. П. После тщательного обследования, уточнения надежности и долговечности несущих элементов объекта выполнен комплекс экспериментальных исследований при натяжении напрягаемой арматуры на бетон и объект введен в эксплуатацию. Это позволило увеличить шаг колонн, необходимый для разворота автобусов. Несущие конструкции монолитных железобетонных перекрытий выполнены с предварительным напряжением в построечных условиях. Данная технология при возведении монолитных железобетонных перекрытий применена в Республике Беларусь впервые [13].

Современное строительство ставит перед проектировщиками новые, более сложные задачи при проектировании зданий и сооружений и предъявляет совсем иные требования, о которых раньше даже не задумывались.

Перечислим основные:

1) реконструкция и реставрация прежде возведенных зданий и сооружений;

2) необходимость проектирования объектов в кратчайшие сроки;

3) увеличение объема вновь проектируемых сооружений;

4) загруженность новых объектов и окружающей их инфраструктуры инженерными коммуникациями и оборудованием;

5) потребность в экологичном и энергоэффективном проектировании ввиду растущего уровня загрязнения окружающей среды;

6) непременность расчета при проектировании нового сооружения его эксплуатационных показателей;

7) потребность обеспечения интернациональной и международной кооперации в проектировании;

8) необходимость сделать проект наименее дорогостоящим и более рентабельным, стабильным в кризисной ситуации в экономике, за счет создания импортозамещения.

Все вышеуказанное ведет к тому, что в настоящее время наиболее востребована информационная модель нежели бумажный проект проектируемых зданий и сооружений. Такая модель является не только аналогом обычного макета, созданного с помощью программного обеспечения, отражающего лишь формы объекта, но и полной информационной копией здания со всей его «начинкой», с количественными геометрическими и технологическими характеристиками конструкции, материалов и оборудования. Актуальность информационной модели сохраняется во время всего жизненного цикла объекта. В соответствии с этим данные должны быть объединены в единое целое и комплексно изменять-

ся с учетом внесенных в них дополнений, автоматически влияющих на изменения во всей модели при изменении мельчайших деталей.

Однако, несмотря на очевидное наличие объективных положительных факторов использования информационных технологий при проектировании и строительстве объекта, применение данных технологий не гарантирует быстрых результатов. С помощью информационных технологий невозможно оставаться в рамках классических подходов в управлении проектами, которые разрабатывались на протяжении многих лет. Качество, глубина и сроки внедрения этих технологий в строительную индустрию имеют огромное значение.

Все программы, основанные на методе конечных элементов, можно условно разделить на 2 группы. К первой группе относятся сложные и дорогостоящие программные комплексы с отличными функциональными возможностями. Такие программы активно зарекомендовали себя благодаря высокой точности исследований, проводимых в различных отраслях. Вторая группа программ разрабатывается как частные решения для специализированных задач в необходимой области исследования. Это свидетельствует о желании разработчиков создать более простой и компактный инструмент для работы.

Такие программы, как ANSYS, ABAQUS, COSMOS, являются тяжелыми зарубежными программными комплексами, которые широко применяются в машиностроении, аэрокосмической промышленности и энергетике. Для расчетов в гражданском, промышленном и транспортном строительстве в нашей стране распространены разрабатываемые в странах СНГ специализированные пакеты, такие, как SCAD Office, «Лира», Robot и другие.

ПК ЛИРА-САПР в настоящее время применяется в качестве расчетного комплекса в Республике Беларусь, что является весомым вкладом в импортозамещении.

Рассмотрению технологии постнапряжения в строительной отрасли посвящены научные труды многих российских исследователей. Александр Морозов в своей статье [12] наглядно продемонстрировал два подхода к расчету плит перекрытия с использованием постнапряжения. Инструментарий BIM, реализованный в программе Revit Structure, позволяет создавать сложные конструкции и задавать данные для расчета постнапряжения в них, используя как метод эквивалентных сил, так и метод отрицательных температур, а затем передавать построенную модель для расчета в Robot Structural Analysis Professional.

В качестве примера была рассмотрена плита перекрытия 9×6 м без сцепления с бетоном (рис. 1).

При использовании метода эквивалентных сил (рис. 2–4) физическое моделирование каната не требуется, действие заменяется силами обжатия и отпора, приложенными в качестве внешних сил к перекрытию в Revit. Этот метод достаточно точен и активно используется для моделирования конструкций с постнапряжением.

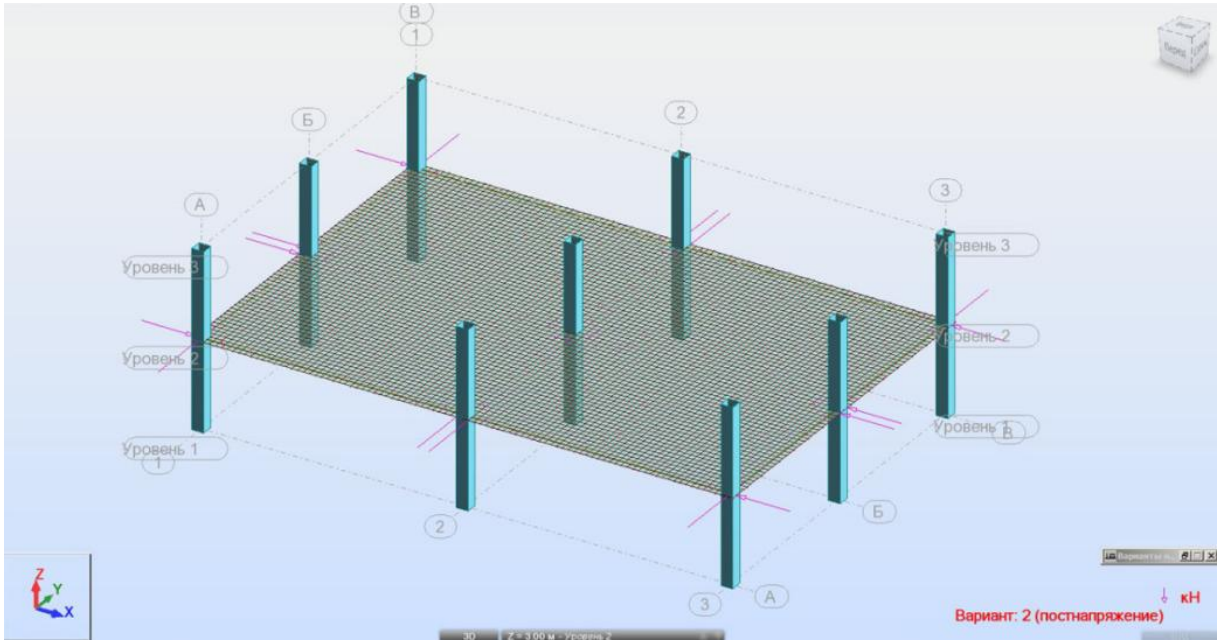


Рис. 1. Конечно-элементная модель плиты перекрытия 9×6 м с приложенными силами, моделирующими постнапряжение (без сцепления с бетоном)

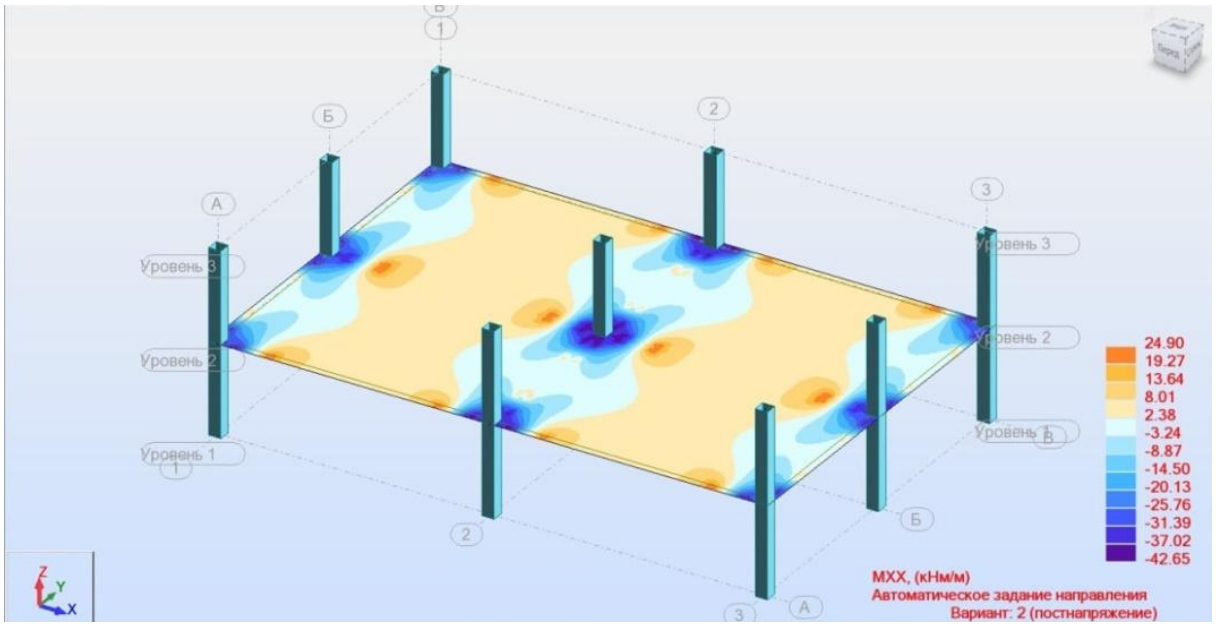


Рис. 2. Результаты расчета в Robot поля моментов Mxx.
Метод эквивалентных сил

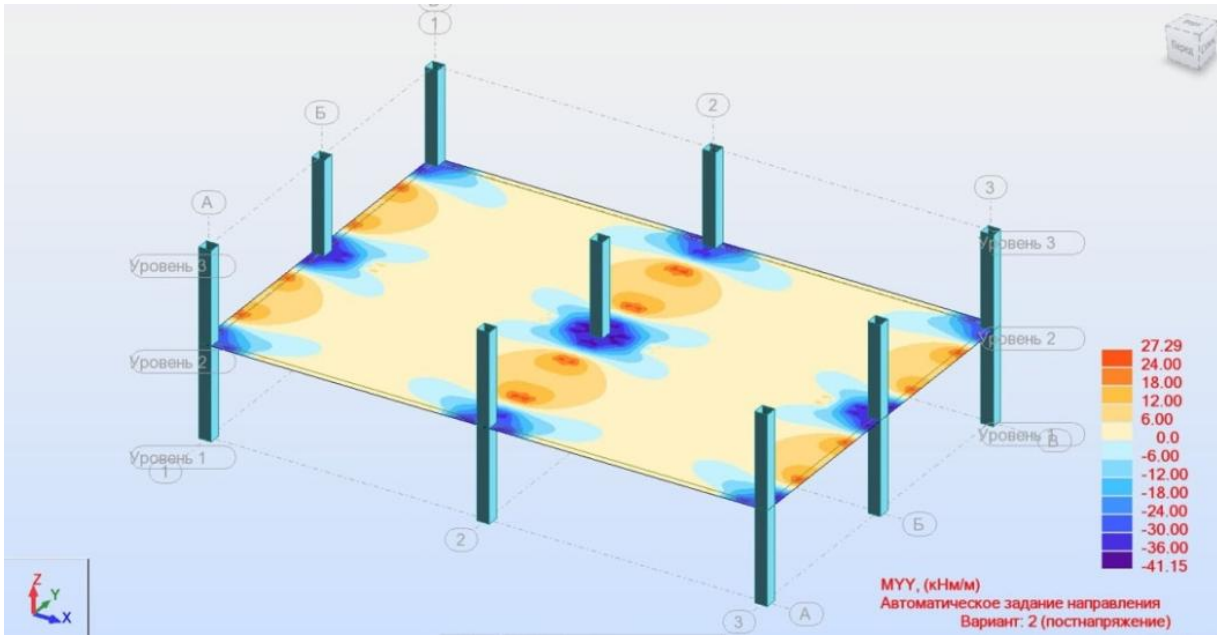


Рис. 3. Результаты расчета в Robot поля моментов Myy.
Метод эквивалентных сил

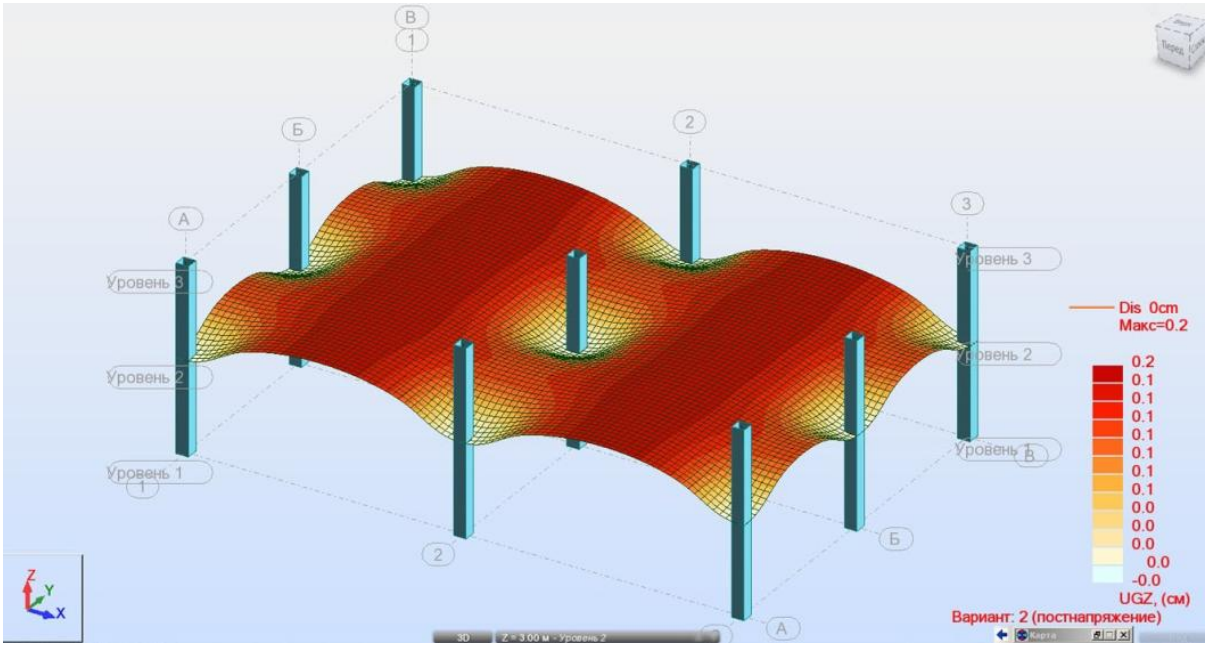


Рис. 4. Характерные деформации выгиба плиты перекрытия от постнапряжения (деформации увеличены в 100 раз). Метод эквивалентных сил

При использовании метода отрицательных температур (рис. 5–7) моделируется напрягаемый канат со всеми характеристиками непосредственно в Revit, а затем канатам задавать предварительно рассчитанную отрицательную температуру в Robot Structural Analysis Professional. Этот метод является более точным, чем предыдущий, но и более трудоемким в использовании, так как приходится работать с моделью в Robot Structural Analysis Professional.

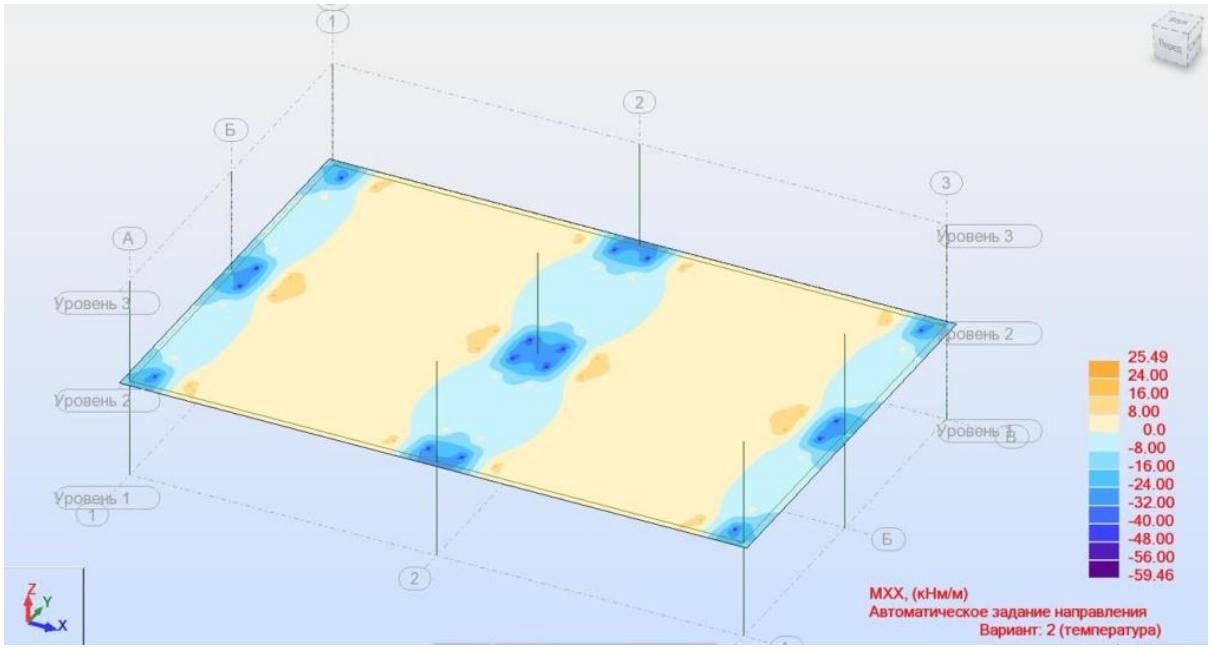


Рис. 5. Результаты расчета в Robot. Поля моментов Mxx.
Метод отрицательных температур

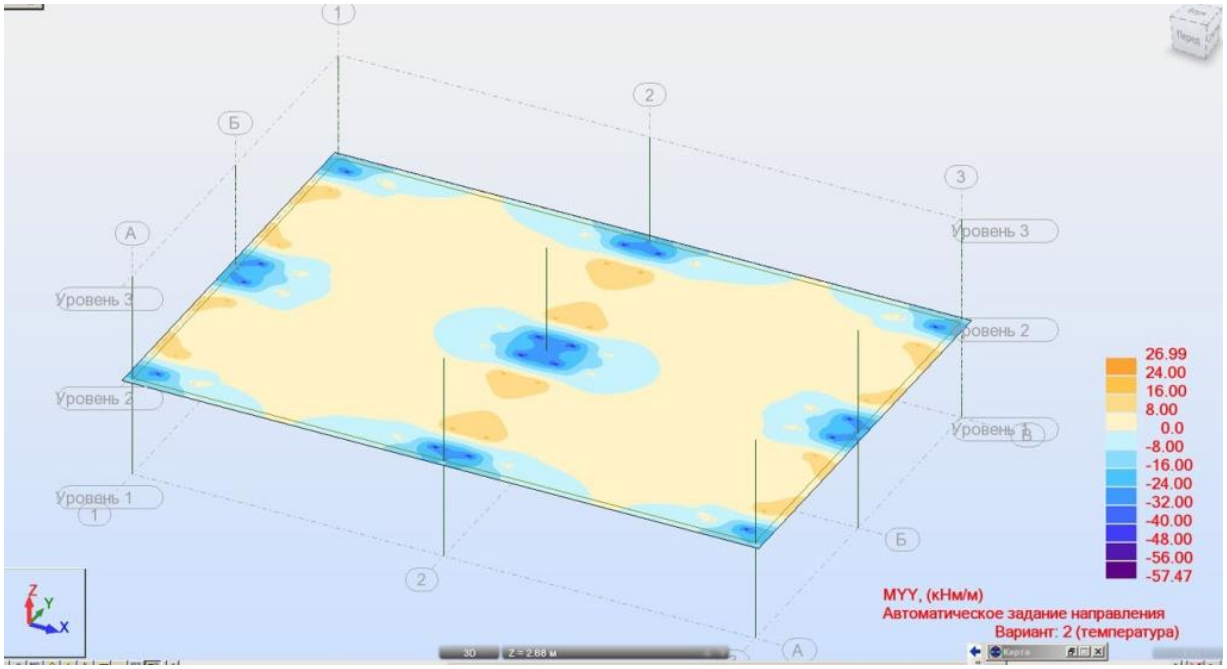


Рис. 6. Результаты расчета в Robot. Поля моментов Myy.
Метод отрицательных температур

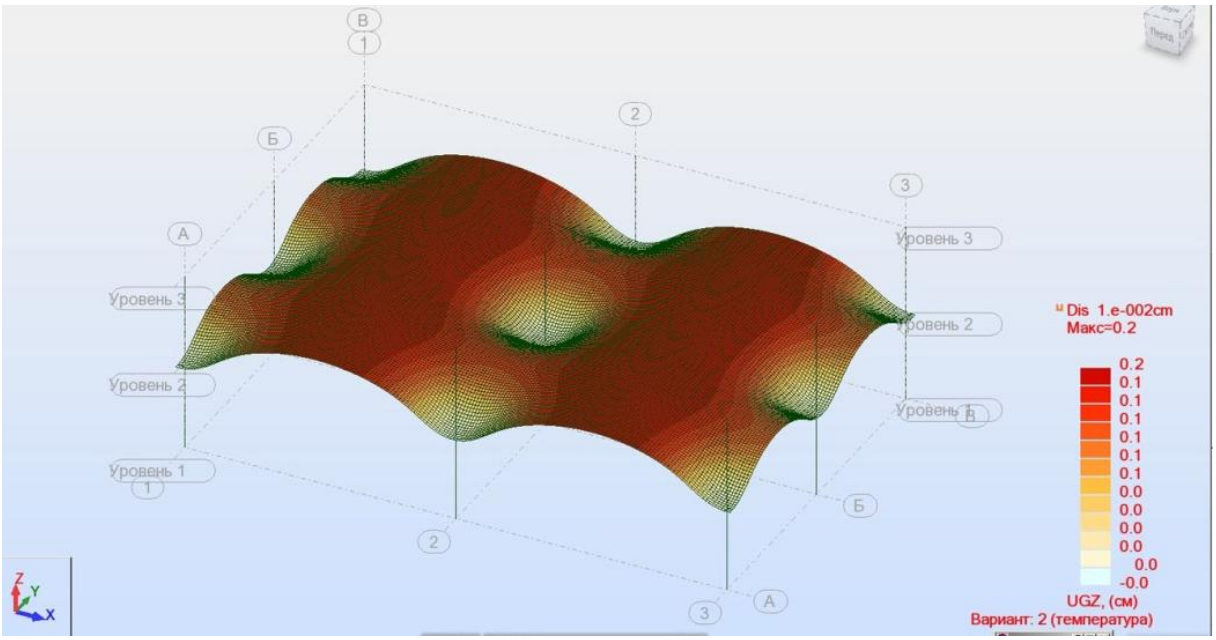


Рис. 7. Характерные деформации выгиба плиты перекрытия от постнапряжения (деформации увеличены в 100 раз). Метод отрицательных температур

При проверках предельного состояния несущей способности в расчетных сочетаниях эффектов воздействий учитывают только вторичные эффекты постнапряжения, создаваемые в конструктивной системе эквивалентными равномерно распределенными нагрузками. Первичные эффекты постнапряжения (продольные усилия и изгибающие моменты от усилия обжатия) учитывают в модели сопротивления сечений (п. 4.2.3.4 [16]).

Описание методики моделирования постнапряжения и расчет гражданских конструкций: «стены в грунте», железобетонные покрытия, а также при усилении конструкций зданий – представлены в работе Д. В. Портаева [11]. Приведены примеры расчета, основные параметры оборудования и систем преднапряжения, а также примеры реализованных конструкций. Затронуты вопросы сравнения отечественных и зарубежных расчетных методик, анализа экономической целесообразности применения преднапряженных конструкций, производства работ по преднапряжению. Особое внимание автор уделил анализу распределения деформаций в конструкциях, преднапрягаемых канатной арматурой как без сцепления с бетоном, так и со сцеплением с ним. Портаевым приведены технико-экономические сравнения преднапряженного и непреднапряженного монолитного железобетонного перекрытия и наглядно показаны эффективность и целесообразность использования методики постнапряжения в монолитных железобетонных перекрытиях.

Балушкин А. Л. в своей работе [1] подробно описал последовательность расчета постнапряженного железобетонного элемента перекрытия. Предлагаемый подход позволяет учитывать как «традиционный» – распределенный тип контакта арматуры и бетона, так и дискретный тип контакта арматурного элемента, который нашел применение в настоящее время в конструкциях с постнапряжением. Предложенный автором метод позволил определять усилие в арматуре для железобетонных элементов, имеющих разрушенный защитный слой

на торцевых участках, а также с гибридным контактом – распределенный контакт по всей длине элемента, дополнительно усиленный в дискретных точках.

Заключение. Плиты постнапряженных перекрытий, выполненных с натяжением напрягаемой арматуры на бетон, обладают целым рядом преимуществ и благодаря этому составляют значительную долю в мировой практике проектирования зданий и сооружений.

Использование технологии постнапряжения позволяет не только значительно сократить расход материалов, но и снизить собственную массу конструкций перекрытий, увеличить пролеты, а также приводит к снижению экономических затрат на строительство.

Литература

1. Балушкин А. Л. Железобетонные конструкции с различными способами фиксации арматурных элементов / А. Л. Балушкин // Умные композиты в строительстве. – 2021. – Т. 2, № 3. – С. 7–21

2. Дзюба, И. С. Усиление строительных конструкций с использованием постнапряженного железобетона [Электронный ресурс] / И. С. Дзюба, Н. И. Ватин, В. Д. Кузнецов / Инженерно-строительный журнал, № 3, 2009. – Режим доступа: https://engstroy.spbstu.ru/userfiles/files/2008/1(1)/01.pdf.

3. Денисенко, И. В. Преимущества и особенности применения технологии постнапряжения железобетонных конструкций / И. В. Денисенко // Современные вопросы технологии строительного производства : материалы 74-й студенческой научно-технической конференции, 21 мая 2018 г. / Белорусский национальный технический университет; ред. колл.: С. Н. Леонович, А. И. Сидорова, Г. Т. Широкий. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 25–32.

4. Леонович, С. Н. Новые технологии и материалы для строительной индустрии / С. Н. Леонович // Современные проблемы внедрения европейских стандартов в области строительства : сборник Международных научно-технических статей (материалы научно-методической конференции), 27–28 мая 2014 г. В 2 ч. / ред. колл.: В. Ф. Зверев, С. М. Коледа, С. Н. Делендик. – Минск : БНТУ, 2015. – Ч. 2. – С. 54–57.

5. Леонович, С. Н. Технология предварительного напряжения железобетонных конструкций в построечных условиях / С. Н. Леонович, И. И. Передков, А. И. Сидорова. – Минск : БНТУ, 2018. – 279 с.

6. Образцов, О. Л. Опыт и перспективы выполнения предварительного напряжения конструкций в построечных условиях на примере устройства фундаментной плиты / О. Л. Образцов, Н. В. Дорогокупец / ОДО «БрИГ». – Режим доступа: http://www.brig.by/node/10.

7. Передков, И. И. Предложение по повышению надежности и снижению стоимости конструкций фундаментов здания паркинга / И. И. Передков, С. Н. Леонович // Современные проблемы внедрения европейских стандартов в области строительства : сборник Международных научно-технических статей (материалы научно-методической конференции), 27–28 мая 2014 г. В 2 ч. / ред. колл.: В. Ф. Зверев, С. М. Коледа, С. Н. Делендик. – Минск : БНТУ, 2015. – Ч. 1. – С. 219–223.

8. Передков, И. И. Сравнительный анализ результатов армирования монолитной железобетонной плиты перекрытия плоскими арматурными сетками и стальными канатами с предварительным напряжением в построечных условиях / И. И. Передков // Современные методы расчетов и обследований железобетонных и каменных конструкций: материалы 68-й студенческой научно-технической конференции, 15 мая 2012 г. / Белорусский национальный технический университет ; ред. В. Ф. Зверев [и др.] – Минск : БНТУ, 2012. – С. 139–143.

9. Передков, И. И. Классификация и сравнительный анализ систем предварительного напряжения железобетонных конструкций в построечных условиях / И. И. Передков, С. Н. Леонович // Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов Европейского союза в области строительства : сборник научно-технических статей, 22–23 мая 2013 г. В 2 ч. / ред. колл.: В. Ф. Зверев [и др.]. – Минск : БНТУ, 2013. – Ч. 2. – С. 123–130.

10. Передков, И. И. Технология устройства облегченных пустообразователями железобетонных плит перекрытия с предварительным напряжением арматуры в построечных условиях / И. И. Передков, С. Н. Леонович // СПб. : Мир дорог, специальный выпуск «Бетоны. Оборудование. Опалубка». – 2015. – С. 44–48.

11. Портаев, Д. В. Расчет и конструирование монолитных преднапряженных конструкций гражданских зданий / Д. В. Портаев. – М. : Издательство АСВЮ, 2011. – 248 с.

12. Преднапряженный железобетон – два подхода при моделировании в Revit-Robot [Электронный ресурс] / Isicad. Ваше окно в мир САПР. – Режим доступа: https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=15550.

13. Проектирование и строительство многоуровневой автостоянки в комплексе с автовокзалом «Центральный» в г. Минске [Электронный ресурс] / Архитектурно-строительный портал. – Режим доступа: http://ais.by/article/proektirovanie-i-stroitelstvo-mnogourovnevoy-avtostoyanki-v-komplekse-s-avtovok zalom.

14. Постнапряженный бетон в архитектуре и строительстве [Электронный ресурс] / Amusementlogic. – Режим доступа: https://amuse mentlogic.ru/2022/12/01/postnaprjazhennyj-beton-v-arhitekture-i-stroitelstve.

15. Следящие Тест-Системы [Электронный ресурс] / ООО «Следящие Тест-Системы». – Режим доступа: http://www.stshydro.ru/technologies/ posttensioning.

16. СП 5.03.01-2020. Бетонные и железобетонные конструкции. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 237 с.

17. Технология постнапряженного армирования железобетонных конструкций / Д. И. Борисов [и др.] // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. – 2023. – Т. 2, № 1. – С. 12–21.

18. Расчет предварительно напряженных конструкций на ударную нагрузку / В. В. Лалин [и др.] // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15, Вып. 4. – С. 482–495.

19. Suncoast Post-Tension [Электронный ресурс] / Suncoast Post-Tension. – Режим доступа: https://suncoastpt.com.

УДК 622.232.8:622.275(075.80)

Анализ существующих методик моделирования процессов добычи твердых полезных ископаемых

Савичев Д. С., Сиренко Ю. Г., канд. техн. наук
Санкт-Петербургский горный университет
199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2

Аннотация. Современная горная промышленность сталкивается с большим количеством испытаний: переход на альтернативные источники энергии, экономические кризисы, санкции. Для того, чтобы своевременно и успешно решать появляющиеся задачи и противостоять современным вызовам в отрасли, необходимо постоянно развивать свои технологии. Одним из современных инструментов для улучшения планирования и организации работ является компьютерное моделирование. В данной работе был проведен анализ существующих методик моделирования горных работ, разобраны последние разработки в сфере моделирования и сделан прогноз развития компьютерного моделирования технологических процессов горных работ. За прошлый год одной из главных проблем для российской угольной промышленности было перенаправление экспорта с западного направления на восточное. Для реализации этого плана нужно подготовить большое число логистических маршрутов, ведь существующие не были рассчитаны на такой трафик. В данное время Россия обеспечена нужными объемами экспортируемого угля для увеличения поставок. По официальным прогнозам развития промышленности существует два сценария, расписанных до две тысячи тридцатого года. По версии первого, негативного из двух, общая добыча угля в стране может упасть на двенадцать с половиной процентов по сравнению с две тысячи двадцать первым годом, примерно на пятьдесят пять миллионов тонн, а количество экспортируемого угля на тридцать процентов. Позитивный же сценарий говорит о том, что Россия потеряет в добыче только три процента, а количество экспортируемого угля снизится на одну целую и восемь десятых процента.
Ключевые слова: горное производство, имитационное моделирование, оптимизация технологических процессов.

Analysis of existing methodologies for modelling solid mineral extraction processes

Savichev D. S., Sirenko Y. G.
Saint Petersburg Mining University

Annotation. Modern mining faces many challenges: the transition to alternative energy sources, economic crises, sanctions. In order to solve the emerging tasks in a timely and successful manner and to face the modern challenges in the industry – it is necessary to constantly develop their technologies. Computer simulation is one of the modern tools for better planning and management. In this paper the analysis of existing methods of mining modeling was carried out, the latest developments in the field of

modeling were reviewed, and a forecast of the development of computer modeling of mining processes was made. Over the past year, one of the main problems for the Russian coal industry has been the diversion of exports from the west to the east. To implement this plan, you need to prepare a large number of logistics routes, because the existing ones were not designed for such traffic. At present, Russia is provided with the necessary volumes of exported coal to increase supply. According to official forecasts, there are two scenarios of industrial development, painted up to two thousand and thirtieth. According to the first, negative of two, the country's total coal production could fall by 12.5 per cent compared with the two thousand and twenty-first year, by about fifty-five million tons, and the amount of coal exported by thirty percent. The positive scenario suggests that Russia will lose only 3 per cent of its production, while exports of coal will decline by one and eight tenths.
Keywords: mining production, simulation modeling, optimization of technological processes.

Введение. В условиях четвертой промышленной революции предприятия подвержены структурным изменениям. В связи с этим возникает необходимость в новой промышленной политике, которая затрагивает все связанные между собой отрасли, как производственные, так и экономические. Такая политика должна основываться на детальном и оперативном анализе производственных процессов, а также на анализе взаимосвязей между различными производственными процессами. Авторы работы «Приоритеты промышленной политики в рамках Индустрии 4.0» определяют данную политику как комплекс действий, направленных на стимулирование структурных изменений в промышленности и ориентирование промышленного развития в конкретных направлениях [1]. Главное влияние такая политика должна оказывать на инновации, торговлю, право интеллектуальной собственности и человеческий потенциал. Ни одна компания не может модернизироваться без людей, которые бы трудились над этим, что приводит к потребности надлежащего обеспечения человеческого капитала.

Держа во внимании все вышеперечисленные критерии, можно сказать, что горная отрасль находится сейчас в переходном этапе. Сложившиеся макроэкономические условия работы предприятий минерального сектора, которые включают в себя большой диапазон дифференциации горно-геологических и горнотехнических условий, требуют оптимального выбора и обоснования проектных решений с использованием программных продуктов. Можно сказать, что при применении моделей горных работ удастся свести к минимуму вероятность принятия неверных решений в горнодобывающей отрасли.

Моделирование процессов в горном деле в XX веке. На территории России начиная с 60-х годов созданием моделей горного производства занимались такие предприятия, как: Гипроруда, НИИКМА, ИПКОН, НИГРИ, ИГД СО АН СССР, ИГД Кольского НЦ АН СССР. Прорывным явлением в области моделирования стала конференция «Имитационное моделирование в горном деле», проведенная в 1988 году, на которой было представлено порядка 30 работ, которые являлись расчетами на компьютерах систем уравнений. Яркими представителями моделей того времени являлись [2]:

1. Сеть конвейеров шахты «Распадская» (рис. 1). В работе моделировалась конвейерная сеть для случайных значений грузопотоков с целью подбора оптимальных характеристик бункеров перегружателей.

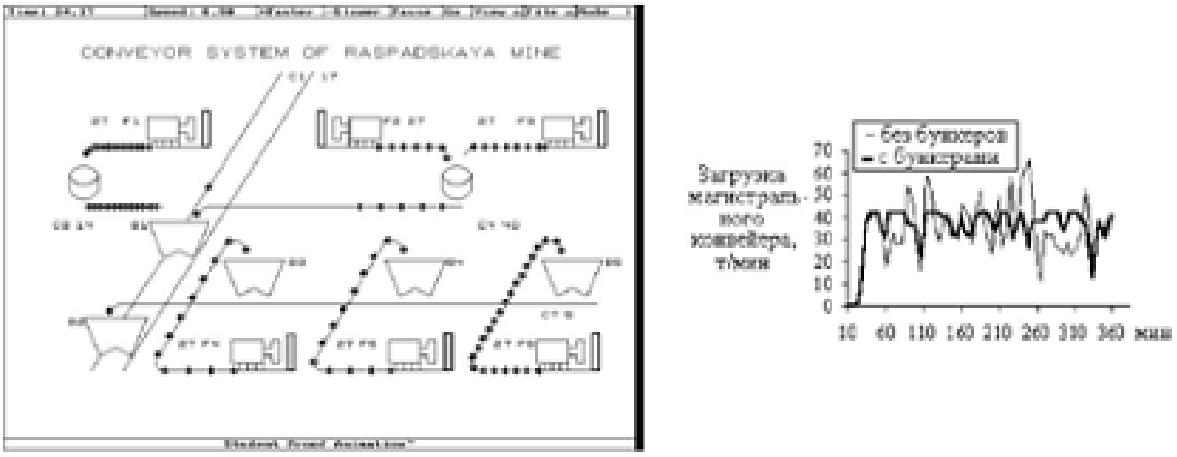


Рис. 1. Имитация работы транспортной сети шахты «Распадская»

2. Диспетчеризация конвейерно-локомотивного транспорта шахты «Комсомолец» (рис. 2). Данная модель позволила в реальном времени прогнозировать последствия решений, принимаемых горным диспетчером.

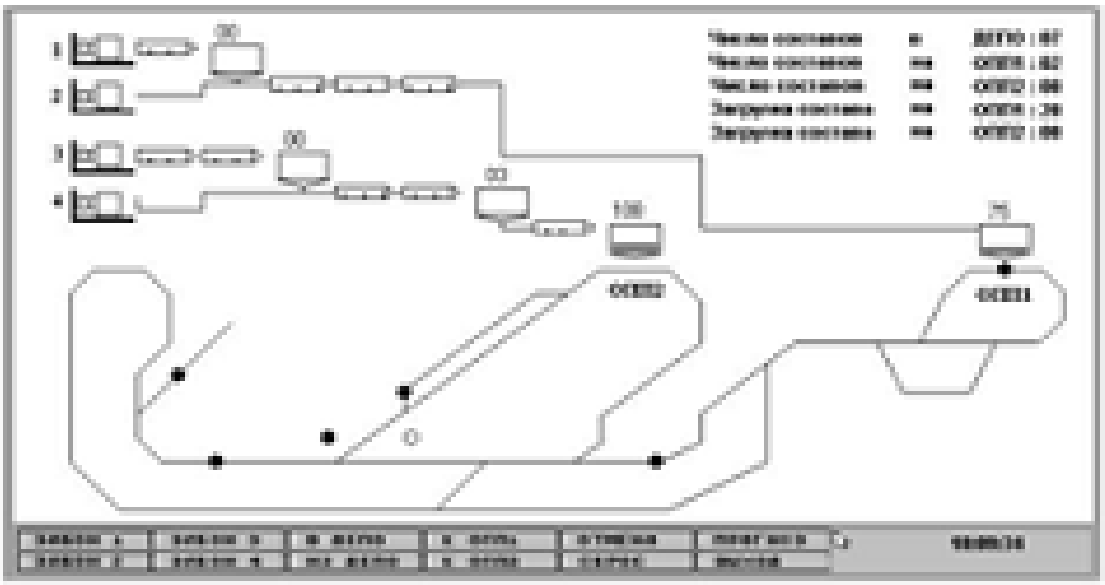


Рис. 2. Применение имитационного моделирования для диспетчеризации конвейерно-локомотивного транспорта шахты «Комсомолец»

3. Взаимодействие экскаваторов и самосвалов на разрезе «Кедровский» (рис. 3). Модель позволяла оценить коэффициенты использования экскаваторов и самосвалов в транспортных узлах при случайной вариации длительности рейсов и процессов погрузки/разгрузки.

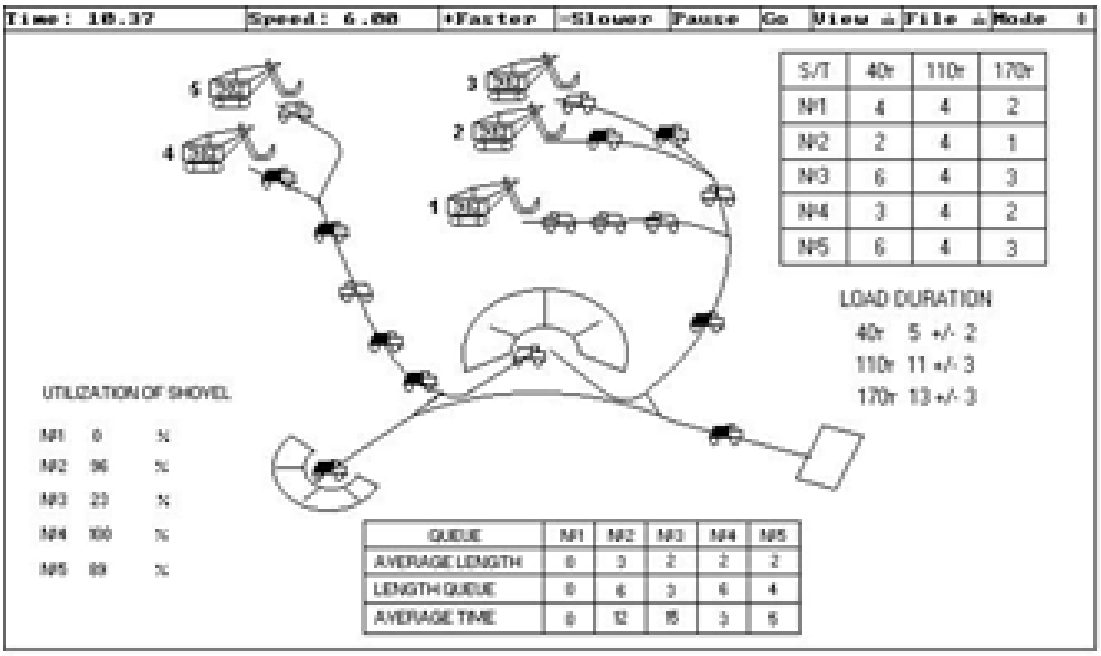


Рис. 3. Взаимодействие экскаваторов и самосвалов на разрезе «Кедровский»

4. Имитация проходки выработки комбайном избирательного действия (рис. 4). Модель демонстрировала различные технологии проходки горных выработок, и позволяла оценивать длительность технологических операций, длину выработки и т. д.

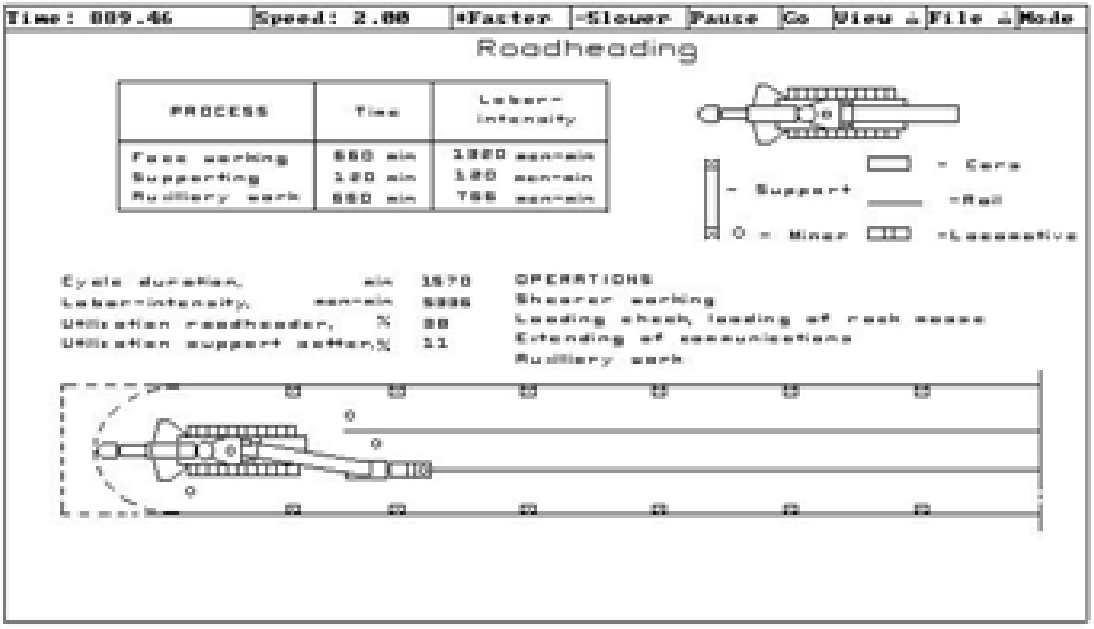


Рис. 4. Имитация проходки выработки комбайном избирательного действия

Современное моделирование процессов в горном деле. Промышленные ноу-хау, аналитическая оценка и специальные эксперименты доказывают, что сокращение различий в качестве сырья для переработки руды может существенно

повысить производительность и улучшить качество конечной продукции при одновременном снижении стоимости продукции. [3]. Построенная модель транспорта калийной руды по конвейерным линиям смогла продемонстрировать основные отличия нового проекта от старого, сделав акценты на ключевых вещах, которые могут заинтересовать потенциального инвестора.

При разработке угольных пластов, опасных по внезапным выбросам угля и газа, следует организовывать работу таким образом, чтобы производительность сохранялась на достаточном уровне без вреда безопасности. Большое количество метана может выделиться из зон повышенного горного давления. Одной из таких зон является массив угля около очистного забоя. Для того, чтобы проанализировать признаки, предвестники и характер этого процесса и на основе этих данных построить показательную модель, используют методы вычислительной гидродинамики, так как законы движения жидкости и газов в данном случае сопоставимы [4]. Такая модель позволила установить и подтвердить теоретические понятия явления внезапного выброса газа, такие, как закон Дарси.

Сохранение поверхности от пагубного влияния подземных горных работ – достаточно важная тема в наши дни, так как людей на планете становится больше, а вот плодородной земли нет, в некоторых местах ее количество даже уменьшается. Для того, чтобы правильно оценить последствия освоения новых глубин и выемки большего количества породы из недр, необходимо качественно и количественно понимать закономерности движения вышележащих пород. Для этих целей была создана модель клеточного автомата сдвижения пород [5], в которой авторам удалось, используя математическую базу и программирование, выявить и доказать характер подобных процессов. Работу в этом направлении продолжили авторы работы о численном моделировании зависимостей влияния литологических разностей на технологические процессы [6; 7]. Они создали модель, которая показывает влияние разниц мощностей породных слоев над пластом на вероятность обрушения. С помощью этой модели были выявлены предельные мощности, разработка которых оптимальна по сопротивлению к обрушению. Большая работа была проведена по анализу массива отработанных участков, с целью выявления характерных размеров обрушаемой основной кровли и зависимости величины ее шага обрушения от трещиноватости вышележащих пород [8]. Полученные данные позволили в начале построить физическую модель, а затем при помощи специального программного обеспечения создать имитационную модель, которая может быть применена для проектирования будущих очистных участков.

Характерным примером физического моделирования является моделирование на эквивалентных материалах. При помощи такого подхода можно моделировать процессы обрушения кровли. Такими экспериментами занимались в научном центре геомеханики Санкт-Петербургского горного университета [9]. Такая модель, как на рис. 5, позволила доказать правильность принятых проектных решений, путем демонстрации и получения натурных результатов тех явлений, которые были рассчитаны, опираясь на зависимости и формулы.

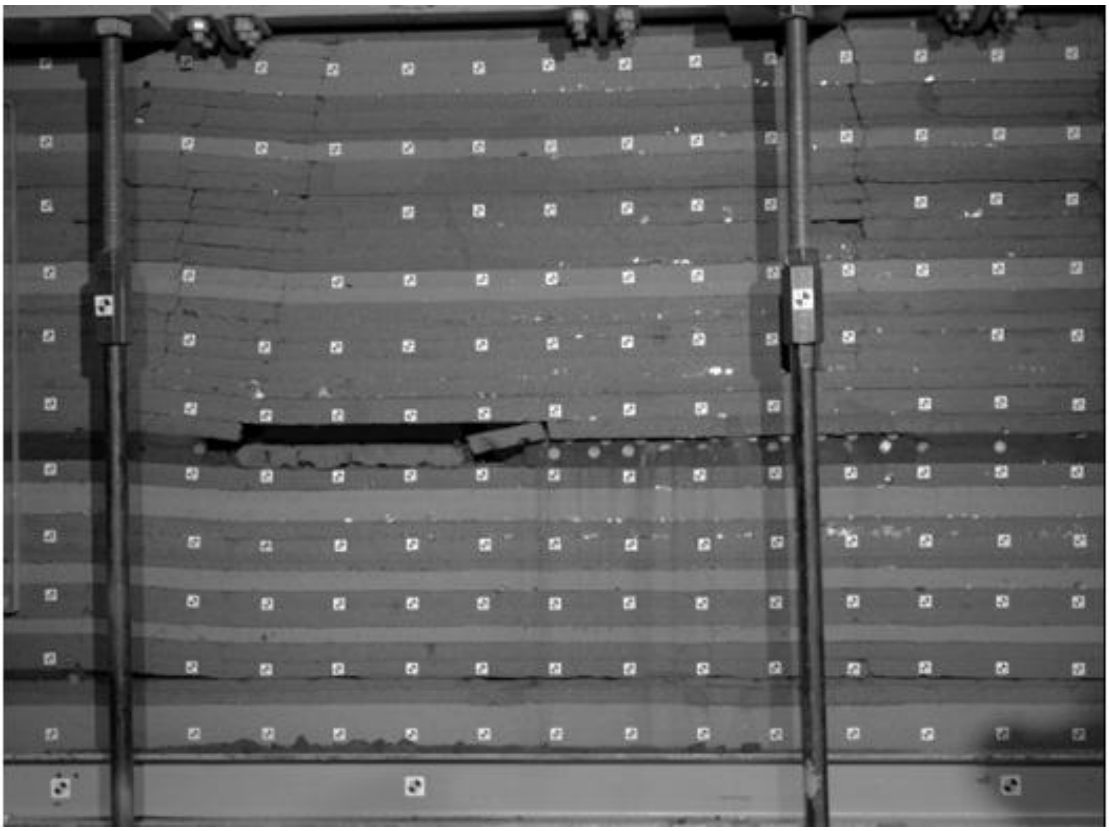


Рис. 5. Формирование зоны обрушения в модели эквивалентных материалов

Подземная газификация угля применяется для добычи горючих газов, в которые превращается уголь под действием высоких температур, кислорода и давления. Способ добычи весьма экономичный, в связи с дешевым производством и количеством газа, получаемым при применении данного метода. Данный процесс был воссоздан в виде одномерной числовой модели на основе конечного моделирования Галеркина, которая имитирует температуру профиля в угольном пласте, массу при тепловом переносе и химические реакции, которые происходят при сжигании угля [10]. Данная модель позволяет обеспечить стабильность расчета процесса газификации и улучшить точность вычисляемой теплотворной способности сингаза.

Одним из современных решений по оптимизации горных работ является разработка решений по удаленному контролю за оборудованием и автоматизации технологических операций [11]. Такие технологии являются ключом к решению проблем по увеличению эффективности работ и сведению к нулю вероятности появления серьезных рисков для сотрудников [12]. Авторами Кравцовым А. А. и Анищенко В. И. была проведена работа в данном направлении и установлено, что технология WebRTC является перспективной при разработке систем дистанционного управления горным оборудованием. Общая и доступная рабочая документация делает возможным интегрирования большого количества программ от разных производителей, что повлияет на сокращение издержек в работе по разработке и поддержанию программного обеспечения [13].

В работе «Моделирование технологических процессов подземной добычи угля» [14] представлена имитационная модель процессов добычи угля на одной

из шахт Кузнецкого угольного бассейна. Модель направлена на оценку основных характеристик оборудования в условиях меняющихся внешних факторов. Что характерно, создание этой модели производилось на собственном разработанном научным коллективом программном обеспечении, что позволяет быть независимыми в условиях введенных санкций.

Заключение. Проведя анализ существующих способов моделирования и разработанных моделей, можно прийти к заключению, что моделирование технологических процессов – это важный элемент любого современного производства, так как оно приводит к повышению качества продукции, приросту производительности, уменьшению затрат и позволяет поддерживать, а в некоторых моментах и увеличивать уровень безопасности ведения горных работ.

Для современного производства компьютерное моделирование технологических процессов позволяет проводить исследования большого списка вариантов, их комплексный сравнительный анализ, и на основании этих данных выбирать лучший из вариантов. Такой подход позволяет не только сократить сроки разработки и внедрения новых технических и научных разработок, но и значительно уменьшить вложения, так как отпадает необходимость создания реальных прототипов.

При помощи компьютерного моделирования появилась возможность выявить на ранних стадиях проектирования узкие места технологических цепочек для их оптимизации, что в свою очередь положительно скажется на общей производительности компании и уменьшит общее время внедрения новых технических решений. Также неоспоримым достижением компьютерного моделирования технологических процессов является то, что большинство нововведений возможно испытать до непосредственного внедрения на производстве, что обеспечит снижение рисков и увеличит эффективность внедрения этих технологий.

Недостатком компьютерного моделирования является его потребность в достаточном количестве точных данных о характеристиках материалов и оборудования, многие из которых существует возможность измерить только при непосредственной их эксплуатации. Это приводит к появлению неточностей и ошибкам в создаваемой модели, что оказывает свое влияние и искажает получаемые результаты.

Важным будет отметить то, что компьютерное моделирование не способно всецело заменить собой необходимость проведения натурных экспериментов, ведь для уточнения модели постоянно требуется вносить эмпирические данные, что позволит контролировать точность создаваемой модели.

По итогам выполненной работы можно сформулировать основные выводы:

– компьютерное моделирование обеспечивает исследование и оптимизацию технологических процессов и при этом не требует создания реальных физических прототипов, что приводит к экономии денег и времени;

– компьютерное моделирование может учитывать множество исходных параметров, которые повлияют на итоговое качество продукции и позволяет подобрать наилучшие условия для ее производства;

– применение компьютерного моделирования позволяет в ранние сроки обнаруживать узкие места производства для их оптимизации, что положительно сказывается на производительности;

– используя компьютерные модели при проектировании и эксплуатации горных производств, возможно выявить воздействие различных факторов на безопасность, и как следствие, разработать необходимые организационные решения по их снижению;

– компьютерное моделирование технологических процессов не является панацеей, так как оно не исключает необходимость проведения физических испытаний и экспериментов для контроля точности модели;

– количество создаваемых и применяемых компьютерных моделей за последнее время возросло, так как растут возможности техники для их создания;

– существует большое количество способов моделирования, однако для моделирования процессов горного производства наиболее активно применяется математическое моделирование и его логическое развитие – имитационное.

Литература

1. Kondrat’ev, V. Industrial Policy Priorities under Industry 4.0 // World economy and international relations / V. Kondrat’ev, V. Popov, G. Kedrova. – 2022. – Vol. 66, No 3. – P. 73–80.

2. Компьютерное моделирование процессов и технологий в горнодобывающей промышленности [Электронный ресурс] / Библиофонд. – Режим доступа: https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=784982#text.

3. Прогноз качества потока руды на калийном руднике с учетом логистики ее перемещения от забоев до ствола / А. К. Гец [и др.] // Горный журнал. – 2022. – № 4. – С. 49–51.

4. Discrete modeling of a longwall coal mine gob for CFD simulation / A. Jugan-da [et al] // International Journal of Mining Science and Technology. – 2020. – Vol. 30, No 4. – P. 463–469.

5. Qiuji, C. Dynamic simulation for the process of mining subsidence based on cellular automata model / Qiuji Chen, Jiye Li, Enke Hou // Open Geosciences. – 2020. – Vol. 12. – P. 832–839.

6. Liu, Chuang. Numerical simulation study on the relationship between mining heights and shield resistance in longwall panel / Liu Chuang, Li Huamin, Jiang Dongjie // International Journal of Mining Science and Technology. – 2017. – Vol. 27, No 2. – P. 293–297.

7. Мустафин, М. Г. Анализ точности построения цифровых моделей рельефа на основе данных периодического воздушного лазерного сканирования горнопромышленного объекта / М. Г. Мустафин, А. А. Кологривко, Б. Ю. Васильев // Горный журнал. – 2023.– № 2. – С. 56–62.

8. Physical Experiment and Numerical Modeling on the Failure Mechanism of Gob-Side Entry Driven in Thick Coal Seam / Xinshuai Shi [et al] // Energies. – 2020. – Vol. 13. – P. 5425.

9. Physical modeling the formation of roof collapse zones in Vorkuta coal mines / B. Y. Zuev [et al] // Bulletin of The Mineral Research and Exploration. – 2019. – Vol. 162, No 162. – P. 225–234.

10. Galerkin Finite Element Based Modeling of One-Dimensional Packed Bed Reactor for Underground Coal Gasification (UCG) Process / I. Qudsiya [et al] // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 223130–223139.

11. Adaptive Video with SCReAM over LTE for Remote-Operated Working Machines / I. Johansson [et al] // Wireless Communications and Mobile Computing. – 2018. – Vol. 2018, No 1. – P. 1–10.

12. Markvardt, R. V. Relevance of using software remote control for roadheader / R. V. Markvardt // Eurasia Science : Proceedings of XI International Scientific Conference, Moscow, 31 October, 2017. – Moscow, 2017. – P. 107–108.

13. Perspectives of applying webrtc for remote-controlled mining equipment / A. A. Kravtsov [et al] // Sustainable Development of Mountain Territories. – 2020. – Vol. 4. – P. 592–599.

14. Okolnishnikov, V. Modelling of Technological Processes of Underground Coal Mining / V. Okolnishnikov, A. Ordin, S. Rudometov // Computational and Information Technologies in Science, Engineering and Education. – 2019. – Vol. 998. – P. 153–160.

УДК 004.8; 621.791

Программно-аппаратный комплекс регистрации параметров сварочных процессов и управления обучением сварщиков

Сиваков Л. Ю.[1], Ерохова Д. И.[1], Толпыго Н. А.[1],
Юденков М. А.[1], Агаев Р. А.[1], Маршалковский Р. С.[2],
Болотов С. В.[1], канд. техн. наук, доцент;
Захарченков К. В.[1], канд. техн. наук, доцент;
Лупачев А. В.[3], канд. техн. наук; Еремеев А. Д.[3]
[1]Белорусско-Российский университет
212000, Беларусь, г. Могилев, проспект Мира, 43
[2]Белорусский национальный технический университет
220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65
[3]ООО «ИНВЕСТАП МАИНД»
220014, Беларусь, г. Минск, пер. Автодоровский, 15, каб. 16

Аннотация. Целью научной статьи «Программно-аппаратный комплекс регистрации параметров сварочных процессов и управления обучением сварщиков» является разработка и исследование комплекса для оптимизации обучения сварщиков путем мониторинга и анализа параметров сварочных процессов, обработки результатов визуально-измерительного, рентгенографического контроля и механических испытаний для каждого шва. Задачи научной статьи заключаются в разработке программно-аппаратного комплекса, способного регистрировать и анализировать параметры сварочных процессов, исследовании методов сбора и анализа данных сварочных процессов, проведение экспериментов для оценки эффективности комплекса в контексте обучения сварщиков. Для решения поставленных задач осуществляется сбор и анализ данных, их графическое представление. Разработанный комплекс позволяет регистрировать ток, напряжение, температуру, а также проводить анализ параметров сварочных процессов в реальном времени. Результаты исследования эффективности программно-аппа-

ратного комплекса отражаются в улучшении качества обучения сварщиков и сокращении дефектов в сварных соединениях. Представленный комплекс является эффективным средством повышения квалификации сварщиков в различных отраслях, улучшая контроль и управление обучением сварщиков.

Ключевые слова: регистратор сварочных процессов, блок датчиков, мобильное приложение, контроль параметров сварочных процессов, визуально-измерительный контроль, рентгенографический контроль.

Hardware-software registration complex of welding process parameters and welders' training management system

Sivakov L. Y.[1], Erokhova D. I.[1], Tolpygo N. A.[1], Yudenkov M. A.[1], Agaev R. A.[1], Marshalkovskiy R. S.[2], Bolotov S. V.[1], Zakharchenkov K. V.[1], Lupachev A. V.[3], Eremeev A. D.[3]
[1]Belarus-Russian University;
[2]Belarusian National Technical University;
[3]LLC ”INVESTUP MIND”

Annotation. The scientific article “Software and Hardware Complex for Welding Process Parameter Monitoring and Welder Training Management” aims to develop and study a complex system designed to optimize welder training by monitoring and analyzing welding parameters, processing the results of visual measurement, radiographic control and mechanical test for every weld. The objectives of the scientific article include the development of a software and hardware complex capable of recording and analyzing welding process parameters, researching methods for data collection and analysis of welding processes, and conducting experiments to evaluate the effectiveness of the complex in the context of welder training. To address these objectives, data is collected, analyzed, and presented graphically. The developed complex allows for the registration of current, voltage, temperature, and real-time analysis of welding process parameters. The research results on the effectiveness of the software and hardware complex manifest in the improvement of welder training quality and the reduction of defects in welding joints. This complex serves as an effective tool for enhancing welder qualifications across various industries, improving control, and managing welder training.

Keywords: welding process recorder, sensor block, mobile application, control of welding process parameters, visual-measurement control, radiographic control.

Введение. В ранее проведенных исследованиях было выявлено, что существующие методы обучения сварщиков часто малоэффективны из-за недостаточного контроля параметров сварки. Более того, остаются нерешенными вопросы, связанные с недостаточной автоматизацией мониторинга сварочных процессов и отсутствием средств для непрерывного анализа и коррекции процесса сварки.

Целью настоящего исследования является разработка программно-аппаратного комплекса, предназначенного для регистрации и анализа параметров сварочных процессов с целью улучшения процесса обучения сварщиков. Дан-

ный комплекс позволит непрерывно мониторить и анализировать параметры сварки, что, в свою очередь, улучшит качество обучения и повысит эффективность сварочных процессов.

Основная часть. Программно-аппаратный комплекс разработан с использованием современных технологий [1–3] и включает в себя две основные компоненты: регистратор сварочных процессов (рис. 1) и мобильное устройство с приложением.

Рис. 1. Структурная схема программно-аппаратного комплекса

Регистратор сварочных процессов состоит из:

– блока датчиков, осуществляющего регистрацию мгновенных значений сварочного тока *I* и напряжения на дуге *U*;

– основного блока, принимающего и обрабатывающего данные о токе и напряжении, осуществляющего индикацию режима работы, WiFi соединения и заряда аккумулятора;

– блока измерения температуры, предназначенного для контактного или бесконтактного измерения температуры предварительного нагрева или температуры околошовной зоны сварного соединения.

Блок датчиков подключается к выходным зажимам сварочного аппарата. Компенсационные датчики тока и напряжения, работающие на эффекте Холла, обеспечивают гальваническую развязку со сварочной цепью, измерение сварочного тока и напряжения на дуге с погрешностью не более 1,5 % [4]. Измерение мгновенных значений тока и напряжения осуществляется на частоте 10 кГц, усреднение измеренных значений производится с частотой 10 Гц [5–6].

Главным элементом основного блока регистратора является контроллер ESP32, на аналоговые входы которого поступают сигналы от блока датчиков. Основной блок имеет автономное аккумуляторное питание с контролем уровня заряда. С помощью светодиодов осуществляется индикация режима работы регистратора, наличия WiFi соединения и уровня заряда аккумулятора. В основной блок регистратора через USB разъем подключается накопитель информации, осуществляющий непрерывную регистрацию данных о параметрах режима сварки. В случае длительного нарушения заданных технологической инструкцией параметров режима сварки, основной блок через контакт встроенного реле осуществляет блокировку работы сварочного аппарата. Основной блок производит обмен данными с мобильным устройством по WiFi каналу [7–9].

Блок измерения температуры имеет автономное аккумуляторное питание. Предусмотрено контактное непрерывное измерение температуры в зоне сварного соединения с помощью термопары К-типа с погрешностью до ±5 °С или бесконтактное кратковременное измерение температуры предварительного нагрева зоны сварки пирометром на расстоянии до 0,5 м с погрешностью до ±3 °С. Блок измерения температуры осуществляет обмен данными с мобильным устройством по WiFi каналу.

Корпуса основного блока, блока датчиков и блока измерения температуры напечатаны на 3D-принтере с помощью экологически чистых, новейших технологий [10].

Мобильное устройство (рис. 1) позволяет производить идентификацию сварщика и сварочного аппарата, вводить необходимые параметры для работы регистратора сварочных процессов. Мобильное устройство осуществляет отображение регистрируемых параметров сварочных процессов, температуры предварительного нагрева и околошовной зоны, калибровку блока датчиков. Отправка регистрируемых данных на сервер, получение заданий на сварку производятся по GPRS каналу [8].

Программная часть системы, связанная с регистрацией параметров сварочных процессов, предоставляет множество полезных функций и возможностей для облегчения процесса мониторинга и анализа результатов работы сварщиков [11].

Для обеспечения безопасности и конфиденциальности данных, система предоставляет возможности управления доступом, определяя, кто имеет доступ к определенным возможностям приложения. Администратор имеет права на калибровку сварочного оборудования, когда сварщик имеет доступ только к двум режимам сварки: ручной и автоматический режимы.

Сварщики могут наблюдать параметры сварочных процессов в реальном времени, используя интерфейс мобильного приложения. Приложение предоставляет пользователю возможность мониторинга и анализа данных, что помогает в обучении сварщиков. Пользователи могут подключать оборудование, выбирать задания для сварки, просматривать графики и диаграммы параметров тока и напряжения в режиме реального времени (рис. 2).

Система поддерживает одновременный мониторинг нескольких параметров, таких, как ток, напряжение, температура, что обеспечивает полную информацию о процессе. Добавлена возможность точечного просмотра значений параметров в определенной точке.

Параметры сварки отображаются в виде графиков и диаграмм, что делает их анализ более наглядным и понятным. Пользователи могут выбирать интересующие их параметры для мониторинга и сравнения.

Система способна автоматически выявлять выход параметров сварочных процессов за пределы допустимых значений и уведомлять пользователя об этом посредством звукового сигнала. Так по результатам мониторинга сварочных процессов на рис. 2 можно заключить, что сварщиком в отдельные сессии сварки допущены выходы за установленные технологической инструкцией минимальное значение сварочного тока 270 А и максимальное значение 315 А.

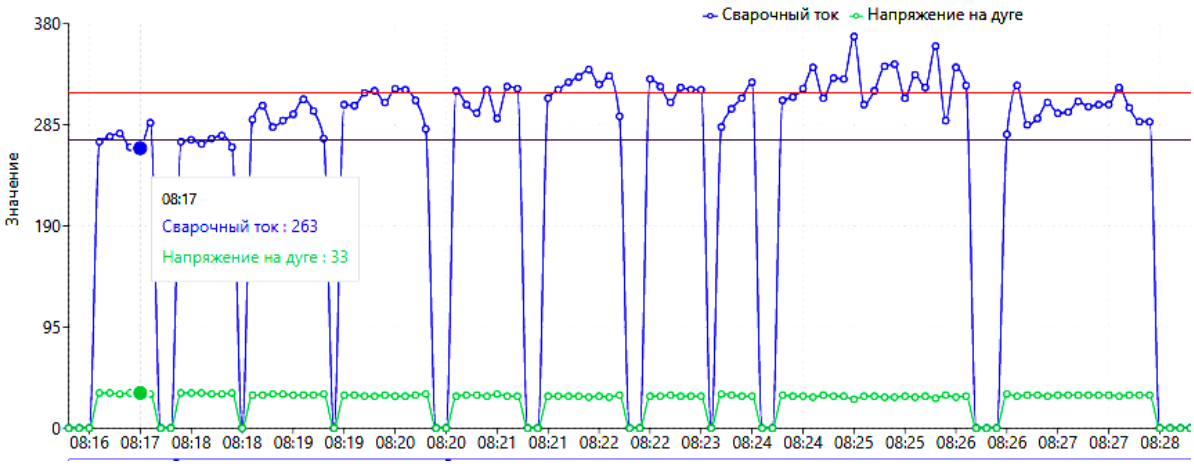


Рис. 2. Результаты мониторинга сварочных процессов

Все данные о сварочных процессах записываются и сохраняются для последующего анализа и отчетности памяти телефона, так и на сервере [4; 12]. При сбоях в подключении к интернету, добавлена возможность кеширования информации процесса сварки для последующей отправки на сервер [13; 14].

Для технического надзора доступна функция калибровки сварочного оборудования. Значения калибровочных коэффициентов для сварочного оборудования хранятся в памяти микроконтроллера. Режим калибровки представляет собой интерфейс мобильного приложения для изменения и просмотра калибровочных коэффициентов. Для сотрудника с ролью технического надзора отображаются текущие значения коэффициентов и значения параметров сварочного оборудования. Для корректировки калибровочных коэффициентов используются элементы пользовательского интерфейса.

Мобильное приложение работает на базе системы мониторинга, которое представляет собой серверное решение [4; 13]. Система предоставляет данные о сотрудниках, включая руководителей сварочных работ, сварщиков и технический надзор. На основе занимаемой должности предоставляется информация об авторизированном пользователе для доступа к нужному функционалу [12; 13].

Система мониторинга имеет возможность обрабатывать информацию об изделиях, деталях и сварных швах, предоставляет информацию о доступном оборудовании. Пользователь может вводить, изменять и искать данные об изделиях, узлах, деталях, сварных швах и оборудовании. Система мониторинга также выполняет функции и задачи обработки информации заданий. Для предоставле-

ния сварщику технологических инструкций предусмотрены функции фильтрации соответствующих данных [8; 15].

Визуальный интерфейс системы мониторинга представляет собой веб-приложение, которое предоставляет администраторам инструменты для управления правами доступа к системе, паспорта сварного шва, отчетов о работе сварщиков и сварочного оборудования, обеспечивая повышение эффективности управления персоналом [15; 16].

Программное обеспечение для обучения сварщиков [17] реализует обработку данных о сварщиках, ввод, добавление и изменение информации о конкурсах и номинациях конкурсов, в которых участвует каждый сварщик, видах сварочных работ, которые выполняет сварщик в процессе обучения и аттестации. Качество сварочных работ в процессе обучения оценивается с учетом размеров, формы, материала заготовки и технологического процесса сварки. При проведении конкурса и аттестации сварщиков с целью формирования объективной непредвзятой оценки каждому сварщику и образцу присваивается QR-код либо RFID-метка, что обеспечивает возможность объективной непредвзятой оценки сварочных образцов конкурсной комиссией. Члены конкурсных и аттестационных комиссий оценивают образцы, не зная, кто из сварщиков выполнял сварку образца [17].

По результатам конкурсных работ, контроля сварочных работ в процессе обучения и аттестации сварщиков в базе данных сохраняется информация о результатах визуально-измерительного и рентгенографического контроля (для свариваемых труб и пластин), о качестве и времени сборки и сварки, о выполнении требований охраны труда, о результатах выполнения теоретического теста, о расходе сварочных материалов и о результатах механических испытаний (для арматуры). По результатам рентгенографического контроля в базе данных сохраняются снимки каждого образца. На основании представленных результатов формируется итоговая оценка работы каждого сварщика с учетом штрафных баллов за нарушения, допущенные в процессе сварки. При уточнении значений исходных данных осуществляется автоматический пересчет оценок результатов выполнения сварочных работ [17].

По результатам конкурса, контроля обучения и аттестации формируются итоговый и подробные отчеты в формате Excel. В итоговом отчете содержатся данные обо всех дефектах сварных швов, выявленные по результатам визуально-измерительного, рентгенографического контроля (для труб и пластин) и механическим испытаниям (для арматуры) по всем номинациям и видам работы с указанием количества дефектов по каждой номинации. В подробных отчетах, формирующихся для каждой номинации и вида работ, для каждого сварщика указываются все дефекты, выявленные по результатам визуально-измерительного и рентгенографического контроля (для труб и пластин) и механических испытаний (для арматуры).

Программное обеспечение для обучения сварщиков представляет собой web-приложение, обеспечивающее автоматизацию хранения и обработки информации о результатах визуально-измерительного, рентгенографического контроля (для труб и пластин) и о результатах механических испытаний (для арматуры) [17]. При запуске приложения отображается главная страница, содер-

жащая навигационное меню, с помощью которого происходит переход на другие страницы приложения.

С главной страницы осуществляется переход к страницам с информацией о сварщиках, видах сварочных работ, выполняющихся в процессе обучения, соответствующих номинациях конкурсов и аттестациях сварщиков. Соответствующие формы обеспечивают ввод, изменение, удаление, сортировку и поиск информации по различным критериям о сварщиках, видах сварочных работ, выполняющихся в процессе обучения, и соответствующих номинациях конкурсов, результатах контроля сварочных работ в процессе обучения, проведения конкурсов и аттестации.

Программное обеспечение для обучения сварщиков [17] позволяет оперативно получать информацию о результатах обучения, участия в конкурсах и аттестации. Детализация информации о результатах работ, получаемая из отчетов о результатах визуально-измерительного и рентгенографического контроля (для труб и пластин), результатов механических испытаний (для арматуры) позволяет оценить, какие ошибки совершает сварщик в процессе выполнения работ. Результаты анализа отчетов позволяют эффективно управлять обучением сварщиков за счет целенаправленного устранения ошибок в работе, выявленных в процессе обучения, проведения конкурсов и аттестации.

Использование QR-кодов и RFID-меток для идентификации сварщиков и сварочных образцов позволяет повысить объективность и непредвзятость оценки членов аттестационных и конкурсных комиссий за счет оценки сварочных образцов при отсутствии у оценивающих информации о том, кто из сварщиков какой образец варил. Объективная оценка позволяет создать конкурентную среду, в которой более квалифицированные сварщики, получающие более высокие оценки по результатам обучения, конкурсов и аттестаций, будут выполнять более сложные и высокооплачиваемые работы, по которым они прошли аттестацию [17].

Наличие нескольких видов оценки работы сварщиков позволяет анализировать различные аспекты работы сварщика, определять недостающие ему знания, умения и навыки. Это помогает определять направления обучения сварщика в зависимости от его квалификации, обучения, аттестации с учетом потребностей рынка.

Разработанное программное обеспечение может использоваться в образовательных учреждениях, в организациях, занимающихся обучением и аттестацией сварщиков; на промышленных предприятиях, где сварка является одним из основных производственных процессов; в лабораториях, занимающихся анализом сварочных процессов; при проведении конкурсов сварщиков.

Аппаратные решения для обмена данными и серверный компонент разработанного комплекса успешно прошли апробацию и используются в ОАО «БелАЗ» и РУП «Белоруснефть» для регистрации параметров сварочных процессов, контроля сварных швов, формирования отчетов о работе сварщиков и сварочного оборудования, автоматической оценки работы сварщиков.

Заключение. Представленный в статье программно-аппаратный комплекс обеспечивает регистрацию, обработку, анализ и визуализацию данных о параметрах сварочных процессов в реальном времени с помощью мобильного при-

ложения. Программное обеспечение обучения сварщиков позволяет обрабатывать данные о результатах визуально-измерительного и рентгенографического контроля (для труб и пластин), механических испытаний (для арматуры), формировать отчеты по результатам оценки сварки контрольных образцов в процессе обучения, аттестации и проведения конкурса сварщиков.

Реализация мобильного приложения позволяет перенести все расчеты на мобильные устройства, минимизируя функционал и стоимость аппаратной части разработанного комплекса. Аппаратные решения, мобильное приложение и серверный компонент разработанного комплекса успешно прошли апробацию в Центре сертификации и испытаний Белорусско-Российского университета, в ООО «ИНВЕСТАП-МАИНД». Программное обеспечение для управления обучением сварщиков успешно прошло апробацию при проведении конкурсов сварщиков в 2022 и 2023 годах.

Литература

1. Концепция создания информационных систем автоматического контроля работы сварщиков / С. В. Болотов [и др.] // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте : сборник научных трудов XI Международной научно-практической конференции (ИММВ-2022, Коломна, 16–19 мая 2022 г.). В 2 т. – М. : РАИИ, 2022. – Т. 2. – С. 257–268.

2. Болотов, С. В. Технология дистанционного контроля и регистрации сварочных процессов / С. В. Болотов, К. В. Захарченков, Н. К. Бобков // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: сб. ст. 8-й Междунар. науч.-техн. конф. / Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2022. – С. 42–48.

3. Болотов, С. В. Технология повышения эффективности контроля сварочных процессов в интеллектуальной системе welding control / С. В. Болотов, К. В. Захарченков, Е. В. Макаров, В. А. Фурманов // Энергетика, информатика, инновации – 2021 : Сб. трудов XI-й Межд. науч.-техн. конф. В 2 т. – 2021. – Т. 2. – С 227–230.

4. Болотов, С. В. Разработка блока датчиков сварочного тока и напряжения на дуге / С. В. Болотов, А. В. Янкович, Н. К Бобков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф. / ред. кол.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – С. 318.

5. Bolotov, S. V. Investigation of the Criteria for Evaluating Electrode Metal Transfer in Short Circuit Gas-Shielded Arc Welding [Electronic resource] // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering: IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 2021. – № 1118. – P.0120003. – URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/ 1118/ 1/012003/pdf.

6. Болотов, С. В. Информационно-измерительный комплекс для исследования процессов плавления и переноса электродного металла при дуговой сварке / С. В. Болотов [и др.] // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2020. – № 6 (91). – С. 4–11.

7. Болотов, С. В. Структура установки для управления и контроля процесса дуговой сварки / С. В. Болотов, Н. А. Толпыго, Н. К. Бобков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высшего образования

Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т ; редкол.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2023. – С. 370–371.

8. Болотов, С. В. Реализация сбора данных в автоматизированной системе регистрации сварочных процессов / С. В. Болотов, В. Н. Почуйко, Н. К. Бобков // ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2021: Сб. трудов XI-й Межд. науч.-техн. конф. В 2 т. – 2021. – Т. 2. – С. 3–6.

9. Пат. 12889, МПК B23K 9/10. Регистратор параметров сварочных процессов / С. В. Болотов, В. Н. Почуйко, Н. К. Бобков; заявка № u 20210320, заявл. 13.12.2021; опубл. 01.04.2022.

10. Болотов, С. В. Разработка печатных плат и корпуса регистратора сварочных процессов / С. В. Болотов, Н. К. Бобков, Е. Л. Болотова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]; Могилев, 22–22 апреля 2022 г. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2022. – С. 350.

11. Intelligent welding control system / S. V. Bolotov, K. V. Zakharchenkov, E. Makarov, V. Furmanov // CEUR Workshop Proceedings, 2021. – P. 260–267.

12. Болотов, С. В. Разработка автоматизированной системы регистрации сварочных процессов / С. В. Болотов, К. В. Захарченков, Н. К. Бобков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]; Могилев, 22–22 апреля 2022 г. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2022. – С. 20–22.

13. Болотов, С. В. Система автоматизированного контроля работы сварщиков и качества сварочных работ / С. В. Болотов, Е. В. Макаров, В. А. Фурманов // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]; Могилев, 22–23 апреля 2021 г. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – С. 358.

14. Свидетельство о регистрации компьютерной программы № 1475 Республика Беларусь. Автоматизированная система регистрации сварочных процессов / С. В. Болотов, К. В. Захарченков, В. А. Фурманов, Е. В. Макаров; заявитель и правообладатель Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет»; заявл. 13.12.2021; опубл. 24.01.2022. – 1 с.

15. Состав и структура программно-аппаратного комплекса контроля эффективности работы оборудования и идентификации персонала / В. В. Войтов [и др.] // Энергетика, управление и автоматизация: инновационные решения проблем. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей Научное издание. Под общей редакцией Т. Ю. Коротковой, сост. М. С. Липатов, Е. Н. Лашина. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 273–277.

16. Болотов, С. В. Автоматизированная система контроля качества дуговой сварки / С. В. Болотов, К. В. Захарченков, В. П. Куликов // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2023. – № 3 (80). – С. 144–152.

17. Программа управления подготовкой сварщиков WELDINGTRAINING: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023613932 Российская Федерация / М. А. Юденков, Р. А. Агаев, К. В. Захарченков, А. Д. Еремеев, А. В. Лупачев, А. Г. Кротова. – № 2023613932; заявл. 23.10.2022; опубл. 21.02.2023.

УДК 378.14

Инфраструктурная поддержка инновации как основа развития научно-экономического потенциала инженерных вузов Союзного государства

Старжинский В. П., доктор фил. наук, профессор
Белорусский национальный технический университет
220021, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости 65

Аннотация. Анализируются философско-методологические принципы реструктуризации классического университета как саморазвивающейся образовательной экосистемы с целью построения инновационного университета. Инновация, как социокультурное явление, приводит к смене образовательной парадигмы со знаниевой на культуротворческую и открывает возможности реализовать принцип самообразования. Построение инновационной инфраструктуры университета не только служит образовательной поддержкой треков развития инновации, но и интегрирует науку, образование и бизнес в кластерной форме. На основе авторских изобретений была разработана учебно-научно-экспериментальная версия стартапа для апробации возможностей проектирования и внедрений инновационной инфраструктуры.
Ключевые слова: инновационный университет, инновация, образовательная экосистема, гуманизация образования, культуротворческая парадигма, инновационная инфраструктура, треки развития инновации, кластер, стартап «Автодомино».

Infrastructural support of innovation as a basis for the development of scientific and economic potential of engineering universities of the Union State

Starzhinsky V. P.
Belarusian National Technical University

Annotation. The philosophical and methodological principles of the restructuring of the classical university as a self-developing educational ecosystem with the aim of building an innovative university are analyzed. Innovation, as a socio-cultural phenomenon, leads to a change in the educational paradigm from knowledge to culture-making and opens up opportunities to implement the principle of self-education. Building an innovative university infrastructure not only serves as educational support for innovation development tracks, but also integrates science, education and business in a cluster form. Based on the author's inventions, an educational, scientific and experimental version of the startup was developed to test the possibilities of designing and implementing innovative infrastructure.
Keywords: innovation university, innovation, educational ecosystem, humanization of education, cultural paradigm, innovation infrastructure, innovation development tracks, cluster, startup Avtodomino.

Введение. В современном инновационном обществе образование становится главнейшим фактором воспроизводства интеллектуального ресурса. Одной из

актуальнейших проблем в связи с этим является развитие практико-ориентированных образовательных систем, предполагающих реструктуризацию классического университета в направлении коммерциализации, а также обеспечения инновационной и экономической безопасности России и Беларуси [1]. Это утверждение справедливо для существующей системы образования Беларуси, в которой сегодня начинают осуществляться системные преобразования с целью организации более эффективного обучения, сочетающего науку, производство и бизнес в форме инновационного университета, или «Университета 3.0» [3; 11].

Основная часть. В настоящее время образование рассматривается, как развивающаяся система, которая проходит ряд эволюционных этапов, реализующихся посредством догоняющей модернизации по отношению к развитию науки и производства. Образование как социокультурная система детерминируется, прежде всего, развитием науки, которая в свою очередь определяется развитием производства. [2]. Как известно, производство развивается стадиально, проходя этапы, начиная с доиндустриального (аграрного), индустриального к постиндустриальному этапу, который характеризуется инновационным развитием и высокими технологиями. Соответственно уровням развития материального производства сформировались три типа научной рациональности – классический, неклассический, постнеклассический [13].

Университет, выступая одним из ключевых учреждений образования, влияет и оказывается под трансформационным воздействием базовых сфер общества – экономической, тенологической, социально-культурной, политической и др. Модернизация и становление информационного общества, которое сопровождается переходом науки от классической рациональности к постнеклассической, приводит к трансформации «Университета 2.0», где главными функциями являются обучение профессиональной и научно-исследовательской деятельности в инновационный университет. Другими словами, необходимость проектирования и внедрения новой инновационной функции в университете вызвана экзогенными факторами влияния внешней среды, прежде всего научно-технологической, на содержание и функции образовательной деятельности университета. Освоение студентами инновационной деятельности должно стать необходимым компонентом образования, наряду с классическим усвоением профессиональных знаний, умений и навыков, (ЗУНов), а также проведением научных исследований, которые не призваны обеспечивать внедрение результатов разработок в практику использования в форме коммерциализации интеллектуального ресурса [4, 5].

Однако на этом пути модернизации инженерно-технологического образования имеется ряд барьеров, присущих всем образовательным субъектам Союзного государства и требующих разного потенциала для обретения нового качества. Наиболее сложными являются преобразования системные, ведущие к необходимости смены образовательной парадигмы, которая была обозначена нами как гуманизация инженерного образования [12]. Смысл гуманизации заключается не в показном либерализме и демократии в обучении, снижении требований к студентам и уровню их ЗУНов. Отнюдь, новая культуротворческая, или в другой формулировке человекоцентричная парадигма призвана обеспечить образовательные условия, прежде всего, образовательную среду для обретения студентом статуса субъекта образовательной деятельности. В этом дискурсе разработа-

на культуротворческая концепция образования, согласно которой человек является субъектом образования в процессе производства и усвоения культурных ценностей человечества. Такая концепция основывается на ценностной переориентации образования с науки на культуру в целом [8]. В основе образовательного процесса лежит процесс познания, представляющийся как социокультурный феномен. В рамках данной концепции образование рассматривается не только в узком смысле передачи ЗУНов – знаний, умений и навыков, но и как созидание, обеспечение и развитие систем коммуникаций, форм бытия индивида в обществе, а также условий для его самореализации. Поэтому образование проектируется как культуротворческое, основанное на индивидуальной траектории самого субъекта, когда управление происходит через изменение образовательной среды. Иными словами, дисциплина преобразуется в самодисциплину, организация в самоорганизацию, развитие в саморазвитие, образование в самообразование.

Однако здесь возникает проблема, как управлять образовательным процессом, если он должен в конечном итоге перейти на уровень самоуправления, который включает в себя самообразование. Решение данной проблемы требует проектирования новых образовательных структур в дополнение к существующим, что составляет смысл реструктуризации образовательной системы университета. Кроме того, модернизация университета должна проектироваться на основе моделирования процесса развития сложной саморазвивающейся системы, находящейся в динамичной внешней социокультурной и научно-технологической среде. В качестве референтных моделей, репрезентирующих динамику модернизации университета в современной эдукологии высшего образования представлены модель дидактически-образовательной экосистемы, модель кластера и стартапа.

В общем плане, развитие университета представляется в виде гуманистической трансформации существующих структур на основе конструктивной методологии саморазвития субъектов образовательной деятельности в дидактически-образовательной экосистеме, а также создания новых структурных элементов, направленных на поддержку реализации инновационно-коммерческой деятельности. С позиций социокультурной детерминации образования, последнее сопряжено с наукой и производством и, в конечном итоге, определяется этими видами человеческой культуры. В силу этого образование развивается в режиме догоняющей модернизации, требующей перманентных образовательных реформ. Как уже отмечалось, развитие науки, в свою очередь, детерминировано ценностями и динамикой развития традиционного, индустриального, постиндустриального (информационного) обществ. Модернизация образования прошла первых два этапа и переходит на постнеклассический (информационный) (рис. 1).

Принцип проектирования образовательной среды как экосистемы дает возможность ответить также на вопрос, как возможно управление самообразованием. Управление самообразованием следует осуществлять опосредованно, через проектирование и создание педагогически ангажированной образовательной среды. Методология проектирования нового типа образовательного института основывается на трансдисциплинарной трансляции методов моделирования сложных саморазвивающийся систем, разработанных в науках о живых экосистемах [2].

Тип цивилизации	Образование	Тип отношений
Аграрный	Ремесленническое	Мастер-подмастерье (субъект-объект)
Индустриальный	Дисциплинарное Массовое	Учитель – ученики (субъект-объект)
Информационный	Культуротворческое, инновационное	Партнер (препод.) - Партнер (студент) (субъект-субъект)

Рис. 1. Модернизация образования

Пример экосистемы – биологическая система, состоящая из сообщества живых организмов и среды их обитания, в которой происходит постоянный обмен веществом и энергией между ними. Основная идея: жизнь функционирует в результате активного взаимодействия организма с окружающей средой.

Проектируемая внешняя среда для студента, погруженного в образовательный процесс, создается в виде инновационной инфраструктуры, содержанием которой может служить стартап, а формой организации кластер. Инновационная деятельность, как и любая другая, требует построения соответствующей инфраструктурной поддержки, обеспечивающей ее успешное функционирование. Существующая в университете инфраструктура, обеспечивающая функционирование классической научной деятельности, позволяет лишь в определенной степени организовать процесс получения инновационных разработок – продукта. По большому счету, структура классического университета (включая инфраструктуру) не способна обеспечить внедрение инновационной деятельности в той мере, которая бы отвечала вызовам современного общества, технологий, науки. Проблема модернизации классического университета содержит также разработку организационных форм включения студентов и преподавателей в инновационную деятельность. Еще одна сложность преобразований связана с качественным различием проблем научно-объяснительного свойства (когнитивных) от проблем, решаемых инновационной деятельностью, которые носят практико-ориентированный характер и содержат необходимость коммерциализации. Вследствие этих особенностей трансформации университета, необходимо определить способы реструктуризации системной организации университета, а также конкретные организационно-содержательные формы, позволяющие интегрировать инновационную деятельность в учебно-образовательный процесс. Нами осуществлены теоретическое и практическое обоснование стартап-технологий и кластерной формы интеграции науки, образования и бизнеса [9].

Итак, в инженерном вузе проектируется инженерная, научно-образовательная, предпринимательская экосистема, в которой обучающийся поставлен в условия субъекта образования посредством реализации вышеотмеченных сфер деятельности. В результате образовательная среда проектируется в виде инженерной экосистемы, в которой инновационная инфраструктура играет роль

научно-организационно-технологического основания. Нами предложено структуру инженерной экосистемы строить в соответствии с треками развития инновации (изобретения) [7]. Инновационная инфраструктура представляет собой совокупность элементов, обеспечивающих возникновение и развитие инновации на всех этапах инновационного цикла, которые можно рассматривать в качестве образовательных ресурсов поддержки инновации. Треки развития и соответствующие им ресурсы поддержки включают в себя интеллектуальные, кадровые, организационные, финансовые, технологические, маркетинговые и другие условия (среды) существования инноваций.

Рассмотрим подробнее треки развития инновации (стартапа) в качестве обоснования инновационной инфраструктуры.

1. Интеллектуально-образовательный трек инновационного развития (ИР): 1.1 Pre-startup стадия. Творчество – изобретение – инновация. Инновационный цикл; 1.2. Определение проблемы и зарождение идеи. Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ). Бизнес-план; 1.3. Проведение научных исследований и разработок.

Ключевой продукт – новация.

2. Хозяйственно-правовой трек ИР: 2.1. Создание интеллектуальной собственности; 2.2. Основы патентоведения. Формула изобретения.

Ключевой продукт – патент.

3. Инженерный трек ИР: 3.1 Проектирование и конструирование; 3.2. Лабораторное и промышленное прототипирование;

Ключевой продукт – прототип.

4. Промышленный трек ИР: 4.1. (Поиск изготовителя) (fabless-модель бизнес – производства); 4.2. Испытания и сертификация;

Ключевой продукт – опытная партия.

5. Экономический трек ИР: 5.1 Экономическая и управленческая модель бизнеса; 5.2. Бизнес-идея, основные бизнес-процессы; 5.3 Бизнес-планирование;

Ключевой продукт – бизнесс-процесс, бизнес-план.

6. Финансово-инвестиционный трек ИР: 6.1. Инвестиционное финансирование (Презентация. Слайды); 6.2. Инвестор, венчурное финансирование; 6.3. Краудфандинг.

Ключевой продукт – инвестиция.

7. *Промышленный выпуск.*

Ключевой продукт – промышленное изделие

8. *Масштабирование бизнеса.*

Ключевой продукт – коммерциализация, освоение новых сегментов рынка.

В инженерной экосистеме следует также разработать мотивационную структуру в качестве социально и личностно-психологической поддержки будущего инженера – основного субъекта инновационного развития.

Заслуживает внимания также проектирование внешней среды поддержки инновации в форме кластера, которая, строго говоря, является лишь относительно внешней, поскольку представляет симбиоз университета и предприятия, включенного в рыночные отношения. Проектирование инженерной экосистемы как целостного образования за счет объединения всех ее элементов в форме кластера достигается посредством реализации общей цели – реализации коммерче-

ски успешной научно-образовательной деятельности будущего инженера. Инженерная экосистема включает в себя внешнюю среду также в виде подсистемы материальных ресурсов, объективированных социальных институтов и «правил игры» – налогов, таможенных пошлин, авторских вознаграждений и других факторов, которые обеспечивают успешное и устойчивое развитие инновации. Фактически, основы такого кластера в БНТУ созданы в виде синергии с научно-технологическим парком «Политехник».

Командой единомышленников в рамках БНТУ был разработан стартап, который выполняет функции экспериментальной инновационно-образовательной площадки для создания и апробирования инновационной инфраструктуры, которая могла бы органично дополнять и модернизировать существующие классические структуры и функции университета [6; 10].

Стартап «Автодомино» («AutoDominoes») – «Мобильное приложение для экстренного оповещения об угрозе массовых автоаварий» был представлен в 2022 году на Республиканский конкурс инновационных проектов (далее РКИП) командой в составе преподавателей, студентов и аспиранта БНТУ-БГАИ-ИФ НАН РБ и удостоен диплома финалиста в номинации «Лучший инновационный проект» («взрослый» конкурс), с возможностью последующей регистрации в качестве резидента Белорусско-Китайского Индустриального парка «Великий камень» для продвижения проекта. Конкурентные преимущества проекта «Автодомино»: определение локализации зарождения массовой аварии и экстренное автоматизированное, дифференцированное оповещение водителей в зоне риска. Простыми словами, благодаря экстренности сигнала оповещения появляется возможность «Укротить» автоаварию и не допустить ее разрастания в неуправляемое катастрофическое столкновение десятков, а иногда сотен автомобилей. В текущем году стартап был доработан (усовершенствовано мобильное приложение, получены положительные результаты по его экспериментальной проверке в реальных условиях) и представлен в 2023 году на Республиканский конкурс инновационных проектов.

О команде. Выделяют этапы развития стартапа: от идеи до создания прототипа, промышленного выпуска продукции, ее реализации и масштабирования бизнеса. Каждый этап требует определенных компетенций, наполняемых знаниями, умениями и навыками. Подбор команды, состоящей из специалистов-единомышленников (объединенных единой целью) с различными профессиональными профилями, обеспечивает метакомпетентностную и трансдисциплинарную базу для разработки стартапа.

В. П. Старжинскому принадлежит идея решения проблемы, создание интеллектуальной собственности в виде патента [14]. Инициатором продвижения проекта стал Шабека В. Л., канд. экон. наук, доцент АТФ. Декан ФИТР доцент А. М. Авсиевич рекомендовал в команду студента Жовняк И. А. ИСИТ для разработки мобильного приложения. Разработка финансово-экономической части бизнес-проекта осуществляется старшим преподавателем Т. Л. Якубовской, дизайн-проектирование – студентом Академии искусств А. Якубовской. Презентация проекта подготовлена Д. В. Кравченко, магистром техн. наук, аспирантом ИФ НАН РБ.

Зачем нужны стартапы. Они являются всемирно признанными формами взаимосвязи науки, образования и бизнеса. Именно развитие инноваций по пути стартап-деятельности в образовательной экосистеме создает условия (среду) для становления студента в качестве субъекта образования. В свою очередь, стартап-движение порождает элементы инновационной инфраструктуры в процессе создания университета 3.0. Отметим важность внедрения нашего стартапа, выраженную в получении положительных *impact-эффектов*, полученных в процессе предпринимательской деятельности и оказывающих позитивное влияние на жизни людей, общественные сферы и мир в целом.

1. Национальный. Система экстренного оповещения о «Массовой аварии» на основе мобильной телефонии будет внедряться впервые в мировой практике.

2. Социально-экономический. Повышается безопасность дорожного движения. Сохраняются: жизни и здоровье водителей, материальные ценности, дорожная инфраструктура, пропускная способность магистралей и дорог.

3. Экологический. Осуществляется выбор оптимальных решений организации дорожного движения и предотвращается риск возникновения техногенных катастроф.

4. Антистрессовый (личностно-психологический). Снижается тревожность попадания в аварию, сохраняется психоэмоциональная устойчивость, увеличивается время для принятия решения, обеспечивается осознанное и эффективное выполнение процедур торможения или уклонения от столкновения.

Заключение. Модернизация индустриального и становление информационного общества сопровождается сменой соответствующих типов научной рациональности. На основе догоняющего типа модернизации происходит становление «Университета 3.0», главной особенностью которого является инновационная деятельность. Инновация как социокультурное явление является мощным драйвером развития всех сфер общества, включая экономическую, научную образовательную и др., и представляет собой основу развития научно-экономического и интеллектуального потенциала инженерных вузов союзного государства. Проектирование и внедрение новой инновационной функции в университете возможно за счет системного органического дополнения классических образовательных структур и функций университета новыми, осуществляющими инфраструктурную поддержку инновационной деятельности. Для экспериментальной апробации принципов проектирования инновационной инфраструктуры и модернизации классических структур и функций университета был разработан и частично реализован стартап «Автодомино».

Литература

1. Бровка, Г. М. Процессы и технологии политики обеспечения инновационной безопасности государства / Г. М. Бровка. – Минск : БНТУ, 2020. – 316 с.

2. Горохов, В. Г. Знать, чтобы делать / В. Г. Горохов, – М., 1987. – 175 с.

3. Кравченко, Д. В. Конструктивная методология разработки концепции инновационного университета / Д. В. Кравченко, В. П. Старжинский // Социально-психологические проблемы современного общества: пути решения (памяти профессора А. П. Орловой) : сб. науч. ст. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2022. – С. 304–308.

4. Кравченко, Д. В. Социально-культурная реконструкция принципов организации «университета» как социального института / Д. В. Кравченко, В. П. Старжинский // Философия и вызовы современности: к 90-летию Института философии НАН Беларуси : материалы междунар. науч. конф., Минск, 15–16 апреля 2021 г. / Институт философии НАН Беларуси ; редкол.: А. А. Лазаревич (пред. редкол.) [и др.]. – Минск, 2021. – С. 279–283.

5. Кравченко, Д. В. Социокультурное обоснование инновационного университета: проблемы и противоречия / Кравченко Д. В., Старжинский В. П. // Высшее техническое образование : проблемы и пути развития: материалы X Международной научно-методической конференции, Минск, 26 ноября 2020 года / Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР, 2020. – С. 106–109.

6. Кравченко, Д. В. Стартап как форма интеграции высшего образования, науки и бизнеса / Д. В. Кравченко, В. П. Старжинский // Высшая школа: опыт, проблемы, перспективы : материалы XVI Международной научно-практической конференции, 25 апреля 2023 года / РУДН. – М., 2023. – 478 с.

7. Старжинский, В. П. Треки развития инновации как основа моделирования инженерно-образовательной экосистемы / В. П. Старжинский, Д. В. Кравченко // Информационные технологии в политических, социально-экономических и технических системах : материалы научно-практической конференции, 22 апреля 2022 года / Белорусский национальный технический университет, Факультет технологий управления и гуманитаризации ; редкол.: Г. М. Бровка (пред. редкол.) [и др.] ; сост. А. В. Садовская. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 54–57.

8. Старжинский, В. П. Конструктивная методология и проектирование социально-культурных онтологий / В. П. Старжинский, Д. В. Кравченко, // Философия в XXI веке: социально-философские проблемы современной науки и техники : материалы Первой междунар. науч.-практич. конф., Москва, 12 мая 2023 г. / Национальный исследовательский университет «МИЭТ». – М., 2023. – 9 с.

9. Старжинский, В. П. Приоритеты инновационной реструктуризации интеллектуального ресурса в сфере ИКТ / В. П. Старжинский, Д. В. Кравченко // Интеллектуальная культура Беларуси: духовно-нравственные традиции и тенденции инновационного развития : материалы Пятой междунар. науч. конф., Минск, 19–20 ноября 2020 г. / Институт философии НАН Беларуси ; редкол.: А. А. Лазаревич (пред. редкол.) [и др.]. – Минск, 2020. – С. 245–248.

10. Старжинский, В. П. Стартап как основание образовательной экосистемы инновационного университета / В. П. Старжинский, Д. В. Кравченко // Информационные технологии в политических, социально-экономических и технических системах : сборник материалов научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов, 20 апреля 2023 года / Белорусский национальный технический университет, Факультет технологий управления и гуманитаризации; редкол.: Г. М. Бровка (пред. редкол.) [и др.] ; сост. А. В. Садовская. – Минск : БНТУ, 2023. – С. 91–94.

11. Старжинский, В. П. Конструктивная методология в проектировании кластера «Университет 3.0» / В. П. Старжинский, Н. С. Старжинская // Наука как общественное благо : материалы второго Конгресса Русского общества истории и философии науки, 25–27 сентября 2020 г. – Санкт-Петербург, 2020. – 678 с.

12. Старжинский, В. П. Гуманизация инженерного образования. Философско-конструктивный подход / В. П. Старжинский. – Минск : Ремико, 1997. – 195 с.
13. Степин, В. С. Философия науки. Общие проблемы / В. С. Степин. – М., 2006. – 367 с.
14. Пат. 10181 РБ, МПК G08G 1/07, G08G 1/09. Система мониторинга и интеллектуальной диспетчеризации автомобилей на скоростных автомагистралях / В. П. Старжинский [и др.] / Патентообладатели В. П. Старжинский [и др.]. Заявл. u20131024 2013.12.03; Опубл. 2014.06.30.

УДК 552.662.158.183

Исследование состава высушенного плода лекарственного растения каперса колючего «*Capparis Spinosa L.*»

Тажибаев Г. Г.[1], Инагамов С. Я.[2], доктор техн. наук, профессор
[1]Наманганский инженерно-технологический институт
160115, Узбекистан, г. Наманган, ул. Касансай, 7
[2]Ташкентский фармацевтический институт
100015, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Ойбека, 45

Аннотация. Данная статья посвящена изучению состава высушенного плода лекарственного растения каперса колючего «Capparis Spinosa L.». Экспериментальные данные, полученные методами сканирующего электронного микроскопа и высокоэффективной жидкостной хроматографии показали, что в составе плода лекарственного растения каперса колючего «Capparis Spinosa L.» имеются такие жизненно важные макро-, микроэлементы и витамины, как натрий, калий кальций, магний, железо, кремний и др. Учитывая богатство состава плода лекарственного растения каперса колючего – «Capparis Spinosa L.» на различные витамины, макро- и микроэлементы, предложено использовать его в качестве приправы к пищевым продуктам.
Ключевые слова: каперсы колючие – «Capparis Spinosa L.», состав, лекарственное растение, высушивание плода, макроэлементы, микроэлементы, витамины, приправы к пищевым продуктам.

Study of the composition of the dried fruit of the medicinal plant capers “Capparis Spinosa L.”

Tajibaev G. G.[1], Inagamov S. Y.[2]
[1]Namangan Institute of Engineering and Technology
[2]Tashkent Pharmaceutical Institute

Annotation. This article is devoted to the study of the composition of the dried fruit of the medicinal plant prickly caper “Capparis Spinosa L.” Experimental data on the obtained preparations of a scanning electron microscope and high-performance liquid chromatography, which in the composition of the substance of the medicinal plant prickly caper “Capparis Spinosa L.” such vital macro-, microelements and vitamins as sodium, potassium, calcium, magnesium, iron, silicon, etc. It has been stablished that,

given the richness of the composition of the fruit of the medicinal plant prickly caper “Capparis Spinosa L.” on various vitamins, macro- and microelements, it is proposed to use as a seasoning for food products.
Keywords: prickly capers “Capparis Spinosa L.” composition, medicinal plant, fruit drying, macroelements, microelements, vitamins, seasonings for food products.

Введение. С самого начала использования продуктов лекарственных растений по сей день человечество занималось хранением и переработкой их сырья. Технология возделывания лекарственных растений является одним из основных направлений сельского хозяйства, и в связи с возросшей в последние годы потребностью к сырьевым ресурсам лекарственных растений рациональное их использование, выращивание в окультуренном виде, разработка методов хранения и первичной переработки заготовленного сырья являются одним из актуальных задач. В связи с этими внедрение современных и интенсивных методов в процессе подготовки растительного сырья для фармацевтической промышленности, разработка и внедрение в практику техники и технологий имеют большое научно-практическое значение [1; 2].

В мире в этом направлении в таких развитых странах, как Россия, США, Англия, Франция, Турция, Германия, Украина, Корея, Япония, Италия, налажено получение качественных продуктов путем совершенствования техники и технологий переработки. В мировой практике производство продуктов путем сушки пищевых продуктов и лекарственных растений, и их плодов с сохранением присущих им физико-химических свойств имеет важное значение [3; 4].

В связи вышеизложенными целью данной работы является исследование состава высушенного плода местного лекарственного растения каперса колючего «Capparis spinosa L.».

Экспериментальная часть. В данной работе в качестве объекта исследований выбраны плоды лекарственного растения каперса колючего – «Capparis Spinosa L.», выращенного в Наманганской области. Плоды были собраны в июле-августе в начале образования плодов каперса колючего (рис. 1).

Рис. 1. Плоды лекарственного растения каперса колючего

Для определения оптимальной температуры высушивания выбрали плоды каперса колючего «Capparis Spinosa L.» определенного размера. Выбранные плоды нарезали на две части, ставили в сушильный шкаф и сушили при различных температурах в диапазоне от 25 ^{o}C до 120 ^{o}C. Для высушивания объекта исследований пользовались термостатом ТС-80 (Производство России) [5]. Анализ элементного состава и морфологическое исследование поверхности высушенных частиц растений проводились с помощью сканирующего электронного микроскопа SEM – EVO MA 10 (Карл Цейс, Германия). Изображение были получены масштабе 250 мкм с помощью программного обеспечения Smart SEM [6].

Содержание флаваноидов определяли методом жидкостной хромотографии на установке Agilent-1200 с автодозатором (Agilent Technologies, США). На 5–10 г взвещенным образцам налили 50 мл 70%-го этилового спирта. Образец перемешивали на магнитной мещалке, одновременно нагревая при температуре 70–80 ^{o}C в течение 1 часа, а потом 2 часа перемешивали при комнатной температуре. Образец оседали, потом фильтровали и экстрагировали. Полученный экстракт центрифугировали в течение 20–30 минут со скоростью 6000–8000 мин$^{-1}$. Образцы брали из поверхности этих экстрактов. Для определения содержание флаваноидов использовались фосфатные и ацетонитрилные буферные растворы. Методика определения количественного содержания витаминов подробно написана в работе [7].

Результаты и их обсуждение. В составе плода лекарственного растения каперса колючего содержатся стероидный сапонин, аскорбиновая кислота, сахар, фермент мирозин, красный пигмент, эфирные масла, масла, йод, органические кислоты, которые могут быть использованы для получения лекарственных средств для лечения различных заболеваний. Также установлено, что он содержит различные витамины, микроэлементы и макроэлементы. Плоды лекарственного растения каперс колючий собирали в период 70–80 % созревания, очищали от посторонних примесей, нарезали толщиной 5, 6 и 7 мм и высушивали в сушильном шкафу в лабораторных условиях при температурах 40, 60, 80, 100 и 120 ^{o}C. Биоактивные вещества из состава высушенного плода выделяли с помощью органических растворителей и определяли их количество. Плоды лекарственного растения каперса колючего (Capparis spinosa L.), высушенные при различных температурах, экстрагировали 70%-м спиртом и очищенной водой два раза и выделяли сухой экстракт, путем гашения растворителя, нагревая экстракты при температуре 60–80 ^{o}C. Количество полученного сухого экстракта в среднем составляет 16,17 % для 70 %-го спиртового экстракта, и 15,58 % для очищенного водного экстракта.

Состав плодов лекарственного растения каперса колючего, высушенного при разных температурах, изучали, разделив на две части. Элементный состав кожуры плода лекарственного растения каперса колючего (Capparis spinosa L.), полученный методом сканирующего электронного микроскопа, показан на рис. 1. Из изображений образцов можно наблюдать (рис. 1), что при повышении температуры высушивания степень однородности на поверхности изображений изменяется, а при температурах 100 и 120 °C можно наблюдать процесс незначительного потемнения образцов. В диапазоне температур 60–80 °C установлено, что образцы имели степень однородности и однообразие изображений поверхности.

Изменения состава плодов лекарственного растения каперса колючего (Capparis spinosa L.) в кожуре, высушенных при различных температурах, подтверждались с изменением количественного содержания элементов в его составе (табл. 1).

Таблица 1. Изменение количества элементов в кожуре каперса колючего

Элементы, содержащиеся в плодах	Количество элементов при разных температурах сушки (массовая доля), %				
	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C	120 °C
Натрий	0,13	0,08	0,08	0,08	0,08
Магний	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27
Кремний	0,20	0,11	0,11	0,10	–
Фосфор	0,25	0,12	0,12	0,12	0,07
Алюминий	–	0,06	0,21	0,21	–
Сера	1,39	0,95	0,81	0,46	0,14
Калий	5,26	5,30	5,05	5,14	5,12
Кальций	0,33	0,14	0,11	0,28	0,28
Железо	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17
Общая сумма	8,02	7,22	6,93	6,83	6,13

Анализ результатов элементного исследования состава кожуры плодов лекарственного растения каперса колючего показал, что в результате процесса литья проб при высокой температуре можно увидеть снижение содержания элементов и их количественных значений. Такие изменения можно наглядно проследить в табл. 1. Из табл. 1 видно, что при температуре сушки кожуры плода лекарственного растения в пределах 60–80 °C имеется максимальное содержание элементов и их количественных значений.

Установлено, что количественные значения элементного состава лекарственных растений при этих температурах сушки равны следующим значениям в массовой доле (%). Соответственно, при 60 °C температуре: Na – 0,08; Mg – 0,28; K – 5,30; Ca – 0,14, а при 80 °C температуре: Na – 0,08; Mg – 0,27; K – 5,05; Ca – 0,11 (табл. 1). Следует отметить, что температура сушки плодов лекарственных растений определяется с учетом вида сырья, назначения сушки и вида содержащихся в нем микро-, макроэлементов и витаминов. Изменение количественных значений составляющих элементов плода лекарственного растения каперса колючего (Capparis spinosa L.) приведено в табл. 2.

Установлено, что при данных температурах сушки сумма элементного содержания лекарственных растений равна следующим величинам: при 60 °C температуре: Na – 0,24; Mg – 0,24; K – 1,20; Ca – 0,44; и при 80 °C температуре: Na – 0,22; Mg – 0,20; K – 1,18; Ca – 0,42.

Таким образом, установлено, что при высушивании свежесобранных плодов лекарственного растения каперса колючего при различных температурах растение сохраняет максимальное количество микро, макроэлементов и витаминов в сухофруктах, и было показано, что максимальное количество микро-, макроэлементов и витаминов, обладающих лечебными свойствами, сохраняется в сухофруктах, высушенных при температуре 70±2 °C. При использовании порошка

плодов лекарственного растения каперса колючего для пищевых продуктов в качестве приправы важную роль играют витамины, входящие в его состав (табл. 3).

Таблица 2. Изменение количества элементов в мясистой, внутренней части плода каперса колючего

Элементы, содержащиеся в плодах	Количество элементов при разных температурах сушки (массовая доля), %				
	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C	120 °C
Натрий	0,26	0,24	0,22	0,22	0,20
Магний	0,25	0,24	0,20	0,17	0,12
Кремний	0,09	0,08	0,06	0,08	0,08
Фосфор	0,54	0,55	0,49	0,49	0,20
Сера	1,46	1,22	1,14	1,31	0,28
Калий	1,32	1,20	1,18	1,14	1,12
Кальций	0,47	0,44	0,42	1,18	1,20
Железо	0,47	0,44	0,42	0,42	0,41
Общая сумма	5,89	5,46	5,03	5,01	1,71

Таблица 3. Количество витаминов в порошке фруктов каперса колючего

Наименование товара	Количество витаминов, мг/100 мл							
	при комнатной температуре				70±2 °C при температуре			
	B_1	B_6	B_2	B_{12}	B_1	B_6	B_2	B_{12}
Порошок каперса колючего	0,77	1,34	0,24	0,05	2,2	2,12	0,86	0,17

Как показали результаты исследования, наличие большого количества в приправе витаминов B_1, B_2, B_6 и B_{12}, восстановителей здоровья и требуемых для организма, из состава порошка плода лекарственного растения каперса колючего (Capparis spinosa L.) в заметной степени повышает биологические показатели продукта.

Количество флаваноидов рутина и кверцетина в составе семян лекарственного растения каперса колючего (Capparis spinosa L.) определяли с помощью метода высокоэффективной жидкостной хроматографии (рис. 1 и 2). Как показали результаты опытов, количество рутина в составе семян лекарственного растения каперс колючий составило – 0,29 %, а количество кверцетина – 0,57 %.

Таким образом, исследованием состава высушенного плода лекарственного растения каперса колючего «Capparis Spinosa L.» определен состав лекарственного растения и выявлено наличие в его составе различных витаминов, микроэлементов и макроэлементов. Учитывая богатство витаминов, плоды лекарственного растения каперса колючего предложено использовать в качестве приправы к пищевым продуктам.

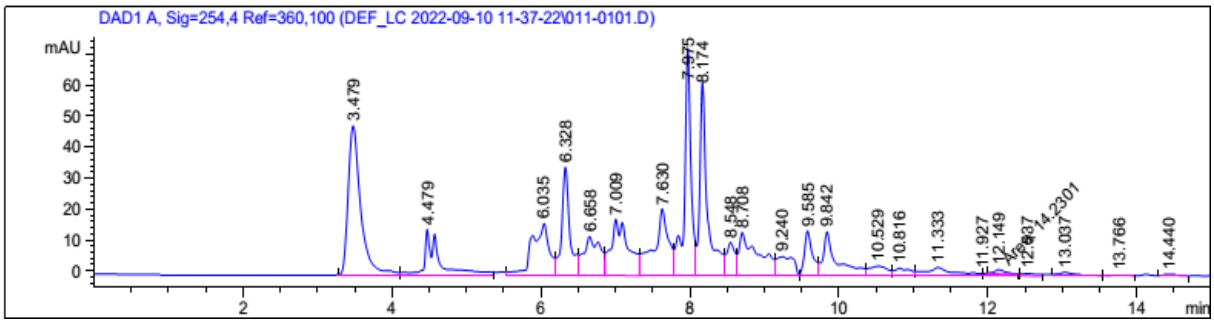


Рис. 2. Хроматограмма определения количества рутина в составе семян лекарственного растения каперса колючего

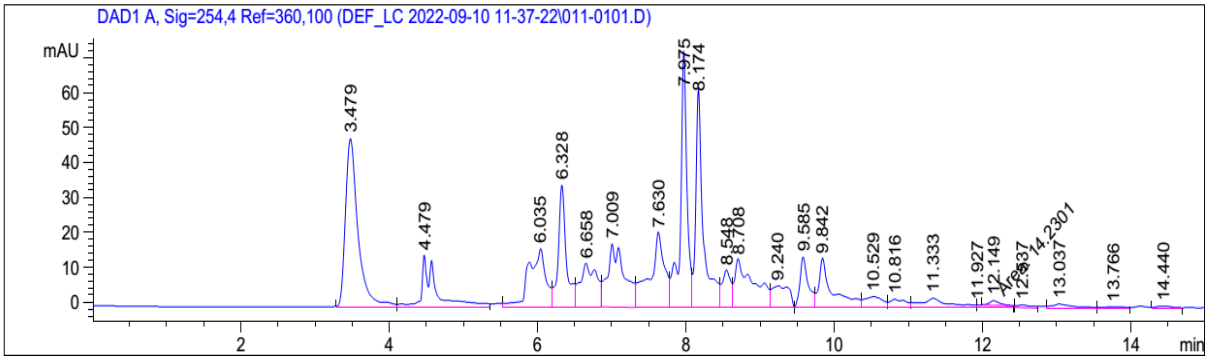


Рис. 3. Хроматограмма определения количества кверцетина в составе семян лекарственного растения каперса колючего

Литература

1. Flavour profile of capers “Capparis Spinosa L.” from the Eolian Archipelago by HS-SPME/ V. Romeo [and other] // GC-MS. Food Chem., 2007. – P. 1272–1278.

2. The nutritional significance, biosynthesis and bioavailability of glucosinolates in human food / F. R. Mithen // J. Sci. Food Agric. – 2000. – No 80. – P. 967–984.

3. Ҳоликова, Н. Б. Маҳаллий ковул «Capparis Spinosa L.» ўсимлигининг илдиз пўстлоғидан спиртли тиндирма олишнинг назарий асослари. / Н. Б. Ҳоликова, Ш. В. Абдуллаев // НамДУ илмий ахборотномаси. – 2019. – йил 6-сон. – С. 100–102.

4. Асилбекова, Д. Т. Липиды листьев «Capparis Spinosa L.» / Д. Т. Асилбекова, Ф. М. Турсунходжаева // Химия растительного сырья. – 2009. – № 2. – С. 97–99.

5. Махлаюк, В. П. Колючие каперсы / В. П. Махлаюк // Лекарственные растения в народной медицине. – М. : Нива России, 1992. – 544 с.

6. Калмыков, К. Б. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный анализ неорганических материалов / К. Б. Калмыков, Н. Е. Дмитриева. – Москва, 2017. – 58 с.

7. Зикиряев, А. Ўсимликлар биокимесидан амалий машғулотлар / А. Зикиряев, П. Мирхамидова. – Тошкент : Меҳнат, 2001. – 112 б.

8. Moghaddasi, M. S. Caper «Capparis Spinosa L.» importance and medicinal usage / M. S. Moghaddasi // Advances in Environmental Biology. – 2011. – P. 872–880.

9. Турсунов, Х. О. Разработка технологии сушки и изучение качественного состава и количественного содержания надземной части портулака огородного / Х. О. Турсунов, Ж. Х. Холов, К. А. Убайдуллаев // Фармацевтический журнал. – Ташкент. –2018. – № 4. – С.54–57.

10. Chemical composition of Fruit Capparis spinosa / X. P. Fu [and other] // Chemistry of natural prod. – 2007. – Vol. 43. – No 2.

11. The chemical constituents of capparisspinosa of Jordanian origin / A. Monther [et al] // Natural Product Research. – 2003.

12. Jalolov. I. J. Динамика накопления алкалоидов, микро- и макроэлементов в различных органах «Capparis Spinoza L.» / I. Jalolov, U. X. Shermatova // Science and innovation. – 2022. – № 1. – С. 696–704.

13. «Capparis Spinosa L.» (Caper) fruit extract in treatment of type 2 diabetic patients: a randomized double-blind placebo- controlled clinical trial / H. F. Huseini [et al.] // Complement. – Ther Med. – 2013. – No 21(5). – P. 447–452.

14. Composition and technology of drying fruit of the medicinal plant «Capparis spinosa L.» and its study / S. Ya. Inagamov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 979, International Scientific and Practical Conference «Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture» (EESTE 2021) 19/10/2021 – 24/10/2021 Moscow. – Режим доступа: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/979/1/012100/pdf.

15. Тажибаев, Ғ. Ғ. Тиканли ковул Capparis spinosa L. доривор ўсимлигининг меваси-фармацевтика саноати учун хомаше. «AGRO ILM» / Ғ. Ғ. Тажибаев, С. Е. Инагамов // Jurnali. – Тошкент. – 2021. – № 1. – б. 42–43.

16. Сажин, Б. С. Научные основы техники сушки / Б. С. Сажин, В. Б. Сажин. – М. : Наука, 1997. – С. 448.

17. Ахмедов, Э. Т. Доривор ўсимликлар хом-ашесини тайерлаш, сақлаш ва дастлабки қайта ишлаш технологияси / Э. Т. Ахмедов, Э. Т. Бердиев // Тошкент. – 2020. – б. 51–56.

18. Study of the composition of the medicinal plant fruit cappers prickly «Capparis Spinosa L.» [Электронный ресурс] / G. G. Tajibaev [et al] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 723, International Scientific and Practical Conference «Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture» (EESTE 2021) 19/10/2021 – 24/10/2021 Moscow. – Режим доступа: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/723/2/022021/pdf.

УДК 57.041

Нейросетевая оценка накопления металлов в организме жителей крупного города в результате полиметаллического загрязнения среды обитания

Тунакова Ю. А.[1], доктор хим. наук, профессор;
Новикова С. В.[1], доктор техн. наук, доцент; Валиев В. С.[2], Новикова К. Н.[2]
[1]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ
420126, Россия, г. Казань, ул. Четаева, 18,
[2]Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан
420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, 28

Аннотация. Прямая оценка ретенции чрезвычайно сложна как из-за множества внутренних механизмов, обеспечивающих динамику содержания металлов, так и из-за огромного разнообразия органов, тканей, процессов, обеспечивающих их перераспределение, транспорт и накопление. Содержание металлов в аккумулирующей среде организма является интегральным показателем, суммирующим мультисредовое воздействие и учитывающим все пути поступления металлов в организм. Разработана сложная нейросетевая модель задержки металлов в организме, включающая ансамбли нейросетевых регрессионных моделей, рассчитывающих уровни задержки металлов в зависимости от места проживания детей-подростков и поступления не только с потребляемой питьевой водой, но и с вдыхаемым воздухом. В результате исследований сформирована база данных концентраций металлов в атмосферном воздухе, потребляемой питьевой воде, крови и моче с учетом физиологических особенностей тестируемой чувствительной группы детей-подростков с целевой территориальной привязкой анализируемых проб. Упрощенная структура модели нейросетевой регрессии (уменьшение количества входов) дает достаточную точность, а сокращение количества нейронных сетей повышает адекватность моделей.
Ключевые слова: металлы, поступление, организм, удержание, кумуляция, биосубстраты, нейронные сети.

Neural network assessment of metal accumulation in the body of inhabitants of a large city as a result of polymetallic pollution of the habitat

Tunakova Y. A.[1], Novikova S. V.[1], Valiev V. S.[2], Novikova K. N.[2]
[1]Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev
[2]Institute of Problems of Ecology and Subsoil Use Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan

Annotation. Direct assessment of retention is extremely complex, both due to the many internal mechanisms that ensure the dynamics of the metal content, and due to the huge variety of organs, tissues, processes that ensure their redistribution, transport and accumulation. The content of metals in the accumulating body environment is an

integral indicator that summarizes the multi-environment impact and takes into account all the ways in which metals enter the body. A complex neural network model of metal retention in the body was developed, including ensembles of neural network regression models that calculate the levels of metal retention, depending on the place of residence of adolescent children and intake not only with consumed drinking water, but also with inhaled air. As a result of the studies, a database of metal concentrations in the atmospheric air, consumed drinking water, blood and urine was formed, taking into account the physiological characteristics of the tested sensitive group of adolescent children, with targeted territorial reference of the analyzed samples. The simplified structure of the neural network regression model (reducing the number of inputs) gives sufficient accuracy, and the reduction of neural networks increases the adequacy of the models.
Keywords: metals, intake, organism, retention, cumulation, biosubstrates, neural networks.

Introduction. The response marker of the human body to environmental objects pollution is accumulation of various pollutants in the blood, urine and tissues of the body. At the same time, both the pollutants themselves and specific compounds, called endogenous metabolites, are accumulated, the variability of which is affected by the assessed pollution. In this case, metals have a special meaning, since they belong to both substances' groups. Metals are of the greatest interest as components of the internal environment of living organisms, being direct participants in their vital activity and metabolism [1–6].

The elemental composition stability for the body is one of the most important and mandatory conditions for its normal functioning. Each metal has its own safe concentrations range in tissues, which makes it possible to adequately maintain the physiological state of the body and its biochemical functions. At the same time, metals can exhibit toxicity if they accumulate excessively in the body [7–9].

Metals that enter the human body orally and with inhaled air are redistributed among organs and tissues, excreted and partially accumulated in its biosubstrates. Therefore, one of the most reliable methods characterizing the polymetallic impact on public health is the assessment of the metals content in biosubstrates. At the same time, those biosubstrates that are involved in the processes of metal accumulation should be considered the most informative or diagnostic [10–15].

The key results feature of such researches should be recognized not as the usual statement about fact of change in the metals concentrations, but the special kinetics of this change, leading to the retention of these substances in the body [16–18].

Most researchers note a direct correlation between the metals content in biosubstrates of the body and environmental objects [15–18].

In average statistical terms, the intake of metals by the water-food route into the body of schoolchildren within a single urban area can be taken as a constant value. However, the quality of atmospheric air can vary significantly due to the high dynamism of the air environment. In this regard, the relationship assessment between the content of atmospheric impurities and metals in hair is of particular interest, realized by our experimental studies.

Main part. At the first stage, we conducted the metals content study in hair of adolescent children living in various districts of the Nizhnekamsk city. The representative group of examined children consisted of 48 people from 8 to 14 years old. They lived in the coverage areas of automatic air pollution control stations (AAPCS) located in different parts of the city. As cumulative biosubstrates, we used hair samples taken as part of a special screening study.

Atomic absorption spectrophotometry (AAS) was used to evaluate the content of 9 metals in children's hair: zinc, copper, manganese, cadmium, nickel, lead, chromium, iron and strontium. Results statistical evaluation was carried out by STATISTICA 12.6 program. The study results are presented in table 1.

Table 1. Metal content (M ±m, µg/g) in children's hair for different study areas

Metal	Zones/number of examined				
	AAPCS 12 *n* = 7	AAPCS 14 *n* = 7	AAPCS 13 *n* = 10	AAPCS 15 *n* = 10	AAPCS 11 *n* = 14
Zn	92.4 ±7.8	110.7 ±7.1	114.5 ±7.1	104.5 ±7.5	123.5 ±12.7
Cd	0.64 ±0.11	0.61 ±0.14	0.72 ±0.16	0.71 ±0.13	0.87 ±0.14
Cu	9.23 ±1.21	10.6 ±0.89	11.4 ±0.92	11.3 ±1.25	11.3 ±0.99
Mn	1.046 ±0.28	1.005 ±0.16	1.087 ±0.06	1.12 ±0.18	0.97 ±0.12
Ni	0.82 ±0.17	1.24 ±0.27	1.42 ±0.26	1.13 ±0.16	1.25 ±0.22
Pb	4.27 ±0.3	10.47 ±1.72	7.69 ±1.07	8.35 ±0.81	6.6 ±1.79
Cr	0.418 ±0.11	1.43 ±0.35	0.87 ±0.09	1.026 ±0.15	1.32 ±0.16
Fe	22.2 ±4.3	22.6 ±1.52	20.6 ±1.79	17.7 ±1.12	28.2 ±3.79
Sr	11.9 ±3.68	6.85 ±1.006	9.65 ±1.34	6.55 ±0.81	8.61 ±1.14

When comparing the average values of various metals content in the study areas, the following areas are statistically significant (significance level $p < 0.05$, according to Student criterion): for cadmium, the AAPCS 11 coverage zones (significantly differ from the AAPCS 12 and AAPCS 14 zones); for lead – AAPCS 14, AAPCS 15 (significantly differ from AAPCS 12); for chromium – AAPCS 14 and AAPCS 11 (significantly differ from AAPCS 12). For other metals, no statistically significant differences were noted, although there is a significant range of average values.

The best way to scale different-dimensional variables is to correlate each negative factor to its threshold value. This is a manifestation of an event whose probability is described by Bayes' theorem, which takes into account both a priori and a posteriori probability [20].

We used the ratio of actual concentrations to background (reference) concentrations: C_{act} / C_{ref}, which we will refer to as the hazard ratio (HR) in what follows, to assess the facts of exceeding the background indicator by specific values. Background metals concentrations (M ±m, µg/g) are given in our previous studies [22–24].

We took into account the ratio of a posteriori and a priori probabilities. This ratio estimates the probability of a risk event in a particular area of space relative to information about how often this event occurred in all areas. In what follows, we will refer to this as Bayesian probability. We used the following algorithm for determining Bayesian probability:

D – event consisting in the fact that we consider the full set of experimentally measured indicators tuples throughout the territory. According to the task $P(D) = 1$.

D_i – an event consisting in the fact that we consider a set of experimentally measured indicators tuple within a given zone i ($i = \overline{1 \ldots n}$).

S – an event consisting in the fact that, during consideration, an excess of the permissible threshold value was found for at least one indicator in at least one data tuple.

The probability of event S can be calculated as the total probability using the formula:

$$P(S) = \sum_{i=1}^{n} p(D_i)\, p(S \mid D_i). \tag{1}$$

We will assume that we are examining the entire set of data: $P(D) = 1$. Then the events D_i form a complete group:

$$\sum_{i=1}^{n} p(D_i) = P(D) = 1. \tag{2}$$

It follows from formula (4) that to calculate the posteriori probability of detecting a threshold exceeding when considering a specific zone i, we can apply the Bayes formula:

$$P\left(D_i \mid S\right) = \frac{p\left(D_i\right) p\left(S \mid D_i\right)}{p\left(S\right)}. \tag{3}$$

Note that due to (3) and (4):

$$P\left(D_i \mid S\right) = \frac{p(D_i)\, p(S \mid D_i)}{\sum_{i=1}^{n} p(D_i)\, p(S \mid D_i)} = \frac{p(D_i)\, p(S \mid D_i)}{\sum_{i=1}^{n} p(S \mid D_i)}, \tag{4}$$

here $p(S|D_i)$ is a prior probability that if the excess occurred, then it happened in the zone D_i.

We calculate the probability $p(D_i)$ using the classical formula (7) for determining the probability as the ratio of the conditional powers of the sets D_i and the entire set D under consideration:

$$P\left(D_i\right) = \frac{n_i}{N}. \tag{5}$$

If n_i is the area of the territory of the region D_i, then N is the entire area of the region under study.

In this way, we can calculate the probabilities of impurity concentrations exceeding their threshold values in different zones, and as a generalizing indicator, we propose to use the probability of exceeding the threshold for at least one of the estimated parameters.

As calculations result, we obtained the following probabilistic characteristics for integral HR distribution according to metals content in the hair of children living in different coverage areas of AAPCS on the Nizhnekamsk sity territory (table 2).

Thus, the highest probability of simultaneous excess of concentrations in hair over the background for at least half of the analyzed metals is highest in the AAPCS 11 coverage area (21 %), and the lowest in the AAPCS 12 coverage area (4.8 %).

If we consider the probability of exceeding the conventional metal content in hair by 1.5 times, then the descending series of values is built as follows: AAPCS 11, (0.267) > AAPCS 13 (0.2) > AAPCS 14 (0.133) > AAPCS 15 (0.067) > AAPCS 12 (conditionally 0).

Table 2. Values of integral Hazard Ratio and their probabilities in different study areas*

Areas	HR values and their probabilities (P_{Re})				
	0.5	1	1.5	2	2.5
AAPCS 11	0.200	0.210	0.267	0.700	1.00
AAPCS 13	0.143	0.161	0.200	0.000	0.00
AAPCS 14	0.157	0.145	0.133	0.000	0.00
AAPCS 15	0.143	0.129	0.067	0.000	0.00
AAPCS 12	0.071	0.048	0.000	0.000	0.00

* Note: probabilities ≤0.0001 were evaluated as zero

Due to the fact that the content of impurities of pollutants in the environment, in particular, in the atmospheric air, directly affects the failure of the organism's adaptation, it is possible to group data series covering the probability of metals accumulation and impurities concentrations, with the corresponding metals concentrations in biosubstrates. Thus, during building our models we took into account the metals accumulation in the hair as a way of expressing the retention of metals in the body, generalized as the probability that the accumulation of at least one metal in the hair will go beyond the background value and indicated in our model as the retention probability (P_{Re}).

The main indicator widely used in assessing the risk to public health as a result of environmental pollution is the hazard coefficient (HQ), expressed as the ratio of the actual exposure concentration (or dose) of a chemical to its safe (reference) value [25]:

$$HQ = \frac{AC}{RfC}, \quad (6)$$

here AC – average concentration, mg/m^3; RfC – reference (safe) concentration, mg/m^3.

At the same time, we assume that if the calculated hazard coefficient (HQ) of a particular substance does not exceed one, then the probability of developing harmful effects in a person with daily intake of the substance at a given concentration (dose) is insignificant and such an effect is characterized as acceptable. In this study, the list of substances for priority evaluation was selected from the general list of impurities controlled at AAPCS in Nizhnekamsk, the concentrations of which exceed the reference values.

For each listed substance, hazard quotients (HQ) were calculated, which are the ratios of actual and reference concentrations for these substances. By adding the hazard coefficients of all impurities, for each calculated point, hazard indices (IHQ) were obtained.

The data were grouped by study areas (areas linked to AAPCS posts). The values of the obtained IHQ indices are presented in table 3.

Table 3. IHQ values for the totality of substances

Areas	IHQ
AAPCS 13	3.39
AAPCS 12	0.64
AAPCS 11	5.45
AAPCS 14	0.88
AAPCS 15	0.64

The analysis of received IHQ allows to exclude sites in the coverage area of AAPCS 12, AAPCS 14, AAPCS 15, focusing on the coverage areas of AAPCS 13 and AAPCS 11.

When we compared the values of the adverse event probability obtained by assessing the contamination of children's hair samples with metals and assessment of air pollution calculated for different parts of the city, we saw a general trend in their variability. This allows us to consider these indicators as part of the integral assessment of the aerogenic impact.

Based on the foregoing, we designed a hybrid intelligent model consisting of two cascaded neural networks. The first level neural network model calculates the probability P_{Re} depending on the content of pollutant impurities set in the air. The second-level neural network predicts the toxic metals content (strontium, lead and chromium) in the hair of children living in different territory parts.

Comparing the values of priority impurities concentrations with the metal's accumulation indicators in the hair, it is possible to form predictive values P_{Re}. Since the probability P_{Re} is directly related to disturbances in the content of metals in the body when air with pollutants is inhaled, it indirectly reflects the intake of metals with inhaled air.

The pollutants concentration values in the air are fed to the input of the first level neural network model. For second level neural network models, the probability values P_{Re} calculated by the first level neural network of the cascade and the average value of HQ over all impurities are used as inputs. The HQ was calculated for impurities that were fed to the input of the first level model. The output of the model is the content of metals in the hair of children.

The general operation scheme for cascade model is as follows [26–30]:

Structure of the first level neural network model for calculating the retention probability P_{Re} value depending on the content of priority pollutants in the atmospheric air:

– number of input layer neurons – corresponds to the number of priority substances (up to 10);

– number of output layer neurons – 1;

– number of hidden layers – 1;

– number of neurons in the hidden layer – 6;
– activation function of hidden layer neurons – hyperbolic tangent with slope 3;
– activation function of output layer neurons – linear with saturation with slope 3;
– Method of normalization – reduction to the interval [–1; +1].

At the second level, there are three independent neural network models for calculating the content of chromium, strontium and lead in the hair of children, respectively. The inputs for all three models are the P_{Re} values obtained at the previous level, as well as the HQ values calculated relative to the concentrations of pollutants in the atmosphere. Outputs – metals concentrations in children's hair.

Graphically, the structure of developed two-level cascade model is shown in fig. 1.

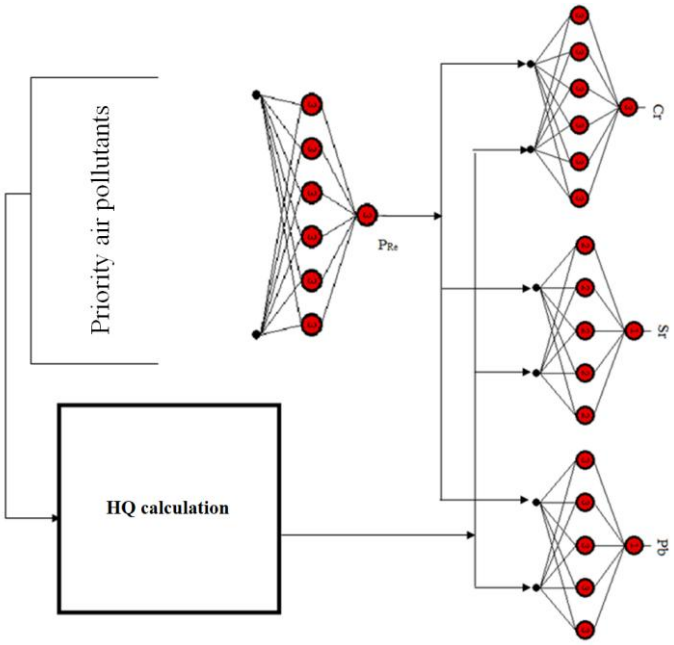


Fig. 1. Scheme of sequential neural network cascade for calculating the metals content in the hair of adolescent children

The individual neural network model's errors for assessing the metals content in the hair of adolescent children seemed to be high only for the content of chromium (an error of more than 30 %), with respect to other metals, the error was 5–10 %.

Conclusions. As a result of this research, we have proposed a method for assessing the intake of metals into the body based on their content in bio substrates and taking into account the retention of metals in the body using a cascade hybrid intelligent system. This system does not require expensive laboratory tests and allows us to quantify the metals balance in the body. We have built a neural networks cascade that forms a closed circuit for metals content homeostatic assessment in the biological substrates of adolescent children, depending on the intake of priority pollutants with atmospheric air. The second level of the sequential neural network cascade for calculating the metals content in the hair of children and adolescents should be organized as separate predictive neural networks. The results of this study can be used, among other things, for patient-oriented diagnosis of environmentally conditioned microelementoses in individual locations.

Acknowledgments. Scientific research was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation as part of the fulfillment of obligations under the Agreement No. 075-03-2023-032 dated 16.01.2023 (topic number FZSU-2023-0005).

References

1. Qu, C. S. Human Exposure Pathways of Heavy Metals in a Lead-Zinc Mining Area / C. S. Qu, Z. W. Ma, J. Yang // PLoS One. – 2012. – No 7 (11).

2. The levels of calcium and magnesium, and of selected trace elements, in whole blood and scalp hair of children with growth retardation / H. Ozmen [et al] // Iran J Pediatr. – 2013. – Apr. 23 (2). – P. 125–130.

3. Li, J. Identification of human age using hair trace element concentration and support vector machine method / J. Li, W. Wang, F. Zhang // Biol. Trace Elem. Res. – 2011. – Dec. 143 (3). – P. 1441–1450.

4. Levels of Cd, Pb, As, Hg, and Se in hair / Y. Li [et al] // Bull. Environ. Contam. Toxicol. – 2012. – Jul 89 (1). – P. 125–128.

5. Lonnerdal, B. Trace element absorption in infants as a foundation to setting upper limits for trace elements in infant formulas / B. Lonnerdal // J. Nutr. – 1989. – Vol. 119, No 123. – P. 1839–1844.

6. Metal(loid) levels in biological matrices from human populations exposed to mining contamination-Panasqueira Mine (Portugal) / P. Coelho [et al] // J. Toxicol. Environ. Health. A. – 2012. – No 75 (13–15). – P. 893–908.

7. In search of decoding the syntax of the bioelements in human hair – A critical overview / B. Momčilović // J Trace Elem Med Biol. – 2018. – Dec. 50. – P. 543–553.

8. Reference Values for Chemical Elements Concentration in Hair of Adults in the Republic of Tatarstan / N. A. Agadzhanyan [et al] // Human Ecology. – 2016. – No 4. – P. 38–44.

9. Indicator ability of biosubstrances in moderate occupational exposure to toxic metals / A. R. Grabeklis [et al] // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. – 2011. – Vol. 25. – P. 41–44.

10. Bridges, C. C. Molecular and ionic mimicry and the transport of toxic metals / C. C. Bridges, R. K. Zalups // Toxicol Appl Pharmacol. – 2005. – May, 204 (3). – P. 274–308.

11. Reference Values for Chemical Elements Concentration in Hair of Adults in the Republic of Tatarstan / N. A. Agadzhanyan [et al] // Ekologiya cheloveka [Human Ecology]. – 2016. – № 4. – P. 38–44.

12. Concentration and reference interval of trace elements in human hair from students living in Palermo, Sicily (Italy) / G. Dongarra [et al] // Environ. Toxicol. – 2011. – No 32. – P. 27–34.

13. Clinical Toxicology / M. D. Ford [et al]. – W. B. Saunders Company, 2001.

14. Hanif, S. Statistical Evaluation of Trace Metals, TSH and T4 in Blood Serum of Thyroid Disease Patients in Comparison with Controls / S. Hanif, A. Ilyas, M. Shah // Biological Trace Element Research. – 2018. – May, 183 (1). – P. 58–70.

15. Levels of heavy metals in urine samples of school children from selected industrial and non-industrial areas in Dar es Salaam, Tanzania / A. M. John [et al] // African Health Sciences. – 2018. – Dec, 18 (4). – P. 1226–1235.

16. Klaassen, C. D. Casarett and Doull's Essentials of Toxicology / C. D. Klaassen, J. B. Watkins. – MC Graw-Hill, 2004.

17. The Relationship between Dietary, Serum and Hair Levels of Minerals (Fe, Zn, Cu) and Glucose Metabolism Indices in Obese Type 2 Diabetic Patients / E. Kryl [et al] // Biological Trace Element Research. – 2019. – May, 89 (1). – P. 34–44.

18. Assessment of the trace element blood condition in children with congenital deformities of the thoracic and lumbar spine (Preliminary report) / T. V. Lobachevskaya [et al] // Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery. – 2019. – Vol. 7. – No. 1. – P. 51–56.

19. Blaurock-Busch, E. Heavy metals and trace elements in hair and urine of a sample of arab children with autistic spectrum disorder / E. Blaurock-Busch, O. Amin, T. Rabah // Maedica (Buchar). – 2011. – Oct, 6 (4). – P. 47–57.

20. Michalak, I. Exposure to nickel by hair mineral analysis / I. Michalak, M. Mikulewicz, K. Chojnacka // Environ Toxicol Pharmacol. – 2012. – Nov. 34 (3). – P. 27–34.

21. Vanaelst, B. Mineral concentrations in hair of Belgian elementary school girls: reference values and relationship with food consumption frequencies / B. Vanaelst, I. Huybrechts, N. Michels // Biol Trace Elem Res. – 2012. – Dec. 150 (1–3). – P. 56–67.

22. Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases / D. Kahneman [et al]. – Cambridge University Press, 2005. – 555 p.

23. Buhrmester, V. Analysis of explainers of black box deep neural networks for computer vision: a survey / V. Buhrmester, D. Münch, M. Arens // Machine Learning and Knowledge Extraction. – 2021. – Vol. 3, No. 4. – P. 966–989.

24. Finding the optimal topology of an approximating neural network / K. Yotov [et al] // Mathematics. – 2023. – Vol. 11, No. 217. – P. 1–18.

25. Nonlinear Poisson regression using neural networks: a simulation study / N. Fallah [et al] // Neural Computing and Applications. – 2009. – Vol. 18, No. 8. – P. 939–943.

26. Method for determining regional reference values of metal content in biological substrates and their intake into the body via drinking water / Y. Tunakova [et al] // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2021. – No 18. – P. 1–9.

27. Modeling of processes of formation of the microelement status of an organism of children taking in to account the waterway of receipt / Yu. A. Tunakova [et al] // Messenger Kazan. Tekhnolog. un. – 2014. – Vol. 17, No. 16. – P. 145–147.

28. P 2.1.10.1920-04 Human Health Risk Assessment from Environmental Chemicals. – Moscow : Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Surveillance of the Russian Ministry of Health, 2004. – 143 p.

29. Novikova, S. V. Use of neural network technologies for the forecast of high level of pollution of atmospheric air in the cities / S. V. Novikova, Yu. A. Tunakov // Health and safety. – 2011. – No. 1. – P. 21–28.

УДК 63.630.634.747

Изучение идентификационных показателей и качества бузины (Sambucus nigra), выращенной в условиях Узбекистана

Хакимов Ш. З., канд. с.-х. наук, доцент; Тургунпулатова Ш. М.
Наманганский инженерно-технологический институт
160115, Узбекистан, г. Наманган, ул. Касансай, 7

Аннотация. Использование полученных данных в сочетании с результатами сенсорного анализа может служить основой для разработки комплексной методики определения подлинности вин. В качестве идентифицирующих необходимо выделить те компоненты экстракта бузиновых вин и их соотношения, которые не поддаются подделке и для определения которых используются современные инструментальные методы анализа, обладающие высокой точностью и достоверностью результатов. Применение математических методов при разработке комплексной методики идентификации вин позволит обеспечить высокую точность экспертизы, обосновать выбранные показатели и установить возможную взаимосвязь органолептической оценки с показателями аутентичности.
Ключевые слова: бузиновые вина, физико-химические показатели, экстрактивные компоненты, идентификационные показатели, показатели качества.

Study of identification indicators and quality of elderberry (Sambucus nigra) grown in the conditions of Uzbekistan

Khakimov S. Z., Turgunpultova S. M.
Namangan Engineering and Technology Institute

Annotation. The use of the obtained dt in combination with the results of sensory analysis can serve s the basis for the development of comprehensive methodology for determining the authenticity of wines. s identifying components, it is necessary to highlight those components of the elderberry wine extract and their ratios that cannot be counterfeited and for the determination of which modern instrumental methods of analysis re used, which have high accuracy and reliability of the results. The use of mathematical methods in the development of comprehensive methodology for identifying wines will ensure high accuracy of the examination, substantiate the selected indictors and establish possible relationship between organoleptic assessment and authenticity indictors.
Keywords: elderberry wines, physicochemical indictors, extractive components, identification indictors, quality indicators.

Введение. В нашей стране качество вин на соответствие стандартам определяют всего лишь несколько нормируемых физико-химических показателей. При этом два из них (минимальное содержание приведенного экстракта и максимальное содержание лимонной кислоты) внесены относительно недавно в последние версии стандартов. Как показывает практика, этих показателей часто бывает недостаточно для получения объективного заключения о под-

линности вин. В то же время за рубежом для оценки подлинности и качества вин используют контролируемые показатели, для которых нельзя установить единую норму, но это возможно сделать для определенных групп вин конкретно по отдельным регионам производства. Известно, что вина относятся к условной группе винодельческой продукции, объединенной единой акцизной ставкой, и включают столовые вина (сухие, полусухие, полусладкие и сладкие), вина географических наименований, выдержанные вина географических наименований географических наименований и коллекционные вина географических наименований. Исследованиями известных отечественных и зарубежных ученых – Оганесянца Л. А., Жировой В. В., Агеевой Н. М., Гугучкиной Т. И., Якуба Ю. Ф., Положишниковой М. А., Гержиковой В. Г., Аникиной Н. С., Кузьминой Е. И., Сенькиной З. Е., Leske P., Schlesier K., Versini G., Cpron X.и др. внесен большой вклад в изучение физико-химического состава различных типов вин, разработаны современные подходы и методики в оценке их происхождения и подлинности. Эти исследования являются основополагающими в ходе дальнейших исследований, направленных на разработку новых критериев оценки подлинности виноматериалов и вин.

Методы исследования. Образцы вин были систематизированы в соответствии с регионами их производства и категорией вина. Подготовительным этапом исследований, с целью исключения информационной фальсификации, была информационная экспертиза – проверка наличия соответствующей документации в магазине, изучение надписей на этикетках и контрэтикетках и соответствие их требованиям нормативной документации, проверка наличия акцизной марки. Следующим этапом идентификационной экспертизы является определение товарного вида (визуальный метод) и органолептическая оценка продукции (органолептический метод) [4]. Органолептическая оценка исследуемых образцов проводилась в соответствии с требованиями ГОСТ 32051. Образцы вин оценивались по следующим показателям: внешний вид – прозрачность, цвет, аромат (букет), вкус и типичность по 10-бальной шкале.

Для определения нормируемых органолептических и физикохимических показателей исследуемых образцов вина были использованы стандартизированные методы анализа, а также методики, аттестованные в установленном порядке. Органолептические показатели образцов вин определяли в соответствии с ГОСТ 32051 [3].

При исследовании физико-химического состава вин определяли:

– объемную долю этилового спирта по ГОСТ 32095 [5];

– массовую концентрацию сахаров по ГОСТ 13192 [7];

– массовую концентрацию титруемых кислот по ГОСТ 32114 [8];

– массовую концентрацию приведенного экстракта по ГОСТ 32000 [9].

Экспериментальная часть. Из литературных данных известно, что для проведения эффективной товарной экспертизы по идентификации винодельческой продукции необходимым и наиболее важным условием является создание базы данных, позволяющей сравнивать полученные результаты с эталонными значениями. С этой целью были приобретены образцы столовых вин, представленные в торговых сетях Узбекистана. Основную часть исследуемых образцов представляют вина, произведенные отечественными винодельческими предприятиями.

Анализ состава остаточных сахаров показал незначительные различия между высококачественными и посредственными винами. Установлено, что некоторые образцы вин сомнительного и неудовлетворительного качества помимо глюкозы и фруктозы содержали в небольших концентрациях сахарозу.

Результаты определения состава экстрактивных компонентов узбекских вин географических наименований представлены в табл. 1.

Аналитические данные, представленные в табл. 1, свидетельствуют о достаточно стабильном составе сахаров и органических кислот в этой группе вин вне зависимости от региона произрастания и производителя. Значительно большие различия наблюдаются в количественном составе аминокислот.

Таблица 1. Сравнительная характеристика экстрактивных компонентов черных бузиновых вин географических наименований

Компонент	Номер образца									
	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
Сахара, г/дм^3										
глюкоза	0,7	0,5	0,6	0,1	0,4	0,5	0,6	0,4	1,1	0,7
фруктоза	1,2	0,8	0,5	0,2	0,7	0,8	1,1	0,5	1,4	0,4
сахароза	–	0,03	0,06	0,08	–	–	0,04	–	0,07	–
Итого:	1,9	1,3	1,2	0,4	1,1	1,3	1,7	0,9	2,6	1,1
Глицерин	7,6	8,2	8,0	7,8	7,7	8,4	6,9	7,4	6,7	7,6
Органические кислоты, г/дм^3										
винная	2,45	1,66	2,18	2,51	2,36	3,36	2,47	4,44	2,72	3,35
яблочная	1,07	0,36	0,24	–	1,66	0,72	0,79	1,79	1,34	0,50
молочная	2,14	0,90	0,79	0,82	1,08	1,77	2,01	1,35	1,42	1,26
лимонная	0,52	0,65	0,03	0,05	0,14	0,93	0,72	0,87	0,33	0,55
янтарная	1,05	1,01	0,07	0,17	0,46	0,80	1,04	0,03	0,78	0,42
щавелевая	0,05	0,08	0,27	0,19	0,08	0,06	0,05	0,03	0,08	0,2
Итого:	7,28	4,65	3,57	3,74	5,78	7,64	7,08	9,0	6,67	6,28
Аминокислоты, мг/дм^3										
аспарагиновая	19,8	10,1	21,0	17,3	21,5	20,1	18,8	14,2	22,3	20,9
глютаминовая	54,3	29,7	55,2	34,8	55,2	55,1	51,8	62,9	49,7	52,4
аспарагин	13,7	17,6	14,1	9,7	16,8	40,6	14,3	27,3	23,8	35,8
гистидин	11,8	4,9	12,3	8,9	12,0	9,9	18,9	3,3	10,5	9,7
серин	4,2	7,1	3,9	6,3	5,1	4,7	4,6	7,7	6,6	6,0
глютамин	185,3	8,2	192,4	156,4	202,4	199,2	27,2	84,0	98,3	135,4
аргинин	12,9	6,8	13,3	7,2	12,6	13,8	12,0	12,6	8,7	10,2
глицин	32,6	16,8	30,6	22,7	33,1	34,5	32,2	37,5	32,1	27,8
треонин	29,0	3,9	27,8	14,8	30,8	29,4	15,6	13,6	17,2	19,2
аланин	4,3	1,1	5,3	5,6	4,7	5,0	7,9	2,3	4,7	5,1
тирозин	7,8	5,2	8,0	4,9	8,0	8,4	8,9	8,3	6,2	4,7

Окончание табл. 1

валин	3,9	1,8	3,6	3,4	4,4	4,1	3,5	3,4	6,1	2,3
метионин	9,5	6,4	9,6	6,8	10,2	9,7	–	9,7	3,7	4,1
триптофан	1,0	1,7	0,8	3,9	1,1	0,9	6,6	3,9	1,2	0,8
изолейцин	11,5	5,7	12,2	9,2	11,7	12,0	14,6	8,7	11,8	7,5
фенилаланин	14,7	5,9	15,6	19,8	14,8	15,1	15,0	17,7	10,1	16,8
лейцин	0,3	–	–	13,2	1,7	–	23,9	7,6	4,6	1,3
лизин	22,8	8,3	25,4	18,6	23,5	28,6	22,5	17,6	26,3	15,6
Итого:	439,4	141,2	451,1	363,5	469,6	491,2	298,3	342,6	343,9	375,6

Как видно из полученных данных, вина, произведенные разными заводами из винограда сорта черные бузины содержат в своем составе, в среднем, на 300–500 мг/дм^3 больше аминокислот. Кроме того, образцы вин различаются по количественному составу отдельных аминокислот. В частности, во всех исследованных образцах вин, содержание глютаминовой кислоты, глютамина и глицина значительно выше, чем в образцах вин других производителей.

В связи с тем, что в настоящее время применяются в основном сухие активные дрожжи и каждый производитель имеет возможность подбирать для производства определенные расы, этот факт с большой вероятностью можно объяснить расой используемых дрожжей и особенностями технологии на данном предприятии.

Как видно из табл. 1, исследованные образцы вин характеризуются низким содержанием остаточных сахаров – не более 2,6 г/дм^3. По соотношению концентраций яблочной и молочной кислот можно сделать вывод о том, что во всех образцах прошло яблочно-молочное брожение. Косвенно подтвердить прохождение яблочно-молочного брожения можно также по содержанию аминокислот – в среднем концентрация аминокислот в красных винах на 35 % ниже, чем в белых, что свидетельствует об их расходовании в ходе молочнокислого брожения. Как известно, аминокислоты играют важную роль в виноделии – недостаточное их содержание в винограде может привести к получению вина низкого качества. В то же время в процессе брожения и дображивания часть дрожжевых клеток отмирает, что приводит к выделению из них свободных аминокислот, которые в процессе формирования и созревания вина подвергаются различным превращениям, приводящим к образованию α-кетокислот и высших спиртов, участвующих в формировании органолептического профиля вина [13; 14]. Качественный состав аминокислот имеет большое значение при производстве вина, так как они непосредственно влияют на образование ароматических компонентов, и обусловлен в наибольшей мере метаболизмом дрожжевой клетки в процессе ее роста, развития, брожения, жизнедеятельности и автолиза. В зависимости от используемой расы дрожжей в вине могут накапливаться различные аминокислоты, что обуславливает формирование тех или иных оттенков в аромате и вкусе вина. В наибольших количествах в этой группе вин присутствуют глютаминовая кислота и глютамин. Содержание фенилаланина в красных винах находится в пределах 5,9–19,8 мг/дм^3, что по сравнению с белыми винами, в которых его концентрация составляет 11,3–32,3 мг/дм^3, ниже на 47,8–38,7 %.

Фенилаланин является предшественником β-фенилэтилового спирта, отвечающего за цветочно-медовые оттенки и тона чайной розы в аромате высококачественных белых вин, что подтверждается полученными аналитическими данными и результатами органолептического анализа. Таким образом, можно предположить, что показатель массовой доли фенилаланина по отношению к сумме аминокислот может служить дополнительным маркером подлинности вина. Согласно литературным данным, соотношение глицерина и приведенного экстракта может быть использовано в качестве дополнительного критерия подлинности вин [1; 2; 11; 12]. Представляет интерес также рассмотреть соотношения компонентов экстракта, ранее предложенных в качестве критериев аутентичности: «этиловый спирт (С) / глицерин (Гл)» (I), «винная кислота (ВК) / лимонная кислота (ЛК)» (II), «винная кислота (ВК) / яблочная кислота (ЯбК)» (III), причем с целью обеспечения единства показателей концентрации и получения корректных данных объемная доля этилового спирта была пересчитана в массовую концентрацию с учетом его плотности, равной 0,7893 г/см^3.

На основании данных, полученных при помощи физико-химических методов исследований, в том числе ВЭЖХ, были дополнительно введены и рассчитаны такие показатели, как соотношение «Гл / (ПЭ – ΣВК, ЯбК, МК, ЛК и ЯнК)», % (IV), отношение «ΣАК /ОЭ», % (V) и отношение «фенилаланин / ΣАК», % (VI), которые могут быть использованы в качестве дополнительных критериев оценки подлинности вина. В качестве показателя VII выбрана сумма яблочной и молочной кислот (Σ ЯбК, МК), предложенная в работе [11].

При анализе данных табл. 2 видно, что соотношение «Гл / ПЭ» для красных вин имеет довольно близкие значения в подлинных и сомнительных образцах. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2. Значения идентификационных показателей черных бузиновых вин, произведенных в Узбекистане

Номер образца	Соотношения							
	Гл / ПЭ, %	I	II	III	IV, %	V, %	VI, %	VII, ЯбК, МК, г/дм^3
Вина высокого качества (подлинные)								
21	36,6	11,3	3,5	2,6	48,9	2,0	4,9	2,4
23	34,1	13,1	8,0	8,0	42,2	2,9	2,5	0,9
24	30,8	13,2	25,0	12,5	35,9	1,9	3,6	0,7
29	28,2	11,5	26,0	4,3	33,3	2,2	3,2	1,0
30	37,5	11,7	11,5	8,5	45,3	2,5	4,3	1,1
45	36,6	12,3	2,6	4,6	46,6	0,8	4,2	1,3
46	31,3	12,4	27,7	9,1	37,4	2,1	3,5	1,0
49	29,7	12,3	3,6	4,7	40,2	2,3	3,1	2,5
50	25,1	14,5	3,4	3,1	33,5	1,5	5,0	2,8
51	25,8	14,7	5,1	2,5	37,6	1,7	5,2	3,1
52	28,6	14,0	8,2	2,0	39,9	2,0	2,9	2,8
Среднее значение	31,3	12,8	15,4	5,6	40,1	2,0	3,9	1,8

Окончание табл. 2

Вина сомнительного качества (не соответствующие типу)								
22	39,8	8,3	4,4	3,1	45,4	3,7	–	1,6
25	25,4	13,2	9,7	–	33,9	1,7	0,4	0,9
28	55,6	7,7	7,5	1,9	73,5	1,0	0,5	0,9
31	36,8	12,4	–	13,0	41,3	0,9	–	1,4
33	22,6	13,4	7,3	4,4	37,9	1,2	–	1,4
Среднее значение	36,0	11,0	7,2	5,6	46,4	1,7	0,5	1,2

Соотношение «С / Гл» в красных винах высокого качества варьирует в пределах от 11,3 до 14,7, в 72 % образцов этот показатель превышает значение 12. В то же время, для вин низкого качества значения соотношения «С / Гл» составляют от 7,7 до 13,4, что свидетельствует о широком диапазоне варьирования. Средние значения данного показателя для вин разных групп качества различаются незначительно. В этом случае данное соотношение не позволяет с достаточной степенью достоверности охарактеризовать качество вина.

Показательным с этой точки зрения является критерий II (соотношение концентраций винной и лимонной кислот). Среднее значение этого критерия для вин высокого качества в два раза выше, чем для вин, получивших низший дегустационный балл. Необходимо отметить значительный разброс значений этого показателя в первой группе вин от 2,6 до 27,7, что может быть обусловлено как климатическими особенностями региона, так и наличием выдержки. Так, образцы вин, имеющие значения критерия II в пределах от 2,6 до 3,6, произведены в Узбекистане в 2022 и 2023 годах из сортов черной бузины.

Как видно из табл. 2, массовая доля фенилаланина в черных бузиновых винах выше, чем в белых, и составляет в среднем 3,9 % от суммы аминокислот. В то же время в винах низкого качества фенилаланин составляет не более 0,5 % от суммы аминокислот, что может быть обусловлено развитием посторонней микрофлоры, то есть нарушением температурных режимов и санитарных норм в процессе производства.

Таким образом, согласно полученным результатам, в качестве критериев подлинности для черных бузиновых вин можно использовать соотношения II «ВК/ЛК», а также VI «фенилаланин / ΣАК», величины варьирования которых значительно различаются для подлинных вин и вин сомнительного качества. Для подлинных вин эти величины составляют: критерий II – от 3,5 до 72,7, среднее значение – 15,8; критерий VI – от 2,5 % до 5,2 %, среднее значение – 3,9. Для вин сомнительного качества значения этих критериев значительно ниже и составляют: критерий II – от 4,4 до 9,7, среднее значение – 7,2; критерий VI – от 0 до 0,5 %, среднее значение – 0,5. Значения выбранных идентификационных показателей были также рассчитаны для различных групп вин, произведенных в Узбекистане.

Таким образом, анализируя полученные данные, можно утверждать, что выбранные идентификационные показатели для определения качества и подлинности белых и красных вин несколько различаются и их значения сильно

варьируют в зависимости от региона производства и особенностей технологии. При этом заслуживают внимания показатели, определяющие долю глицерина и состав свободных аминокислот. Введение дополнительных идентификационных показателей – «ΣАК/ОЭ» и «ФА/ΣАК», как показали результаты математической обработки с использованием программного обеспечения Statistics 10.0, повышает степень достоверности идентификации от 60 до 75 %.

Таким образом, полученные данные подтверждают мнение о том, что идентификационные критерии должны устанавливаться дифференцированно в зависимости от категории и происхождения продукции. Как показывают исследования, особенности технологии приготовления вина влияют на состав всех экстрактивных компонентов, содержащихся в исходном сусле, что отражается на значительном изменении их качественного и количественного состава.

Заключение

1. На основании изучения качественного и количественного состава компонентов экстракта различных групп вин разработаны новые идентификационные критерии оценки подлинности вин.

2. Установлено, что соотношение глицерин / приведенный экстракт, %, для подлинных бузиновых вин – от 25 до 40, а соотношение глицерин / остаточный экстракт, %, в бузиновых винах – от 33 до 52.

3. Предложен показатель фенилаланин / сумма свободных аминокислот, %, как критерий подлинности, который составляет от 1,5 до 2,0.

4. Определены идентификационные показатели для бузиновых вин соотношения отдельных фенольных кислот и флавоноидов и их оптические характеристики.

5. С использованием методов математической статистики (PC и NOV) выявлены определенные корреляционные зависимости между показателями оценкой.

6. На основании полученных результатов разработана научно обоснованная методика комплексной оценки подлинности вин, обеспечивающая получение винодельческой продукции высокого качества.

Литература

1. Об идентификации подлинности виноградных вин / Н. М. Агеева [и др.] // Индустрия напитков. – 2003. – № 5. – С. 4–6.

2. Аникина, Н. С. Анализ систем контроля качества виноградных вин в странах ЕС и нового света / Н. С. Аникина, Э. Л. Зинькевич // Укр. Технол. академия. Крымское отд. УТА: сб. науч. тр. – Ялта. – 2013. – С. 18–22.

3. ГОСТ 32051-2013. Продукция винодельческая. Методы органолептического анализа. – М. : Стандартинформ, 2013. – 16 с.

4. ГОСТ Р 55460-2013. Продукция алкогольная. Идентификация. Метод определения отношения изотопов С13/С12 диоксида углерода в игристых винах и напитках брожения. – М. : Стандартинформ, 2014. – 7 с.

5. ГОСТ 32095-2013. Продукция алкогольная и сырье для ее производства. Метод определения объемной доли этилового спирта. – М. : Стандартинформ, 2013. – 5 с.

6. ГОСТ 52335-2005. Продукция винодельческая. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2009. – 5 с.
7. ГОСТ 13192-73. Вина, виноматериалы и коньяки. Метод определения сахаров. – М. : Стандартинформ, 2011. – 9 с.
8. ГОСТ 32114-2013. Продукция алкогольная и сырье для ее производства. Методы определения массовой концентрации титруемых кислот. – М. : Стандартинформ, 2013. – 5 с.
9. ГОСТ 32000-2012. Продукция алкогольная и сырье для ее производства. Метод определения массовой концентрации приведенного экстракта. – М. : Стандартинформ, 2014. – 6 с.
10. ГОСТ Р 51293-99. Идентификация продукции. Общие положения. – М. : Стандартинформ, 2008. – 7 с.
11. Лунина, Л. В. Разработка способов оценки качества и идентификации виноградных вин и винных напитков / Л. В. Лунина. // Автореф. дисс.…канд. техн. наук: 05.18.15, 05.18.01. – Краснодар, 2005. – 22 с.
12. Овчинников, Е. П. О факторах, влияющих на экстрактивность белых столовых вин и связи экстракта с качеством вин / Е. П. Овчинников // Виноградарство и виноделие. –1990. – № 23. – С. 5–12.
13. Савчук, С. А. Идентификация винодельческой продукции методами высокоэффективной хроматографии и спектрометрии / С. А. Савчук, В. Н. Власов // Виноград и вино России. – 2000. – № 5. – С. 5–13.
14. L’influence de l sitution geogrphique et des fcteurs pédoclimtique sur le rpport d’isotopes 13C/12C dns le risin et dns le vin / L. Ognesynts [and others] // Le bulletin de l’OIV. – 2012. – Vol. 85, No 971–973. – P. 61–70.

УДК 691.9.048.4

Роль физических критериев в объяснении механизмов образования микроплазменных покрытий

Чигринова Н. М., доктор техн. наук, профессор
Белорусский национальный технический университет
220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65

Аннотация. В статье рассматривается возможность применения общеизвестных физических критериев подобия для объяснения механизма формирования покрытий при различных видах металлизации поверхностей. Целью данного исследования является определение роли выбранных физических критериев в выяснении характера и особенностей всех этапов образования микроплазменных покрытий методом электроискрового легирования с дополнительным ультразвуковым воздействием (ЭИЛ с УЗВ), осуществляемого в воздушной среде, и методом анодного микродугового оксидирования (АМДО), проводимого в жидкой среде. Для описания микроплазмоискровых процессов, осуществляемых в различных передающих средах, составлен подобный по физической сущности функционал, в который введены обобщенные характеристики материала: соста-

вы передающей среды при АМДО и легирующего электрода, переносимого на поверхность в процессе интегрального воздействия ЭИЛ с УЗВ, его теплосодержание, удельный вес и энергия активации. При этом учитывалось, что на кинетику процесса массопереноса, выбранного материала, оказывают влияние проводимость плазмы, сила тока и напряжение, скорость перенесения частицы в потоке, имеющем определенное сечение, в среде с конкретным внешним давлением. Было принято, что для реализации конкретного (искрового) процесса переносимый материал должен иметь (при наличии ограничений на мощность источника энергии) достаточно низкое по сравнению с металлизируемой поверхностью теплосодержание. При выборе таких критериев использован известный подход, когда условия взаимодействия отдельного фрагмента (частички) поверхности обрабатываемого объекта с формируемым на ней покрытием принимаются в качестве целевой функции, например, припекания. Введение в модель механизма металлизации поверхности при микроплазмоискровой обработке безразмерных и имеющих численное выражение критериев с заменой ими отношений действующих параметров обеих технологий позволяет упрощать управление и коррекцию всех стадий образования и роста функциональных покрытий.

Ключевые слова: микроплазмоискровые технологии, процессы металлизации, управляемые и самоорганизуемые компоненты, электроразряд, передающие среды, физические критерии, целевая функция, многофакторные функционалы.

The role of physical criteria in explaining the mechanisms of formation of microplasma coatings

Chigrinova N. M.
Belarusian National Technical University

Annotation. The article discusses the possibility of using well-known physical similarity criteria to explain the mechanism of coating formation for various types of surface metallization. The purpose of this study is to determine the role of selected physical criteria in elucidating the nature and characteristics of all stages of the formation of microplasma coatings by the method of electric spark alloying with additional ultrasonic action (ESA with USV), carried out in an air environment, and by the method of anodic microarc oxidation (AMAO), carried out in a liquid environment. To describe microplasma-spark processes carried out in various transmission media, a functional similar in physical essence has been compiled, into which generalized characteristics of the material are introduced: the composition of the transmission medium during AMDO and the alloying electrode transferred to the surface during the integral action of ESA with USV, its heat content, specific gravity and activation energy. It was taken into account that the kinetics of the mass transfer process of the selected material is influenced by plasma conductivity, current and voltage, and the speed of particle transfer in a flow having a certain cross-section in a medium with a specific external pressure. It was accepted that in order to implement a specific (spark) process, the transferred material must have (subject to restrictions on the power of the energy source) a heat content that is sufficiently low compared to the metallized surface. When selecting such criteria, a well-known approach was used, when the conditions of interaction

of a separate fragment (particle) of the surface of the processed object with the coating formed on it are taken as the objective function, for example, baking. The introduction of dimensionless and numerically expressed criteria into the model of the mechanism of surface metallization during microplasma-spark processing, with them replacing the relationships between the operating parameters of both technologies, makes it possible to simplify the control and correction of all stages of the formation and growth of functional coatings.
Keywords: microplasma-spark technologies, metallization processes, controlled and self-organized components, electric discharge, transmission media, physical criteria, objective function, multifactor functionals,

Введение. При выборе адекватных физических критериев для объяснения механизма образования микроплазменных покрытий использовался известный подход [1], когда условия взаимодействия отдельного фрагмента (частички) поверхности объекта с формируемым на ней покрытием принимаются в качестве целевой функции, например, припекания. Такого рода подход в виду своей общности для любых процессов металлизации видится вполне продуктивным и для микроплазмоискровой обработки в условиях управляемого электроразряда – интегрального метода электроискрового легирования с дополнительным ультразвуковым воздействием (ЭИЛ с УЗВ) и анодного микродугового оксидирования (АМДО) [1–2].

Основная часть. Известен аналитический подход [3–4], при котором в качестве одного из управляющих факторов процесса металлизации рассматривается контактная температура капли металла $t_к$, достаточная для сцепления частицы с металлизируемой поверхностью.

В модели распределения температуры внутри микроплазменного разряда основная роль принадлежит самоорганизуемым компонентам и, прежде всего, температуре микроразряда, определяющей кинетику процесса взаимодействия на контактной поверхности.

Для описания всех многовариантных взаимодействий, протекающих при осуществлении микроплазмоискровых процессов в различных передающих средах нами использовались общеизвестные критерии [3]: Рейнольдса (*Re* – критерий динамического подобия), критерий Маха-Маевского (*M* – критерий сжимаемости газа), критерий Кнудсена (K_n – критерий континуальности сечения), энергетический критерий ($K_э$ – конвективный критерий электротеплового взаимодействия), критерий Прандтля (*Pr* – магнитное число Прандтля), критерий Ома (O_m – критерий проводимости) и др.

В предлагаемой модели микроплазменного разряда управляемыми факторами являются напряжение и ток процесса, расстояние между электродами (в случае ЭИЛ с УЗВ – дистанция между легирующим электродом и обрабатываемым изделием, при АМДО – расстояние между анодом (изделием) и катодом (электролизной ванной или дополнительным электродом) [5].

Такая многофакторность микроплазмоискровых процессов требует для их описания использовать многофакторные сложные функционалы, содержащие в своей структуре основные компоненты обеих технологий.

При этом в конкретных расчетах в качестве целевой функции используется многофакторный функционал вида $t_к = t(E, T, k, N, \nu)$, зависящий, в свою очередь, от функционала, определяющего температуру процесса как функцию энергии, скорости реакции и времени $T = T(E, k, t)$.

Для обеспечения сцепления частицы, находящейся в плазменном потоке, с металлической подложкой необходимы соответствующие температура контакта и энергия активации, объединенные выражением [6; 7]:

$$t = -ln\left(1 - \frac{N}{N_0}\right)e^{\frac{E}{kT\nu}}, \quad (1)$$

где t – время реакции; N – число атомов из числа N_0, прореагировавших за время реакции; E – энергия активации; K – константа скорости реакции; T – температура в контакте; ν – частота собственных колебаний атомов, находящихся в контакте.

Таким образом, реализация этого процесса может быть описана многофакторным функционалом:

$$t = t(N, N_0, E, k, T). \quad (2)$$

В приведенном функционале содержатся управляемые (энергия активации, контактная температура) и самоорганизуемые (все остальные) компоненты, управлять которыми в совокупности возможно путем рецептурного подбора передающей среды и вариации подводимой энергии за счет изменения напряжения и тока анализируемых процессов.

С сохранением наполнения приведенного функционала (2) и подбором физических критериев [8, 9], содержащих алгебраические компоненты, необходимые для описания микроплазмоискровых процессов, осуществляемых в различных передающих средах, составлен подобный по физической сущности функционал, в который введены обобщенные характеристики материала, а не его отдельных фрагментов: составы передающей среды при АМДО и легирующего электрода, переносимого на поверхность в процессе интегрального воздействия ЭИЛ с УЗВ, его теплосодержание, удельный вес и энергия активации. При этом учитывалось, что на кинетику процесса массопереноса выбранных материалов оказывают влияние проводимость плазмы, сила тока и напряжение, скорость перенесения частицы в потоке, имеющем определенное сечение, в среде с конкретным внешним давлением. Было принято, что для реализации конкретного (искрового) процесса переносимый материал должен иметь (при наличии ограничений на мощность источника энергии) достаточно низкое по сравнению с металлизируемой поверхностью теплосодержание.

Управление микроплазмоискровыми процессами должно включать активацию в качестве ведущего фактора. Поскольку активация процесса в большинстве случаев близка к значениям энтальпии, то для описания механизма образования микроплазмоискровых покрытий целесообразно в качестве основного применить энергетический критерий, содержащий этот параметр [10, 11]:

$$K = \frac{I^2}{V} d^3 \sigma \rho i, \quad (3)$$

где I – ток дуги; V – скорость потока; d – характерный параметр; σ – проводимость плазмы; ρ – характерная плотность потока; i – характерная энтальпия.

В приведенном энергетическом критерии присутствует трудно определяемый на практике характерный параметр d, величина которого может быть выражена через число Кнудсена:

$$K_n = \frac{L}{d} = \frac{C}{dp}, \quad (4)$$

где L – усредненное значение свободного пролета электрона; C – постоянная для данного процесса величина; p – усредненное давление внешней среды.

Для дальнейшего упрощения энергетического критерия с целью возможности управления процессом с помощью задаваемых, легкоизмеряемых и контролируемых в реальном времени параметров тока и напряжения предложено использовать число подобия O_m, учитывающее наряду с напряжением на дуге и током процесса длину свободного пролета электронов и приблизительно постоянную проводимость плазмы [12]:

$$O_m = \frac{d\sigma U}{I}, \quad (5)$$

где U – напряжение на дуге.

Преобразуя $K = \frac{I}{d} U d^2 \rho \frac{I}{\sigma}$ и $\frac{O_m}{U} = \frac{d\sigma}{I}$, получаем

$$K = I \frac{V}{O_m} \frac{1}{U d^2 P}. \quad (6)$$

Размерность выражения $Ud^2\rho$ включает компоненты

$$\frac{M}{L^3} \frac{L}{T} L^2 = \frac{M}{T} = \frac{dm}{dt} = Q, \quad (7)$$

где Q – итоговое значение массового расхода вещества электрода в единицу времени, кг/с.

Тогда выражение для ведущего для описания механизма металлизации при микро-плазмоискровом воздействии энергетического критерия принимает вид:

$$Q = I \frac{V}{K} O_m. \quad (8)$$

При постоянном для стабилизированного процесса значении знаменателя управление массопереносом как для ЭИЛ с УЗВ, так и для АМДО в первом приближении может быть представлено параболической функцией при двумерном задании, связанной с произведением тока и напряжения микроплазмоискрового процесса.

Проверка эффективности выбранных физических критериев для описания механизмов образования покрытий при микроплазмоискровой обработке осуществлялась посредством аппроксимации полученных экспериментальных кривых нарастания толщины покрытия при ЭИЛ с УЗВ и АМДО-обработке путем составления и обработки регрессионных уравнений (рис. 1, 2) [11].

Игнорирование наименьших значений приводит аппроксимирующий полином к виду

$$y = 0{,}0117x^2 + 0{,}0086 \; при \; R2 = 0{,}63.$$

В обоих случаях на рис. 1 и 2 экспериментальная кривая 1 отражает зависимости массопереноса электродного материала на обрабатываемую поверхность от режимов микроплазмоискровой обработки; кривая 2 – линейный тренд к кривой 1; кривая 3 – линейная фильтрация кривой 1; кривая 4 – полиномиальная линия тренда к кривой 1.

Анализируя графики изменения толщины формируемого покрытия при микроплазмоискровой обработке, следует подчеркнуть, что начальные участки изменения толщины покрытий при их обработке методами АМДО (рис. 1) и ЭИЛ с УЗВ (рис. 2) при малых (до 10 А) токах линейны.

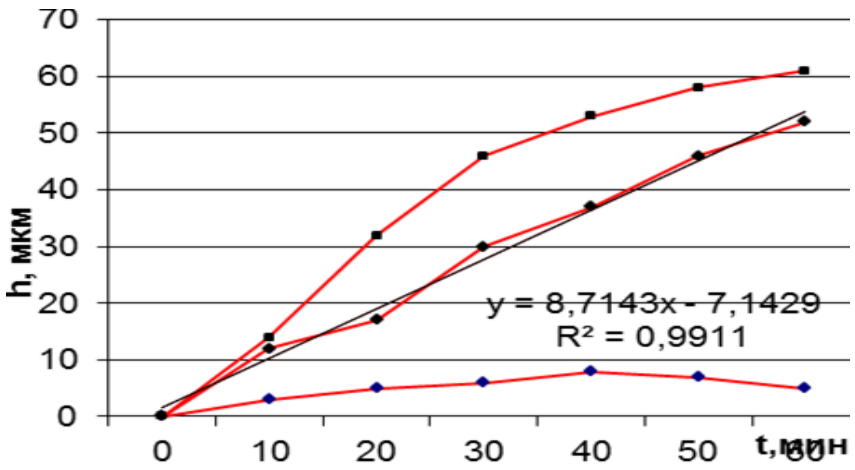


Рис. 1. Зависимость изменения толщины покрытия от времени при изменяющихся значениях тока АМДО

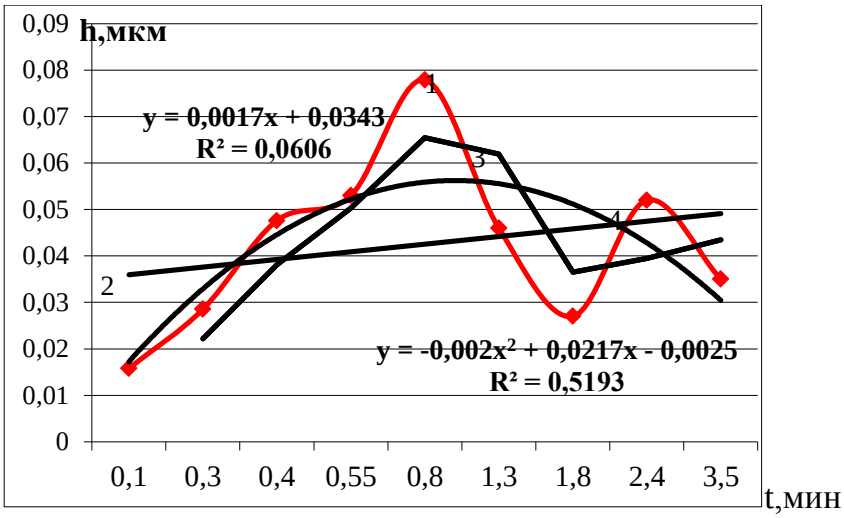


Рис. 2. Зависимость величины массопереноса твердосплавного электрода из вольфрам-кобальтового сплава ВК8 на металлизируемую основу от величины тока при ЭИЛ с УЗВ

Можно предположить, что в этом случае после преобразований:

$$X = I^2 = K / Ud^3\sigma\rho = K / C,$$

где $C = UD^3\Sigma P = const$, уравнение примет наиболее простую форму:

$$y = 0,0117K / C + 0,0086.$$

Приведенные примеры показывают, что в первом приближении и с достаточно малой дисперсией совокупность представленных критериев может оказаться продуктивной в задачах моделирования при достаточно представительной выборке из результатов проведенных экспериментов.

Однако, ударная активация плазменной дуги при микроплазмоискровых воздействиях, также как и ударная инициация процесса припекания, характерная для неплазменных методов металлизации поверхности, отличает рассматриваемые процессы ЭИЛ с УЗВ и АМДО, т. к. включает фазу ударного сжатия с образованием в контактном слое зоны упругопластической (вязкоупругой и пластической) деформации, свойственной удару при малых скоростях.

Основные факторы этой стадии включают:

а) повышение уровня акустической эмиссии, выявление характерных параметров волн (частот);

б) повышение температуры в точках контакта;

в) понижение энергии выхода электрона в точках контакта;

г) вскрытие активных центров и ускорение химических и электрохимических взаимодействий;

д) развитие дислокационных реакций.

Завершением ударной активации является отскок на величину L за время T (Tmin ≈ 10·1/30000 = 1/3000 с ≈ 0,3 мс).

Термоудар, электронный взрыв следует после открытия тиристора на аппарате – источнике питания. Он реализуется путем электронного насыщения и пробоя межэлектродного промежутка при фиксированной мощности и напряжении. При этом выявляются такие важнейшие факторы управления процессом, как мощность, сила тока, напряжение и частота разряда, искра и фазовый переход с кольцевой волной КОЗ после отрыва в магнитном поле.

Процесс последовательно проходит через стадии:

– перегрев в зонах максимального перегрева поверхности;

– плазмообразование с максимумом плотности;

– удар;

– стадия отскока, разряд;

– сток внешних электронов (в фазе после прохода разряда);

– кольцевая корона.

В результате ударного контактирования электрод, после воздействия волн ударной нагрузки, подвергается влиянию волн разгрузки, где фаза сжатия сменяется фазой растяжения [12; 13].

При известной энтальпии (теплосодержания) электродного материала

$$\sum H_i = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \ \ldots \ + \Delta П, \tag{9}$$

где $i = 1 \ldots n$ – номера потенциальных энтальпий компонентов; ΔП – энергия связи компонентов и выделение избыточной мощности (Дж), реализуется условие теплового баланса:

$$VC_p = W = \rho V \sum H_i, \tag{10}$$

из которого определяется максимально возможный объем $V = \frac{W}{\rho \sum H_i}$ частиц, составляющих насыщение плазменного пучка.

Сопровождающий процесс электрический разряд обусловливает оплавление и «стягивание» энергетически выгодно расплавленной массы любого электродного материала ΔV в виде оплавленной капли, обладающей кинетической энергией отрыва в области оплавления [12–14]. Появление такого рода фрагментов дополнительно к плазменному потоку качественным образом выделяет рассматриваемые микроплазменные процессы в отдельную группу.

При этом, к представленному функционалу, наряду со временем ударного контакта, $\tau_{1уд}$, τ_2 и временем отрыва частицы τ_1’ и τ_2’ силы ударной электронной инициации оплавления и отрыва и ударной инициации схватывания и отрыва, и соответствующей диссоциации электрической энергии разряда источника, добавляется энергия образования трещины, что является самостоятельным предметом исследования.

Заключение. В процессе проведенного исследования показано, что многофакторность микроплазмоискровых процессов ЭИЛ с УЗВ и АМДО требует для их описания использовать многофакторные сложные функционалы, содержащие в своей структуре основные компоненты обеих технологий.

При этом в конкретных расчетах в качестве целевой функции используется многофакторный функционал вида $t_к = t(E,T,k,N,\nu)$, зависящий, в свою очередь,

от функционала, определяющего температуру процесса как функцию энергии, скорости реакции и времени $T = T(E,k,t)$.

Установлено, что изменение толщины покрытий при их обработке методами АМДО и ЭИЛ с УЗВ при малых (до 10 А) токах происходит линейно.

Таким образом, введение в модель механизма металлизации при микроплазмоискровой обработке безразмерных и имеющих численное выражение критериев с заменой ими отношений действующих параметров позволяет упрощать управление и коррекцию этих процессов.

Литература

1. Чигринова, Н. М. Инновации в электроискровых технологиях : теория и практика. – Минск : Бестпринт, 2018. – 261 с.
2. Чигринова, Н. М. Анодное микродуговое оксидирование: проблемы, решения, перспективы. – Минск : Бестпринт, 2019. – 256 с.
3. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007.
4. Лифшиц, Е. М. Физическая кинетика / Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 536 с.
5. Чигринова, Н. М. Интенсификация процессов микроплазмоискрового упрочнения и восстановления металлических изделий повышенной точности электромеханическим воздействием: дисс. … д-ра техн. наук: 05.02.07 / Н. М. Чигринова – Минск, 2010. – 310 с.
6. Кутателадзе, С. С. Анализ подобия и физические модели / С. С. Кутателадзе. – Новосибирск : Наука, 1986. – 297 с.
7. Губанов, В. А. Введение в системный анализ / В. А. Губанов, В. В. Захаров, А. Н. Коваленко / под ред. Л. А. Петросяна. – Л. : Издательство ЛГУ, 1988. – 230 с.
8. Нигматулин, Р. И. Динамика многофазных сред. В 2 ч. / Р. И. Нигматулин. – М. : Наука, 1987. – Ч. 1. – 464 с.
9. Герловин, И. Л. Основы единой теории всех взаимодействий в веществе / И. Л. Герловин. – Л. : Энергоатомиздат, 1990. – 432 с.
10. Chigrinova, N. M. Theoretical model of the engineering of metal surfaces by microplasmosparc alloying with the alternative intensity of the mechanical impact // Surface engineering and Applied electrochemistry. – 2010. – Vol. 46, No 1. – P. 21–26.
11. Чигринова, Н. М. Использование автоматизированного измерительного комплекса для исследования микроплазмоискровых процессов / Н. М. Чигринова // Сборник докладов международный научно-технический симпозиум «Прогрессивные процессы порошковой металлургии», Минск, Беларусь, 30 марта 2005 г. – Минск, 2005. – С. 65–68.
12. Стрелков, В. С. Физические основы методов диагностики плазмы в токамаке / В. С. Стрелков. – М. : МИФИ, 2004. – 88 с.
13. Konuma, M. Plasma techniques for film deposition / M. Konuma. – Hardcover : Alpha Science, 2005. – 347 p.
14. Основы физических процессов в плазме и плазменных установках / С. К. Жданов [и др.]. – М. : МИФИ, 2007. – 368 с.

УДК 377.352

Чемпионаты профессионального мастерства в современных реалиях

Швец И. В.
Белорусский национальный технический университет
220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65

Аннотация. Чемпионаты профессионального мастерства являются площадкой для презентации нового поколения талантов и эффективным инструментом развития кадров для высокотехнологичных производств. Конкурсы призваны популяризовать рабочие специальности среди молодежи, повышать стандарты подготовки профессионалов своего дела, разрабатывать методики обучения высококвалифицированных специалистов, обмениваться новыми технологиями. До недавнего времени лидером в проведении таких турниров являлось Международное движение Worldskills International. Российская Федерация вступила в это движение в 2012 году, а в 2014 году были созданы WorldSkills Russia и WorldSkills Belarus. С 2014 года раз в два года в Беларуси стали проводиться Национальные чемпионаты «WorldSkills Belarus», в которых выступали победители региональных соревнований. Чемпионаты профессионального мастерства проводятся среди обучающихся школ и колледжей в возрасте от 10 до 16 лет (юниорская группа) и среди обучающихся колледжей и студентов вузов от 16 до 22 лет (основная группа). Чемпионатное движение в Беларуси развивалось, и с каждым последующим конкурсом возрастало количество компетенций, по которым выступали молодые дарования. В 2014 году – 20 компетенций, 2016 – 33, 2018 – 37, 2020 – 47, 2023 – 49. В связи с изменившейся обстановкой в мировом сообществе и введением ограничений на участие в мировых чемпионатах представителей Беларуси и России в 2022 году, были разработаны новые концепции чемпионатного движения по профессиональному мастерству. В Беларуси стали проводить турниры Profskills Belarus, а в России чемпионатное движение представлено Чемпионатами по профессиональному мастерству «Профессионалы» и Чемпионатами высоких технологий. Также проводятся корпоративные Международные чемпионаты. Турниры профессионального мастерства развиваются, несмотря на смену форматов. Молодые талантливые ребята имеют возможность развивать свои навыки, учиться презентовать свои работы, общаться, обмениваться опытом, знакомиться с работодателями. Это позволит вырастить специалистов, способных внести существенный вклад в развитие экономики наших стран.

Ключевые слова: WorldSkills, Profskills, компетенция, чемпионаты профессионального мастерства, практико-ориентированность, профессиональные навыки.

Professional skill championships in the current circumstances

Shvets I. V.
Belarusian national technical university

Annotation. Professional skills championships are a platform for presenting a new generation of talents and an effective tool for developing personnel for high-tech industries. Championships of professional skills are held to promote working fields among young people, to improve the standards of trainings(preparing) engineers and professional mechanics, to create new ways to teach highly-skilled workers, to exchange new technologies among participants. Until recently, the WORLDSKILLS INTERNATIONAL movement was the leader in organizing such tournaments. The Russian Federation joined this movement in 2012, and in 2014 WorldSkills Russia and WorldSkills Belarus were established. Since 2014, the National Championships «WorldSkills Belarus» began to be held every two years in Belarus, in which the winners of regional competitions performed. Professional skill championships are held among school and college students aged 10 to 16 (junior group) and among college and university students aged 16 to 22 (main group). The championship movement in Belarus has been developing and with each subsequent competition the number of competences in which young talents competed has been increasing. In 2014 – 20 competences, 2016 – 33, 2018 – 37, 2020 – 47, 2023 – 49. Due to the changed situation in the international community and the introduction of restrictions on the participation of participants from Belarus and Russia in the world championships in 2022, new concepts of the championship movement in professional skills were developed. In Belarus, Profskills Belarus tournaments began to be organised, while in Russia the championship movement is represented by the Professional Skills Championships «Professionals» and High Technology Championships. Corporate International Championships are also organised. Professional skills tournaments are developing despite the change of formats. Talented young people have an opportunity to develop their skills, learn to present their work, communicate, share experience, and meet future employers. This will help to raise specialists capable of making a significant contribution to the development of our countries' economies.
Keywords: WorldSkills, Profskills, competence, championships of professional skills, practical orientation, professional skills.

Введение. В 2022 году из-за введенных ограничений на участие в соревнованиях мирового уровня Worldskills International представителей Беларуси и Российской Федерации были разработаны новые форматы проведения турниров профессионального мастерства.

В 2023 году в Минске в Футбольном манеже с 13 по 16 мая был проведен V конкурс профессионального мастерства «Profskills Belarus 2023». В конкурсе приняли участие около 350 учащихся учреждений образования, реализующих образовательные программы профессионально-технического и среднего специального образования, а также студенты вузов и молодые рабочие со всех регионов страны. Оценивали их профессиональные навыки 350 экспертов.

Конкурс прошел по отраслям строительства и строительным технологиям, информационным и коммуникационным технологиям, творчеству и дизайну, производству и инженерным технологиям, сфере услуг, транспорту и логистике, включающих 49 компетенций.

Участников, занявших призовые места, наградили медалями, дипломами и ценными подарками, их имена внесены в республиканский банк данных одаренной и талантливой молодежи. Они включены в состав национальной сборной и представляют нашу страну на международном уровне. Также победители и призеры в своих компетенциях получили льготы при поступлении в вузы.

Турниры новых форматов, представители Беларуси в чемпионатах профессионального мастерства. В Российской Федерации на замену WorldSkills пришло Всероссийское чемпионатное движение по профессиональному мастерству, которое включает в себя Чемпионаты по профессиональному мастерству «Профессионалы» (240 компетенций) и Чемпионаты высоких технологий (8 компетенций).

Финал первого Всероссийского Чемпионата высоких технологий проходил в Великом Новгороде с 11 по 15 сентября 2023 года и собрал участников из 32 регионов России и пяти иностранных государств. Конкурсные испытания Чемпионата высоких технологий проходили на протяжении трех дней, их оценивали 114 экспертов.

Из Беларуси на состязания отправилась команда из 11 человек, которые участвовали в трех компетенциях «Геопространственная цифровая инженерия», «Технология развития городов» и «Летающая робототехника», в двух из которых принимали участие представители БНТУ. Все белорусы выступили достойно и завоевали в каждой из трех компетенций вторые места.

Финал Чемпионата по профессиональному мастерству «Профессионалы» пройдет в Санкт-Петербурге с 17 по 23 ноября 2023 года. Это будет одна из самых значимых и ожидаемых профессиональных платформ, которая соберет вместе лучших молодых специалистов. Участники смогут продемонстрировать свои знания и умения в таких областях, как информационные технологии, машиностроение, строительство, медицина и многие другие. Чемпионат будет проходить в течение нескольких дней, в течение которых будут проведены многочисленные конкурсы и мероприятия, этапы и финалы соревнований. Для каждого участника это отличная возможность проявить себя на публике и поделиться своими знаниями и опытом с коллегами. В рамках участия в международных зачетах в Санкт-Петербург отправится и команда Республики Беларусь, в которой также будут представители БНТУ.

Еще одно направление профессиональных чемпионатов, в которых принимают участие представители Республики Беларусь – корпоративные Международные чемпионаты, такие как всероссийский чемпионат высокотехнологичных отраслей промышленности Hi-Tech и чемпионат в сфере высокотехнологичных профессий IT-сектора – Digital Skills (участники – обучающиеся с 18 лет и сотрудники промышленных предприятий в возрасте до 28 лет).

По окончании этих чемпионатов каждый участник получает Skills Passport – инструмент международного и корпоративного признания навыков, индустри-

альный сертификат, отражающий индивидуальный уровень владения навыками в контексте выполнения различных трудовых функций.

С 18 по 24 сентября 2023 года в г. Казани, в Республике Татарстан состоялся V отраслевой чемпионат в сфере цифровых технологий Digital Skills. Соревнование охватило 31 компетенцию в сфере информационных и цифровых технологий. В чемпионате «Digital Skills 2023» приняли участие в очном и распределенном форматах конкурсанты из 14 стран: России, Азербайджана, Армении, Бразилии, Беларуси, Ганы, Индии, Ирана, Казахстана, Китая, Кыргызстана, Малайзии, ЮАР и Узбекистана.

В основу заданий чемпионата легли совместно разработанные технологические стандарты, передовые практики и опыт стран БРИКС и ЕАЭС.

Республика Беларусь была представлена в семи компетенциях онлайн, в каждой из которых участвовала в двух зачетах: международном распределенном и стран ЕАЭС. В международном распределенном зачете участвовали все страны, принимавшие участия онлайн. В зачете ЕАЭС – представители пяти стран, входящих в Евразийский экономический союз. По итогам чемпионата у белорусских участников три первых места, одно второе и два третьих места в международных зачетах и одно первое место, одно второе и шесть третьих мест в зачетах ЕАЭС, среди которых компетенции «Технологии информационного моделирования BIM», «Мобильная робототехника», «Инженерный дизайн CAD» представляли студенты БНТУ.

С 13 по 17 ноября 2023 года в г. Екатеринбурге на территории международного выставочного центра «Екатеринбург-Экспо» пройдет Международный чемпионат высокотехнологичных отраслей промышленности Hi-Tech. Одной из важных задач Чемпионата является международная кооперация: в 2022 году в Хайтеке и Кубке в очном и дистанционном форматах приняли участие конкурсанты из 16 стран: Беларуси, Бразилии, Ганы, Египта, Зимбабве, Индии, Индонезии, Ирана, Казахстана, Китая, Кыргызстана, Малайзии, Намибии, Нигерии, Узбекистана и ЮАР.

В этом году Республика Беларусь участвует в чемпионате в дистанционном формате. Участники будут выполнять задания, подключаясь с распределенных площадок своего региона и страны. Оценка заданий будет производится международными экспертами онлайн с использованием цифровых решений. В новой для нас компетенции «Реверсивный инжиниринг и аддитивное производство» за Беларусь выступят представители машиностроительного факультета БНТУ.

Реверсивный инжиниринг позволяет по имеющемуся образцу произвести замеры, оцифровать информацию, преобразовав в 3D-модель, и с помощью аддитивного производства, которое основано на производстве объектов слой за слоем 3D-печать, воспроизвести объект.

Заключение. Чемпионатное движение по профессиональному мастерству развивается, несмотря на смену форматов. Студенты-участники соревнований общаются, тренируются, приобретают необходимые для соревнований навыки, учатся анализировать задания, работать индивидуально и в коллективе. Заодно они совершенствуют свои навыки и знакомятся с потенциальными работодателями. Работодатели имеют возможность оценить соответствие уровня подготовки кадров своим запросам, чтобы при необходимости сформулировать перечень

навыков выпускников, соответствующих требованиям рынка труда и современному оборудованию. Эксперты из числа профессорско-преподавательского состава имеют возможность обменяться информацией и контактами с экспертами других команд, познакомиться с методами работы в сфере профессионального образования, собрать материалы (задания для всех модулей, схемы оценки, чертежи и критерии оценки) для передачи опыта и внедрения в учебный процесс. В итоге происходит воспитание специалистов нового уровня, востребованных в современных реалиях.

Также необходимо привлекать участников чемпионатов к профориентационной работе, чтобы они напрямую общались с учениками профильных инженерных классов, знакомили их с интересными, увлекательными и перспективными профессиями. Вовлекали их в изучение новых дисциплин и получению навыков. Ведь только увлеченные своей будущей профессией ребята создадут прочную основу для развития экономики Республики Беларусь.

Литература

1. Швец, И. В. Роль чемпионатов профессионального мастерства в формировании инженерных навыков / И. В. Швец // XI Форум вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства : сборник материалов, г. Минск, 12–16 декабря 2022 г. / Белорусский национальный технический университет. – Минск : БНТУ, 2023. – С. 100–102.

2. Церемония закрытия конкурса ProfSkills Belarus [Электронный ресурс] / Республиканский институт профессионального образования. – Режим доступа: https://ripo.by/index.php?id=6826.

3. Дроны и встреча с Путиным: белорусы выступили на Чемпионате высоких технологий [Электронный ресурс] / Sputnik Беларусь. – Режим доступа: https://sputnik.by/20231003/roy-dronov-i-vstrecha-s-putinym-belorusy-poko ryali-chempionat-vysokikh-tekhnologiy-1079942974.html.

4. Конкурс профессионального мастерства [Электронный ресурс] / ProfSkills Belarus. – Режим доступа: http://worldskills.by/konkurs-professionalnogo-masterstva/.

5. Международный чемпионат в сфере цифровых технологий – DigitalSkills 2023 [Электронный ресурс] / Международная платформа развития навыков и профессий. – Режим доступа: https://inpdp.org/digitalskills2023/.

6. «Профессионалы»: как в 2023 году пройдет аналог международного чемпионата WorldSkills в России [Электронный ресурс] / Synergy times. – Режим доступа: https://synergytimes.ru/learn/professionaly-kak-v-2023-godu-proydyet-analog-mezhdunarodnogo-chempionata-worldskills-v-rossii.

7. The International High-Tech Competition 2023 – HI-TECH 2023 [Электронный ресурс] / Международная платформа развития навыков и профессий. – Режим доступа: https://inpdp.org/hitech2023/.

УДК 691

Разработка терморасширяющегося материала на основе каучуков для вязкоупругого демпфера, обеспечивающего снижение риска аварий и катастроф от землетрясений

Юркин Ю. В., канд. техн. наук, доцент; Рогожкин Р. С.; Варанкина Д. А.
Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36

Аннотация. Землетрясения могут нанести значительный физический ущерб зданиям и инфраструктуре, что может серьезно повлиять на экономику. Для минимизации потерь разрабатываются различные методы защиты зданий. Разработки новых способов защиты зданий и сооружений от землетрясений становятся все более актуальными в свете роста числа катаклизмов во всем мире. В данной работе рассматриваются примеры перспективного и экономически целесообразного метода – использование систем пассивного рассеивания энергии с помощью гистерезисных и вязкоупругих демпферов. Первые включаются в работу только при сильных толчках землетрясений, вторые работают только при слабых толчках. В исследовании для более эффективного гашения вибраций предлагается объединить гистерезисные и вязкоупругие устройства для создания нового вида сейсмического демпфера, способного гасить колебания земли любой магнитуды. Целью работы является разработка терморасширяющегося вязкоупругого материала, предназначенного для размещения в полости между труб существующего гистерезисного демпфера. Описывается разработка материала с определенными динамическими механическими характеристиками, которыми он должен обладать для эффективного гашения вибраций. В процессе исследования определено влияние компонентов и проведена оптимизация полученного состава. Разработанные образцы подвергались прерывистым циклическим испытаниям и исследованиям на механическое растяжение. В результате работы разработан прототип терморасширяющегося вязкоупругого материала с требуемыми динамическими механическими характеристиками, такими, как тангенс угла механических потерь, максимальная деформативность при разрыве и модуль сдвига при 100 % деформации. Уникальной особенностью материала является его способность терморасширяться. Доказана возможность создания гистерезисно-вязкоупругого демпфера данным методом в результате проведения испытаний материала в составе гистерезисного устройства.

Ключевые слова: землетрясение, вязкоупругий материал, терморасширение, сейсмическая безопасность, демпфер, пассивное рассеивание энергии, каучук, резиновая смесь, полимер, вибрация, гистерезис.

Development of a thermally expanding rubber-based material for a viscoelastic damper that reduces the risk of accidents and catastrophes from earthquakes

Yurkin Y. V., Rogozhkin R. S., Varankina D. A.
Vyatka State University

Annotation. Earthquakes can cause significant physical damage to buildings and infrastructure, which can severely impact the economy. To minimize losses, various methods of protecting buildings are being developed. The development of new ways to protect buildings and structures from earthquakes is becoming increasingly relevant in light of the growing number of disasters around the world. This paper discusses examples of a promising and economically feasible method as the use of passive energy dissipation systems using hysteresis and viscoelastic dampers. The former is activated only during strong earthquake shocks, the latter operate only during weak shocks. To more effectively dampen vibrations, the study proposes combining hysteresis and viscoelastic devices to create a new type of seismic damper capable of damping ground vibrations of any magnitude. The goal of the work is to develop a thermally expanding viscoelastic material intended for placement in the cavity between the pipes of an existing hysteresis damper. The development of a material with certain dynamic mechanical characteristics that it must possess for effective vibration damping is described. During the research, the influence of the components was determined and the resulting composition was optimized. The developed samples were subjected to intermittent cyclic tests and mechanical tensile tests. As a result of the work, a prototype of a thermally expanding viscoelastic material with the required dynamic mechanical characteristics, such as mechanical loss tangent, maximum strain at break and shear modulus at 100 % deformation, was developed. A unique feature of the material is its ability to expand thermally. The possibility of creating a hysteresis-viscoelastic damper using this method has been proven as a result of testing the material as part of a hysteresis device.
Keywords: earthquake, viscoelastic material, thermal expansion, seismic safety, damper, passive energy dissipation, rubber, rubber compound, polymer, vibration, hysteresis.

Введение. На Земле существует множество различных природных катастроф [1]. Одними из наиболее опасных и разрушительных стихийных бедствий являются землетрясения [2]. Почти 20 % территории России сейсмически опасны, из них 5 % подвержены чрезвычайно опасным землетрясениям [3]. В 2019 году Global Disaster Risk Reduction оценивало, что в среднем ежегодный мировой ущерб от землетрясений составляет около 150 миллиардов долларов США, из которых значительную часть образует физический ущерб зданиям и инфраструктуре: Землетрясения могут вызывать разрушение и повреждение зданий, мостов, дорог, газопроводов, электросетей и другой инфраструктуры. Физический ущерб может сильно повлиять на экономику, особенно если затронуты промышленные комплексы или ключевые объекты. Помимо совершенствования теоретических основ и методов прогнозирования [4], в целях минимизации смертей и снижения финансовых потерь разрабатываются различные методы защиты зданий и сооружений при землетрясениях [5; 6].

Наиболее перспективными и экономически целесообразными методами являются системы пассивного рассеивания энергии [7; 8]. Распространенными типами сейсмических амортизаторов являются гистерезисные [9; 10] и вязкоупругие [11] демпферы. Первые включаются в работу только при сильных толчках землетрясений, вторые работают только при слабых толчках. Сочетание этих видов демпферов позволит более эффективно гасить сейсмические нагрузки и защищать здание от разрушения при землетрясениях любой магнитуды. Решение – размещение вязкоупругого материала в полости между трубами гистерезисного демпфера, разработанного в Мадридском политехническом университете (рис. 1).

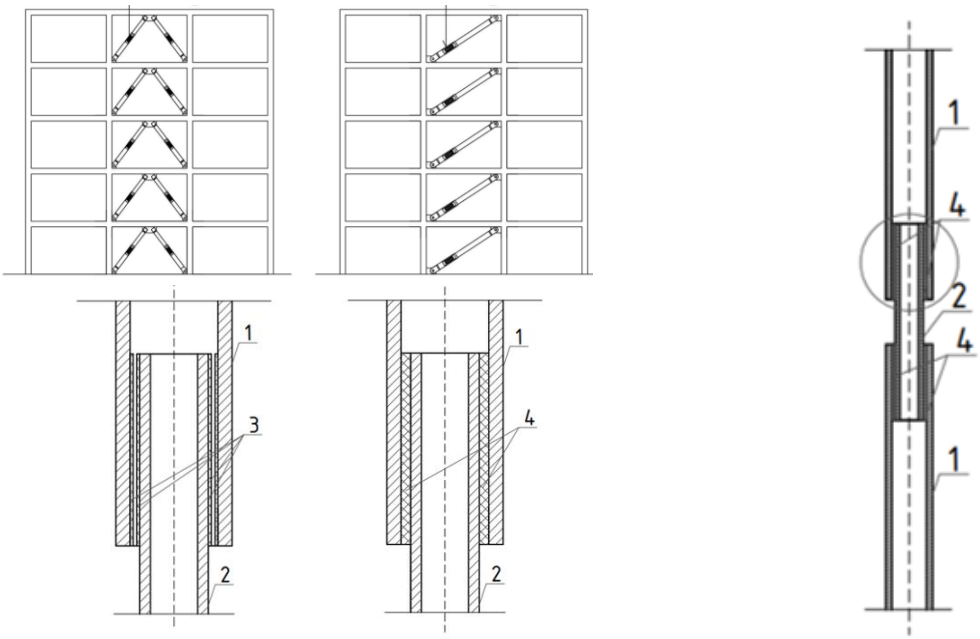


Рис. 1. Схема гистерезисно-вязкоупругого демпфера:
1 – внешняя труба; *2* – внутренняя труба; *3* – материал до расширения;
4 – материал после расширения

Целью работы является разработка терморасширяющегося вязкоупругого материала, обладающего следующими динамическими механическими характеристиками:

– тангенс угла механических потерь (tgδ) не ниже 0,2 у.е.;

– максимальная деформативность при сдвиге не менее 120 %;

– модуль сдвига при 100 % деформации (G_{100}) не ниже 0,1 МПа;

– терморасширение в 1,5 раза – главный критерий для размещения вязкоупругого материала в полости между трубами гистерезисного демпфера.

Данные показатели необходимы для эффективного гашения вибраций.

Основная часть. Объектом исследования является вязкоупругий материал, состоящий из хлорбутилкаучука марки ХБК-139 ТУ 2294-096-05766801-2000 (ПАО «НИЖНЕКАМСКНЕФТЕХИМ», Россия), Вулкатива С-1 ТУ 2294 001-31273447-2010, индустриального масла И-40 ГОСТ 20799-88 (РуссНефть, Россия), мела МИКАРБ ТУ 5743-020-05346453-2008 (Геоком, Россия), технического углерода марки П-803 ГОСТ 7885-86 (АО Нижнекамсктехуглерод, Россия), вул-

канизующих агентов – тиурама ГОСТ 740-76 и серы молотой ГОСТ 127.5-93 и микросфер Expancel 950 DU 120 ТУ 2291-012-25665344-2013.

Образцы изготавливались в течение 20 минут при температуре 110 °С.

Испытания на механическое растяжение проводились с использованием испытательной машины Autograph AG-X 5 кН фирмы Shimadzu (Киото, Япония) при комнатной температуре и скорости перемещения образцов между пластин 120 мм/мин по ГОСТ 270.

Прерывистые циклические испытания на растяжение-сжатие при 100 % относительном удлинении проводились на машине Autograph AG–X 5 кН фирмы Shimadzu (Киото, Япония) со скоростью перемещения 120 мм/мин по ГОСТ ISO 1827-2019.

Тангенс угла механических потерь определяется по формуле:

$$\mathrm{tg}\delta = \frac{\psi}{2\pi}, \quad (1)$$

где ψ – коэффициент поглощения энергии.

$$\psi = \frac{\Delta W}{W}, \quad (2)$$

где ΔW – рассеяние энергии системы за счет внутреннего трения; W – работа упругих сил за четверть цикла.

Модуль сдвига при 100 % деформации (G_{100}) при испытаниях на растяжение определялся по формуле:

$$G_{100} = \frac{E_{100}}{2\mu + 2}, \quad (3)$$

где E_{100} – модуль Юнга, МПа; μ – коэффициент Пуассона.

В процессе исследования определено влияние компонентов на состав и проведена оптимизация полученного состава.

В результате исследования разработан прототип терморасширяющегося вязкоупругого материала [12] со следующими характеристиками:

– тангенс угла механических потерь (tgδ) – 0,3 у.е.;

– максимальная деформативность при сдвиге – 300 %;

– модуль сдвига при 100 % деформации (G_{100}) – 0,14 МПа;

– терморасширение в 1,5 раза.

Результаты испытаний с разрывной машины представлены на рис. 2.

Данный материал прошел успешные испытания в Испании [13].

Разработанный терморасширяющийся материал возможно использовать в различных отраслях промышленности в целях вибро- и звукопоглощения, тем самым уменьшая риск появления вибрационных болезней, сердечно-сосудистых заболеваний, нарушений центральной нервной системы и т. д. Но в настоящий момент материал находит свое применение при борьбе с землетрясениями.

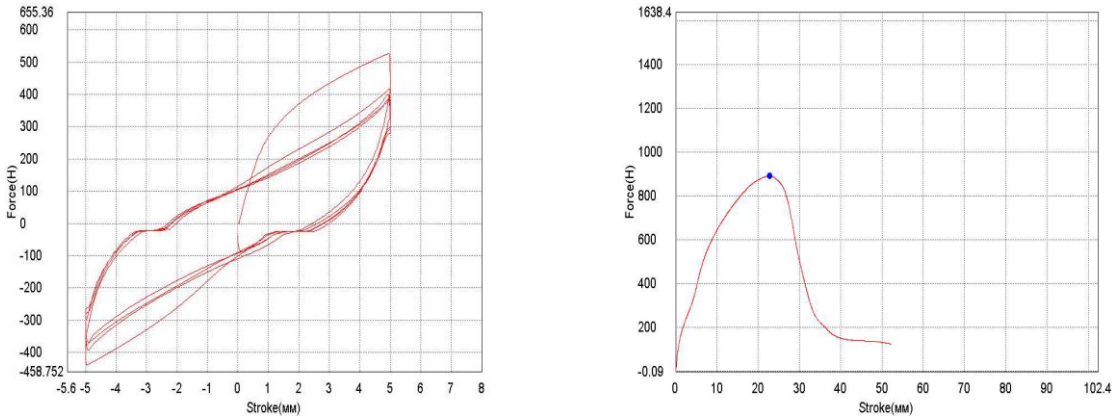


Рис. 2. Графики с испытаний динамических механических характеристик материала

Заключение. В результате исследования разработан терморасширяющийся вязкоупругий материал с требуемыми динамическими механическими характеристиками. Разработанный материал успешно испытан в составе гистерезисного демпфера и показал возможность создания нового вида сейсмического демпфера.

Проект финансово поддерживается Фондом гражданского общества и Фондом содействия инновациям.

Литература

1. Alexander, D. Natural disasters / D. Alexander. – Routledge, 2018. – 652 p.

2. Каррыев, Б. Катастрофы в природе: Землетрясения / Б. Каррыев. – М. : Litres, 2022. – 540 с.

3. Тормозов, Н. А. Землетрясение как смертоносная природная катастрофа / Н. А. Тормозов, Н. Ю. Кожевникова // Молодежь и наука. – 2021. – № 4. – 4 с.

4. Innovations in earthquake risk reduction for resilience: Recent advances and challenges / Freddi F. [et al.] // International Journal of Disaster Risk Reduction. – 2021. – Т. 60. – С. 102–267.

5. Мамбетказиев, Т. К. Современные методы сейсмоизоляции зданий и сооружений / Т. К. Мамбетказиев, Т. С. Мамбеталиев, Б. С. Ордобаев // Современные техника и технологии в научных исследованиях : сборник материалов XIII Международной конференции молодых ученых и студентов, Бишкек, 28–30 апреля 2021 года. – Бишкек : Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке, 2021. – С. 258–263.

6. Седько, А. С. Технологии защиты зданий от сейсмических воздействий / А. С. Седько // Молодежь и научно-технический прогресс : Сборник докладов XI международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х томах, Губкин, Старый Оскол, 19 апреля 2018 года / Составители В. Н. Рощупкина, В. М. Уваров. – Губкин, Старый Оскол : ООО «Ассистент плюс», 2018. – Т. 3. – С. 321–324.

7. Алипур, М. Система сейсмической изоляции и сейсмические демпферы / М. Алипур, К. Ф. Р. Гусман, М. И. Абу Махади // Системные технологии. – 2019. – № 2 (31). – С. 58–64.

8. Пастухов, С. П. Сейсмостойкое строительство / С. П. Пастухов // Actualscience. – 2017. – Т. 3, № 3. – С. 136–138.

9. Iwata, M. Performance evaluation of buckling-restrained braces in damage-controlled structures / M. Iwata, T. Kato, A. Wada // STESSA 2003 – Behavior of steel structures in seismic areas : Proceedings of the 4th International Specialty Conference, Naples, Italy, 9-12 June 2003. – London : Routledge, 2017. – P. 37–43.

10. Amadeo Benavent-Climent. A brace-type seismic damper based on yielding the walls of hollow structural sections / Amadeo Benavent-Climent // Engineering Structures. – 2010. – Vol 32, Issue 4. – P. 1113–1122.

11. Демпфер TRC, система сейсмического контроля для жилых зданий [Электронный ресурс]. – Комаки : Амортизаторы TRC от Sumitomo Riko. – Режим доступа: https://www.sumitomoriko.co.jp/trc-damper-wh/overview.html.

12. Пат. 2789129 Российская Федерация, МПК C 08 L 15/02, C 08 L 23/22, C 08 L 23/28. Терморасширяющаяся вязкоупругая смесь : № 2021139754 : заявл. 29.12.2021 : опубл. 30.01.2023 / Ю. В. Юркин [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет».

13. Shake table tests on a reinforced concrete waffle-flat plate structure with new hybrid energy dissipation devices / A. Benavent-Climent [et al] // Earthquake Engineering & Structural Dynamics. – 2023. – Vol. 52, Issue 3. – P. 727–749.

УДК 621.311.22:005.93+620.97

Повышение термодинамической эффективности ТЭЦ при развитии системы регенеративного подогрева питательной воды

Янчук В. В., Романюк В. Н., доктор техн. наук, профессор
Белорусский национальный технический университет
220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65

Аннотация. На промышленных ТЭЦ, где невозврат конденсата производственного отбора значителен, целесообразным оказывается регенеративное использование отходящих низкотемпературных потоков. В частности, теплоту охлаждения циркуляционной воды конденсатора паровой турбины возможно использовать для нагрева подпиточной воды и применения абсорбционных тепловых насосов (АБТН). Для привода АБТН используются потоки высокопотенциальной тепловой энергии. В данной работе рассмотрен паровой привод АБТН. Использование на привод пара из регенеративных отборов соответствующих параметров или пара из отбора на деаэратор показывает рост показателей эффективности ТЭЦ. В качестве функции цели при реализации данного решения возможно как снижать выработку электрической энергии, так и сохранять или повышать последнюю. В работе представлены зависимости для роста электрического и эксергетического КПД ТЭЦ при снижении электрической мощности станции и сохранении минимального пропуска пара в конденсатор, что наиболее согласуется с текущими условиями работы Белорусской ОЭС. Максимальный рост

показателей эффективности получен в варианте с использованием пара из отбора на деаэратор в качестве греющего потока для АБТН, что связано с максимальной температурой нагреваемого потока на выходе из АБТН, которая зависит как от параметров греющего потока, так и от температур утилизируемого и начальной температуры нагреваемого потока. При сохранении минимального пропуска пара в конденсатор 12 т/ч получено увеличение электрического КПД станции на 0,90 %, энергетического КПД на 0,55 % и эксергетического КПД на 0,23 %.
Ключевые слова: низкопотенциальные тепловые потоки, ТЭЦ, теплонасосная установка, абсорбционный тепловой насос, регенерация.

CHP thermodynamic efficiency improvement by the feed water regenerative heating system modernization

Yanchuk V. V., Romaniuk V. N.
Belarussian national technical university

Annotation. At thermal power plants with significant non-return condensate flows it is reasonable to utilize low-temperature waste heat flows. In particular, the heat from steam turbine condenser circulating water should be used for make-up water heating by absorption heat pumps (AHP) implementation. To drive the AHP high-potential heat flows are needed. This paper describes steam-driven AHP application. The use of steam from regenerative extractions of the corresponding parameters as a drive or steam from the deaerator extraction shows an increase in the efficiency characteristics of the thermal power plant. As a target function of the solution, it is possible to reduce the electrical energy generation or upkeep it or increase the latter. This paper presents calculated results of the thermal power plant electrical and exergy efficiency growth while reducing the electrical capacity of a power plant and maintaining a minimum steam flow to the condenser, which is most consistent with the current operating conditions of the Belarusian power system. The maximum increase in the efficiency indicators was obtained with the use of steam extraction to the deaerator as a heating flow for the AHP, which is connected with the maximum temperature of the heated flow from the AHP, which depends on the parameters of the heating flow and on the temperatures of the utilized flow and the inlet temperature of the heated flow. With the upkeep of the lowest possible steam flow to condenser 12 t/h, the electrical efficiency of power plant rises by 0,90 %, primary fuel use efficiency rises by 0,55 % and exergy efficiency rises by 0,23 %.
Keywords: low-potential heat flows, CHP, heat pump unit, absorption heat pump, regeneration.

Введение. Основным первичным энергоресурсом в Беларуси энергетическом секторе является природный газ (ПГ). С 2020 по 2021 год его доля в приходной части энергобаланса ОЭС Беларуси снизилась с 96 до 84 % [1], что связано, прежде всего, с вводом в эксплуатацию Белорусской АЭС. В последующем, доля ПГ в приходной части энергобаланса энергосистемы будет уменьшаться и при выводе первого и второго блоков Белорусской АЭС на полную мощность составит 57 %, т. е. природный газ по-прежнему останется основным

энергоносителем [2], удельный вес которого в энергобалансе превышает пороговое значение, соответствующее энергетической безопасности применения того или иного первичного энергоресурса, определенного в 50 % [3], что диктует необходимость продолжения работ по снижению доли ПГ в рассматриваемом энергобалансе до указанного порога [4].

За 2020 год 97 % всей произведенной электроэнергии в Республике Беларусь было выработано на ТЭС, из них порядка 50 % – на ТЭЦ различного назначения. Говоря о ТЭЦ, имеется возможность повышения их эффективности за счет полезного использования сбросных тепловых потоков внутри цикла. В данной работе рассмотрено изменение показателей эффективности ТЭЦ при утилизации теплоты охлаждения циркуляционной воды, которая в штатном режиме рассеивается в окружающую среду. Расчеты проведены для наиболее распространенного для Белорусской ОЭС турбоагрегата – ПТ-60. Предложенное решение актуально для ТЭЦ, где имеется значительный невозврат конденсата с производства, что определяется характером промышленного потребителя пара. Наибольший интерес представляют Гродненская ТЭЦ-2, Мозырская и Новополоцкая ТЭЦ.

Основная часть. Мощность сбросных тепловых потоков на ТЭС велика, но их температуры относительно низкие, что делает нецелесообразным их прямое использование и требует применения тепловых насосов (ТН) для повышения температурного уровня.

В этом контексте возможно использование ТН, как парокомпрессионных (ПКТН), так и теплоиспользующих, прежде всего, абсорбционных (АБТН). Для привода первых требуется электроэнергия, энергетическая ценность которой максимальна, что резко понижает их энергетический КПД и делает, в большинстве случаев, экономически нецелесообразными. На привод АБТН требуется поток тепловой энергии (пар, горячая вода, дымовые газы и пр.) с относительно низкой энергетической ценностью, что и приводит к их более высокой термодинамической эффективности, которую и отражает более высокое значение энергетического КПД АБТН. Для отопительных коэффициентов μ (COP_{hp}) = 1,7 для АБТН и μ (COP_{hp}) = 3,5 для ПКТН, энергетические КПД в рассматриваемых условиях составляют 62 % и 41 % соответственно.

Не затрагивая прочих факторов эксплуатации, можно лишь отметить, что целесообразность применения АБТН усиливается и экономическими условиями (соотношением текущих тарифов на тепловую и электрическую энергию [10–12]), поэтому применительно к ТЭЦ, выгодным является использование тепловых потоков, которые имеют более низкую цену по сравнению с электрической энергией, требуемой на привод ПКТН [8; 9].

В связи с перечисленными выше причинами, далее рассматривается применение теплоиспользующих тепловых насосов на базе АБТН. Для проведения расчетов необходимо определиться с параметрами трех потоков АБТН: утилизируемого, нагреваемого и греющего. В качестве утилизируемого потока рассмотрим циркуляционную воду конденсатора паровой турбины, температурный график которой принят 25/20 °С.

В качестве нагреваемого потока (потока потребления теплоты АБТН) наиболее подходит поток непосредственно подпиточной воды, восполняющей

невозврат конденсата производственного отбора. В классической схеме данный поток поступает на ТЭЦ с температурой 5–20 °С, а после блока водоподготовки его температура составляет величину порядка 35 °С, при этом далее подмешивается к потоку основного конденсата. Расход подпиточной воды зависит от процента возврата конденсата и значительно отличается для каждой конкретной станции, что, в свою очередь, обусловлено особенностями технологии потребителей, для которых отпускается пар промышленного отбора [13].

В качестве греющего потока на ТЭЦ возможно использовать водяной пар, который имеется в промышленном и в регенеративных отборах различных давлений. В тепловой схеме рассматриваемой турбины ПТ-60 имеется несколько отборов пара с давлением, отвечающим требованиям работы АБТН, а именно, регенеративные отборы на ПНД-3 – 3,4 атм. и ПНД-4 – 6,0 атм., а также отбор пара на деаэратор с давлением 6,0 атм.

Рассмотрим работу турбоустановки при следующих условиях: расход пара в П-отбор 140 т/ч, нагрузка теплофикационного отбора 52,3 Гкал/ч, что соответствует расходу пара в Т-отбор 100 т/ч, пропуск пара в конденсатор 12 т/ч, расход свежего пара в голову турбины 395 т/ч.

Максимально возможная температура нагреваемого потока зависит от его начальной температуры, от параметров утилизируемого потока, а также от давления греющего пара. Для греющего пара давлением 3,4 ата предельная температура нагреваемого потока составит 73 °С, при использовании пара из отбора на ПНД-4 и из отбора на деаэратор поток возможно нагреть до 85 °С.

В качестве функции цели при оптимизации решения задачи, возможны три варианта: увеличение выработки электрической энергии при сохранении расхода пара на турбину, сохранение электрической мощности установки при сокращении подачи пара в голову турбины или сохранение минимального пропуска пара в конденсатор с одновременным снижением расхода острого пара и снижением выработки. Во всех случаях тепловые нагрузки отопительного и промышленного отбора сохраняются. В процессе эксплуатации возможен переход от одного варианта функции цели к другому, так как изменение расходов пара по вариантам находится в пределах диапазона регулирования.

В условиях ввода в строй Белорусской АЭС актуальным является вариант с сохранением минимального пропуска пара в конденсатор, при этом выработка электрической энергии также будет снижаться за счет снижения подачи пара в голову турбины.

Эффективность модернизации ТЭЦ оценим на основании электрического КПД $\eta_{эп}$, энергетического КПД $\eta_{эн}$ и эксергетического КПД η_e, которые соответственно рассчитываются:

$$\eta_{эл} = \frac{W_{ээ}}{Q_{топл} - Q_{то} - Q_{по}},$$

$$\eta_{эн} = \frac{W_{ээ} + Q_{то} + Q_{по}}{Q_{топл}},$$

$$\eta_e = \frac{\sum E''}{\sum E'} = \frac{E_{ЭЭ} + E_{ТЭ}}{E_{топл}},$$

где $W_{ээ}$ – электрическая выработка турбоустановки, ГДж/ч; $Q_{то}$ – тепловая нагрузка теплофикационного отбора, ГДж/ч; $Q_{по}$ – тепловая нагрузка производственного отбора, ГДж/ч; $Q_{топл}$ – мощность потока топлива, ГДж/ч; $E_{ЭЭ}$ – эксергия электрической энергии, ГДж/ч; $E_{ТЭ}$ – эксергия отпускаемой тепловой энергии (в теплофикационном и производственном отборах), ГДж/ч; $E_{топл}$ – эксергия потока топлива, ГДж/ч.

КПД парового котла принят постоянным во всех рассмотренных режимах, так как для всех описанных вариантов изменение расхода свежего пара в связи с интеграцией АБТН в тепловую схему не превысило 3,5 т/ч, что составляет менее 1 % от общего расхода пара из котла, и в данных пределах изменением КПД котла можно пренебречь.

Для каждого из трех описанных выше вариантов в результате модернизации данные показатели эффективности возрастают и зависят, кроме всего прочего, от процента невозврата конденсата. И в предельном случае, для варианта с полным невозвратом конденсата в тепловую схему, рост электрического КПД оказывается наибольшим для варианта с сохранением расхода пара в голову турбины и увеличением выработки электроэнергии, и составляет до 1 %. Рост энергетического КПД показывает максимум для варианта с сохранением пропуска пара в конденсатор и составляет 0,54 %.

Эффективность выработки электрической энергии в последних ступенях паровых турбин невысока, поэтому следует выбирать вариант с сохранением минимального расхода пара в конденсатор, что для турбин с уплотненной диафрагмой составляет 12 т/ч. Далее приведены графики зависимости увеличения электрического КПД (рис. 1) и увеличения эксергетического КПД (рис. 2) от процента возврата конденсата производственного отбора в цикл для данного варианта.

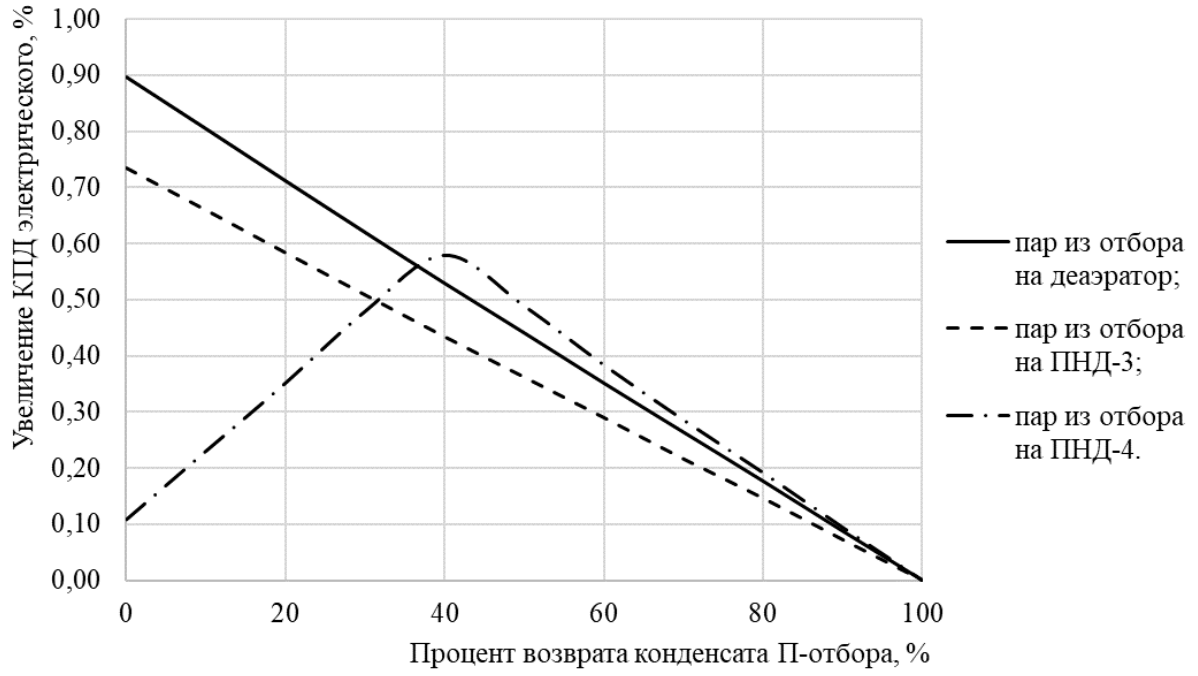


Рис. 1. Рост электрического КПД за счет установки АБТН

Из приведенных рисунков следует, что эффектом от рассматриваемой модернизации будет снижение электрической мощности турбоустановки на 0,32 МВт при полном невозврате конденсата производственного отбора и использовании пара из отбора на деаэратор в качестве привода АБТН. При этом электрический КПД турбоустановки увеличивается на 0,90 %, энергетический КПД увеличивается на 0,55 %, эксергетический КПД также увеличивается на 0,23 %. Требуемая мощность устанавливаемого АБТН равна 8,2 МВт.

Точки перегиба на линиях, описывающих изменение параметров при использовании пара из отбора на ПНД-4, соответствуют максимальной мощности АБТН на данном потоке пара. Так как данный отбор является нерегулируемым, его недостаточно для нагрева потока подпиточной воды при полном невозврате конденсата в цикл.

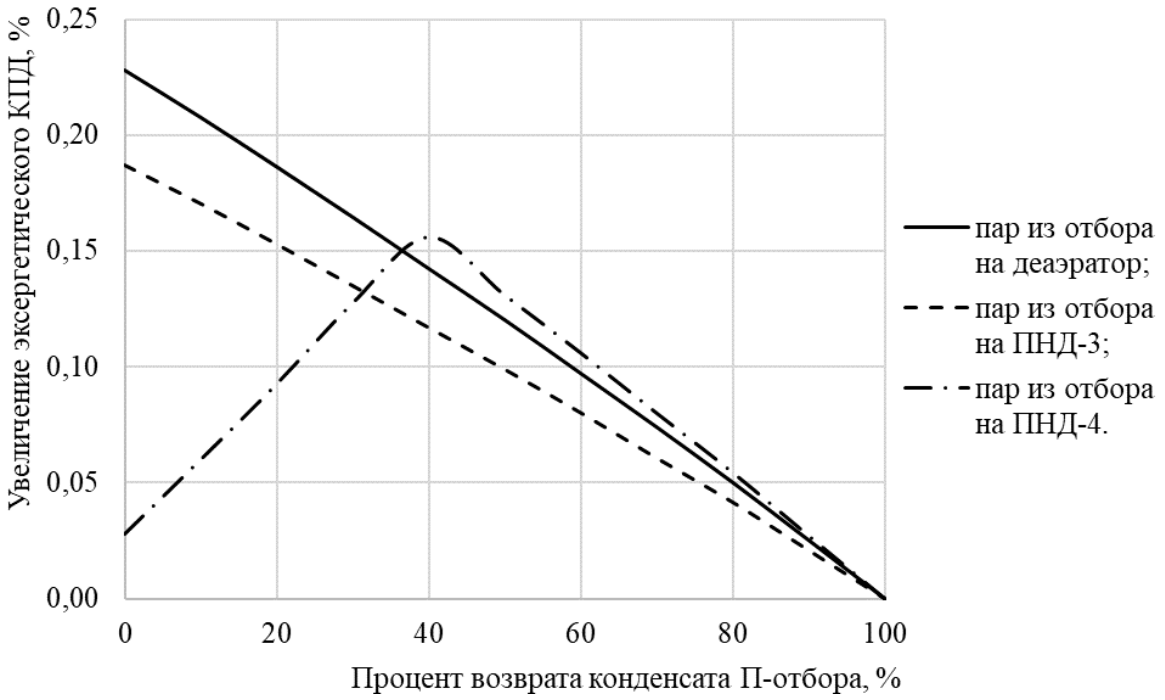


Рис. 2. Увеличение эксергетического КПД станции за счет установки АБТН

При возврате 41 % конденсата производственного отбора в цикл и использовании всего пара отбора на ПНД-4 в АБТН повышение электрического КПД оказывается равным 0,58 %, рост энергетического КПД – 0,34 %, рост эксергетического КПД – 0,16 %. Требуемая мощность АБТН – 5,0 МВт.

Для варианта использования для привода АБТН отбора с более низким давлением эффективность падает, что объясняется более низкой конечной температурой нагреваемого потока подпиточной воды, которая ограничивается параметрами АБТН в случае снижения давления греющего пара. В этом варианте предельное увеличение электрического КПД составит 0,73 %, энергетического – 0,45 %, эксергетического – 0,19 %. Установленная мощность АБТН – 6,2 МВт.

Заключение. Использование потенциала низкотемпературных тепловых ВЭР (теплоты охлаждения циркуляционной воды) возможно для регенеративного подогрева подпиточной воды и позволяет получить положительный эффект.

Регенеративное использование сбросных низкотемпературных тепловых потоков на ТЭЦ позволяет расширить систему регенеративного подогрева питательной воды и повысить эффективность использования первичных энергоресурсов. При этом в текущих условиях работы Белорусской ОЭС оптимальным является вариант со снижением электрической выработки, что позволяет увеличить электрический КПД в пределе на 0,82 %, при этом энергетический КПД увеличивается на 0,54 %. Электрическая мощность турбоустановки снижается на 0,32 МВт.

Литература

1. Our world in data / Electricity mix [Электронный ресурс] / Electricity Mix – Our World in Data. – Режим доступа: https://ourworldindata.org/electricity-mix#fossil-fuels-what-share-of-electricity-comes-from-fossil-fuels.
2. Хрусталев, Б. М. Расширение энергосберегающей базы в условиях централизованного теплоснабжения и доминирования энергоемких технологий / Б. М. Хрусталев, В. Н. Романюк // Энергоэффективность. – 2017. – № 12. – С. 20–27.
3. Михалевич, А. А. Моделирование работы Белорусской энергосистемы с учетом ввода АЭС / А. А. Михалевич, В. А. Рак // Энергетика. Изв. высш. учеб. Заведений и энерг. объединений СНГ. – 2021. – Т. 64, № 1. – С. 5–14.
4. Романюк, В. Н. Численное исследование тепловых схем ТЭЦ с помощью их топологических моделей / В. Н. Романюк, А. А. Бобич // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2016. – Т. 59, № 4. – С. 376–390.
5. Производство электрической энергии [Электронный ресурс] / Производство электрической энергии – ГПО «Белэнерго». – Режим доступа: https://www.energo.by/content/deyatelnost-obedineniya/proizvodstvo-elektricheskoy-energii/.
6. Вторичные энергоресурсы и энеготехнологическое комбинирование в промышленности : учебник для вузов / Н. А. Семененко [и др.] – Киев : Вища школа, 1970. – 296 с.
7. Бродянский, В. М. Эксергетический метод термодинамического анализа / В. М. Бродянский. – М. : Энергия, 1973. – 296 с.
8. Романюк, В. Н. Абсорбционные или парокомпрессионные тепловые насосы в схемах ТЭЦ / В. Н. Романюк, А. А. Бобич, С. В. Мальков // Энергия и менеджмент. – 2013. – № 4. – С. 18–21.
9. Янченко, И. В. Влияние абсорбционного теплового насоса на тепловую экономичность ТЭС и АЭС: дис. … канд. техн. наук: 05.14.14 / И. В. Янченко. – Новочеркасск, 2015. – 180 с.
10. Тарифы на электрическую энергию для юридических лиц и индивидуальных предпринимателей [Электронный ресурс] / Филиал «ЭНЕРГОСБЫТ» – Тарифы на электроэнергию. – Режим доступа: https://www.energosbyt.by/ru/info-potrebitelyam/ur-l/tarify/tarify-elektro.
11. Тарифы на тепловую энергию для юридических лиц и индивидуальных предпринимателей [Электронный ресурс] / Филиал «ЭНЕРГОСБЫТ» – Тарифы

на теплоэнергию. – Режим доступа: https://www.energosbyt.by/ru/info-potrebitelyam/ur-l/tarify/tarify-teplo.

12. Цены на природный газ для юридических лиц и индивидуальных предпринимателей [Электронный ресурс] / Цены на природный газ для юридических лиц и индивидуальных предпринимателей. – Режим доступа: https://www.topgas.by/content/produktsiya/tseny-na-prirodnyy-gaz-dlya-yuridicheskikh-lits-i-individualnykh-predprinimateley-v-respublike-belar/.

13. Янчук. В. В. Повышение эффективности действующих тепловых электрических станций в современных условиях / В. В. Янчук, В. Н. Романюк // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2022. – № 6. – С. 511–523.

14. Бобич, А. А. Комплекс энергосберегающих мероприятий на ТЭЦ при адаптации к условиям работы энергосистемы с вводом Белорусской АЭС : дис. … канд. техн. наук : 05.14.14 / А. А. Бобич. – Минск, 2018. – 224 с.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕЗОЛЮЦИЯ

XII Форума вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства 23–27 октября 2023 года, г. Минск 6
Иванец А. И. Министр образования Республики Беларусь 9
Мезенцев Д. Ф. Государственный секретарь Союзного государства 12
Грызлов Б. В. Чрезвычайный и полномочный посол Российской Федерации 13
Рапота Г. А. Почетный профессор БНТУ 15
Дмитриев С. М. Ректор НГТУ 17
Абдурахманов О. К. Ректор ТГТУ 19

Пленарные доклады

Харитончик С. В. Инженерная траектория научно-образовательного пространства 21
Чижик С. А. Подготовка научных кадров для высокотехнологичных отраслей экономики 31
Ильина Н. А. Пиш гибридных технологий в станкостроении как фактор развития технического образования союзного государства 36

Секционные доклады

Аппалонова Н. А. Экосистема молодежного технологического предпринимательства в Республике Татарстан 41
Бровка Г. М., Потапчук Т. Д., Хархаль М. А. Компаративный анализ рейтинговых оценок инновационного развития средних континентальных стран Европы и Беларуси 48
Вавилов А. В. Содействие развитию механизации дорожно-строительного комплекса Беларуси в условиях санкций 54
Василевич Ю. В., Остриков О. М. Метод расчета полей напряжений в двойникующемся материале в системе «механический клиновидный нанодвойник – трещина» в условиях одноосного растяжения 57
Дмитриев А. В. Нейтрализация угроз экономической безопасности в цифровых экосистемах логистики 65
Добрынина М. В., Растимешина Т. В. Применение инновационных технологий в молодежном социальном предпринимательстве как драйвер устойчивого социально-экономического развития 72
Довнар С. С., Яцкевич О. К., Колесников Л. А., Лапука А. Д., Резник С. В. МКЭ-анализ несущей системы многокоординатного высокопроизводительного субтрактивного станка с ЧПУ 82
Дорожкина И. П., Череповицын А. Е. Возрастающая роль отрасли редкоземельных металлов в условиях развития новой энергетики 94
Дюжев А. А., Шапорова Е. В. Применение виртуальных испытаний при проектировании колесных погрузчиков 97
Зверко А. А., Дьячкова Л. Н., Шелег В. К. Влияние термомеханической обработки на структуру и свойства псевдосплава на основе железа, полученного инфильтрацией медным сплавом 102

Изоитко В. М., Буйкус К. В. Восстановление деталей автомобилей многоструйным активированным дуговым напылением 111
Калько А. И. Роль программы «Агрегатор инновационных идей» в поиске заказчиков и содействии реализации инновационных проектов в Союзном государстве 114
Корзюк В. И., Рудько Я. В. Задача Коши для бипараболического уравнения теплопереноса четвертого порядка 121
Кот В. А. Начальная задача Брату: нановолоконные технологии 124
Крюков С. А., Шумячер В. М. Проектирование абразивного инструмента для шлифования деталей подшипников 144
Куфаев В. Г. Применение новых технологий окончательной обработки бронзовых вкладышей подшипников скольжения для повышения их работоспособности 148
Лойко А. И. Инновационные технологии искусственного интеллекта и гражданско-правовые отношения 152
Мирзомахмудов А. Р., Исаев А. В. Разработка элементов технологической системы для повышения эффективности обработки профиля колесных пар железнодорожных составов 157
Мухиддинов З. Н. К вопросу выбора приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности технических вузов 165
Николаевский В. В., Шамардина И. А. Инженерия: интеллектуализация труда и когнитивная деятельность 170
Озерова Н. В., Зиньков К. А., Якубов, А. С., Хмелев К. М. Модернизация цементного завода путем установки циклонного теплообменника для снижения углеродного следа 178
Пехота А. Н., Хрусталев Б. М., Вострова Р. Н. Использование отходов ЖКХ для получения альтернативного топлива. Основные производства и технико-экономическая оценка 186
Пехота А. Н., Хрусталев Б. М., Чернюк Н. В. Перспективы использования торфа в производстве строительных материалов 192
Порохня А. А., Оганисян А. П. Исследование мирового автопарка гибридных автомобилей 197
Послед (Андронова) Е. Ю., Зверев В. Ф. Постнапряжение в построечных условиях 202
Савичев Д. С., Сиренко Ю. Г. Анализ существующих методик моделирования процессов добычи твердых полезных ископаемых 213
Сиваков Л. Ю., Ерохова Д. И., Толпыго Н. А., Юденков М. А., Агаев Р. А., Маршалковский Р. С., Болотов С. В., Захарченков К. В., Лупачев А. В., Еремеев А. Д. Программно-аппаратный комплекс регистрации параметров сварочных процессов и управления обучением сварщиков 221
Старжинский В. П. Инфраструктурная поддержка инновации как основа развития научно-экономического потенциала инженерных вузов Союзного государства 230
Тажибаев Г. Г., Инагамов С. Я. Исследование состава высушенного плода лекарственного растения каперса колючего «Capparis Spinosa L.» 238

Тунакова Ю. А., Новикова С. В., Валиев В. С., Новикова К. Н. Нейросетевая оценка накопления металлов в организме жителей крупного города в результате полиметаллического загрязнения среды обитания 245
Хакимов Ш. З., Тургунпулатова Ш. М. Изучение идентификационных показателей и качества бузины (Sambucus nigra), выращенной в условиях Узбекистана 254
Чигринова Н. М. Роль физических критериев в объяснении механизмов образования микроплазменных покрытий 261
Швец И. В. Чемпионаты профессионального мастерства в современных реалиях 270
Юркин Ю. В., Рогожкин Р. С., Варанкина Д. А. Разработка терморасширяющегося материала на основе каучуков для вязкоупругого демпфера, обеспечивающего снижение риска аварий и катастроф от землетрясений..... 275
Янчук В. В., Романюк В. Н. Повышение термодинамической эффективности ТЭЦ при развитии системы регенеративного подогрева питательной воды 280

Научное издание

XII Форум вузов
инженерно-технологического профиля Союзного государства

Сборник научных трудов

г. Минск, 23–27 октября 2023 г.

Второе издание,
дополненное и переработанное

Редактор *А. С. Козловская*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 11.09.2024. Формат 60×84 $^{1}/_{8}$. Бумага офсетная. Цифровая печать.
Усл. печ. л. 36,50. Уч.-изд. л. 16,81. Тираж 55. Заказ 1139.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.

Отпечатано в ОДО «Издательство “Четыре четверти”».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/139 от 08.01.2014, № 3/219 от 21.12.2013.
Ул. Б. Хмельницкого, 8-215. 220013, г. Минск.
Тел./факс: +375 17 350 25 42. E-mail: info@4-4.by