

А.Н. Вайтович¹, В.Г. Пастушков¹, Л.В. Янковский²

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

²Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И УСИЛЕНИЕ МОНОЛИТНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕРЖНЕВОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДНАПРЯЖЕНИЯ

Приведены результаты численного и экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния. Рассмотрен метод усиления монолитных перекрытий с использованием стержневой системы преднапряжения. Стержневая система позволяет не только усилить и восстановить несущую способность перекрытий транспортных сооружений, но и увеличить грузоподъемность. Усиление позволяет изменить схему работы перекрытия из безбалочной (плоской) плиты в плиту, опертую по контуру. Данная система может быть применена не только для строящихся транспортных объектов, но и находящихся в эксплуатации.

Ключевые слова: монолитное перекрытие, несущая способность, усиление, предварительное напряжение.

Монолитное строительство обеспечивает широкие возможности для проектирования транспортных сооружений. Технология возведения сооружений из монолитного железобетона позволяет сооружать строения любой формы и размера.

Основной недостаток монолитного железобетона – это увеличение по сравнению со сборными конструкциями расхода арматурной стали и бетона, так как непосредственно в условиях массового строительства сложно применить предварительное напряжение арматуры [1]. Для изготовления монолитных конструкций наиболее перспективным является применение напрягающего бетона, позволяющего в условиях строительной площадки осуществить предварительное напряжение арматуры.

Основными недостатками обычных железобетонных конструкций и элементов, применяемых в строительстве, являются их значительная масса и возникновение трещин в бетоне даже при небольших напряжениях в арматуре. Положительные результаты на пути преодоления этих недостатков были получены лишь с внедрением в практику строительства предварительно напряженного железобетона. Предварительное напряжение арматурной стали и обжатие бетона значительно

повышают трещиностойкость элемента [2], что особенно важно при больших пролетах, например в паркингах и других транспортных сооружениях.

Анализ выполняемых строительно-монтажных работ при строительстве транспортных зданий из монолитного железобетона показывает, что применяемая технология и организация производства монолитного строительства, а также сложившаяся система производственного контроля качества на большинстве строящихся объектов не обеспечивают требуемый уровень качества.

Неоднократно, при нарушении технологии производства работ или временной приостановке строительства, перекрытия подвергаются постоянным циклам замораживания-оттаивания, вследствие чего перекрытие перестает нести проектную нагрузку. При многократном попеременном охлаждении и последующем оттаивании компоненты бетона меняют объем в соответствии с присущими им коэффициентами температурного расширения. При этом если в порах бетона содержится вода, она изменяет объем не только в результате температурного расширения или сжатия, но и при фазовом переходе воды в лед, когда ее объем увеличивается примерно на 9 %. Например, морозная деструкция наружного слоя плит, вследствие циклического замораживания-оттаивания при водонасыщении, проявляется в сетке микротрещин вокруг заполнителя, что приводит к отслоению защитного слоя бетона и уменьшению его прочности. Это в значительной степени влияет на долговечность конструкций [3, 4].

Наиболее часто морозные разрушения железобетонных монолитных плит перекрытий происходят:

- 1) при нарушении и непредвиденных сбоях технологии производства работ на этапе строительства зданий и сооружений;
- 2) из-за временной приостановки строительства, когда не выполняется консервация сооружения;
- 3) в эксплуатируемых сооружениях, когда конструкции не защищены от воздействия окружающей среды.

Для восстановления перекрытий возможно:

- 1) применять наноматериалы (Sika, Emaco);
- 2) осуществлять подведение разгружающих балок или наращивание слоя бетона сверху [5];
- 3) применять принцип преднапряжения (системы Dywidag, Freyssinet).

Недостатками вышеприведенных методов усиления являются их дороговизна, трудоемкость выполнения работ и необходимость высокой квалификации кадров.

Создание системы предварительного напряжения особенно эффективно для усиления и восстановления конструкций, когда требуется включение в совместную работу выполненного дефектного или поврежденного железобетона и нового бетона усиления. Также выполнение предварительно напряженных затяжек может производиться с целью создания новой системы передачи усилий от безбалочной (плоской) плиты к плите, опертой по контуру.

Для усиления и восстановления несущей способности перекрытий на кафедре «Мосты и тоннели» была разработана стержневая система внешнего преднапряжения. Данная система усиления впервые была разработана для восстановления несущей способности размороженного участка перекрытия строящегося логистического центра «Кунцевщина» в г. Минске (рис. 1).

Безбалочное монолитное железобетонное перекрытие логистического центра (толщиной 300 мм) представляло собой сплошные плиты, опертые непосредственно на колонны. В плитных конструкциях перекрытий было принято конструктивное решение постановки вертикальной рабочей арматуры, пересекающей призму продавливания в виде установки закладных деталей, имеющих повышенную анкеровку вертикальных стержней за счет приваренных металлических пластин по концам. Соединение плит перекрытий к колоннам выполнялось при помощи выпусков арматурных стержней. Для создания достаточной жесткости в месте сопряжения железобетонной плиты с колонной и обеспечения прочности плиты на продавливание по периметру колонны выполнение капителей предусмотрено не было. Проектом предусмотрено, что плиты изготавливаются из тяжелого бетона класса С28/35 (В35).

При зимнем бетонировании перекрытия на отметке +5,950 в осях 31-29 и Д/3-Г/3 отключилась система подогрева. Вследствие этого в процессе натурного обследования были выявлены морозные разрушения верхнего слоя бетона. Толщина размороженного слоя перекрытия составила порядка 70 мм от верхней грани плиты. Лабораторные исследования выбуренных кернов показали, что прочность верхнего размороженного слоя бетона соответствовала классу С4/5 (В5).



Рис. 1. Общий вид участка усиливаемого перекрытия логистического центра

Также было произведено статическое испытание участка монолитной плиты перекрытия на трещиностойкость и жесткость в построечных условиях, в ходе которого было установлено, что контрольная нагрузка, прикладываемая на монолитную железобетонную плиту перекрытия, составляет 4,81 кПа. Трещины при испытании монолитной железобетонной плиты перекрытия не образовались, фактический прогиб плиты перекрытия составил 0,96 мм.

На основании данных, полученных при обследовании и испытании участка перекрытия, было установлено, что для обеспечения требуемой несущей способности необходимо выполнение усиления.

Наиболее эффективным для конструкции и доступным для эксплуатирующей организации способом усиления было использование предварительно напряженных затяжек для создания новой системы передачи усилий от безбалочной плиты к плите, опертой по контуру. В схеме усиления был использован принцип внешнего армирования с применением стержневой арматуры. Представленное техническое решение было направлено на возможное полное использование существующих конструкций, обеспечение работы существующих и конструкций усиления как единого целого при максимальной эффективности усиления и снижении трудоемкости работ.

В качестве стержневых элементов использовалась арматура класса S800 (A-V). Зависимость напряжения арматуры (σ_s) и относительной деформации (ε_s) для данной напрягаемой арматуры предваритель-

но напряженных конструкций принималась в соответствии с диаграммой рис. 2. Модуль деформаций для горячекатаной арматуры принимался равным 200 кН/мм^2 [6].

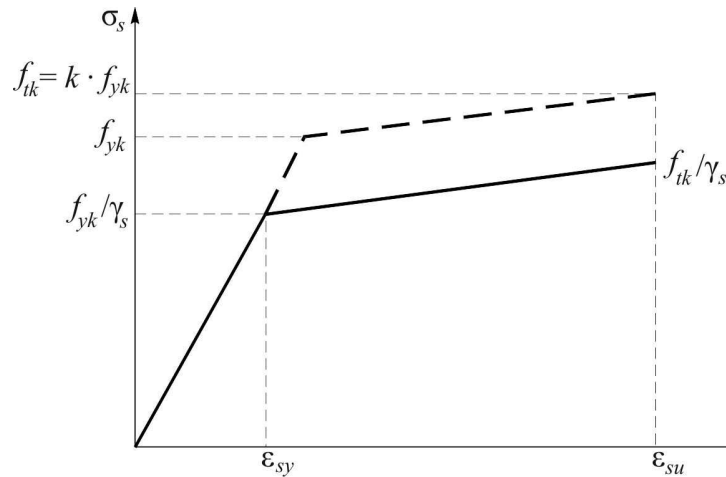


Рис. 2. Зависимость напряжения арматуры (σ_s) от относительной деформации (ϵ_s) для напрягаемой арматуры класса S800 (A-V)

На первоначальном этапе разрабатывались рабочие чертежи с использованием средств AutoCAD. Они же были переданы в программный комплекс SOFiSTiK как расчетная схема (рис. 3).

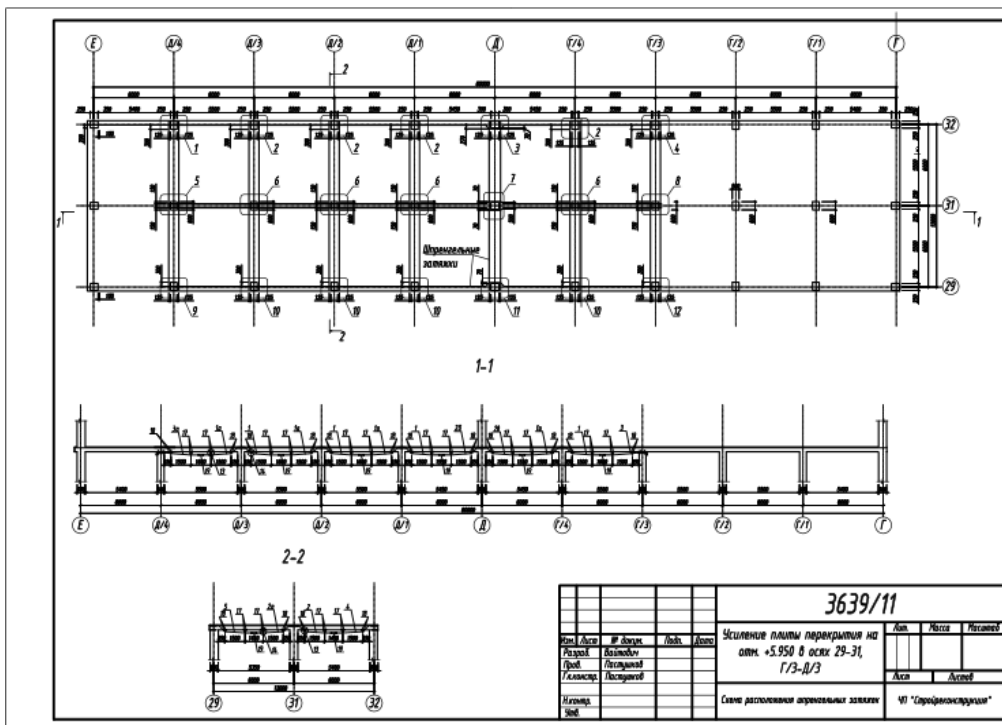


Рис. 3. Рабочие чертежи проекта усиления. Расчетная схема для программного комплекса SOFiSTiK выполнялась средствами AutoCAD

Основным методом определения напряженно-деформированного состояния конструкции усиленных монолитных перекрытий является метод конечных элементов, основанный на диаграмме деформирования различных материалов с учетом их фактического состояния [7]. Наиболее достоверно и удобно рассчитать системы преднапряжения конструкций позволяет модуль Tendon программного комплекса SOFiSTiK (рис. 4). По завершении расчета можно проанализировать работу конструкции в процессе усиления и эксплуатации.

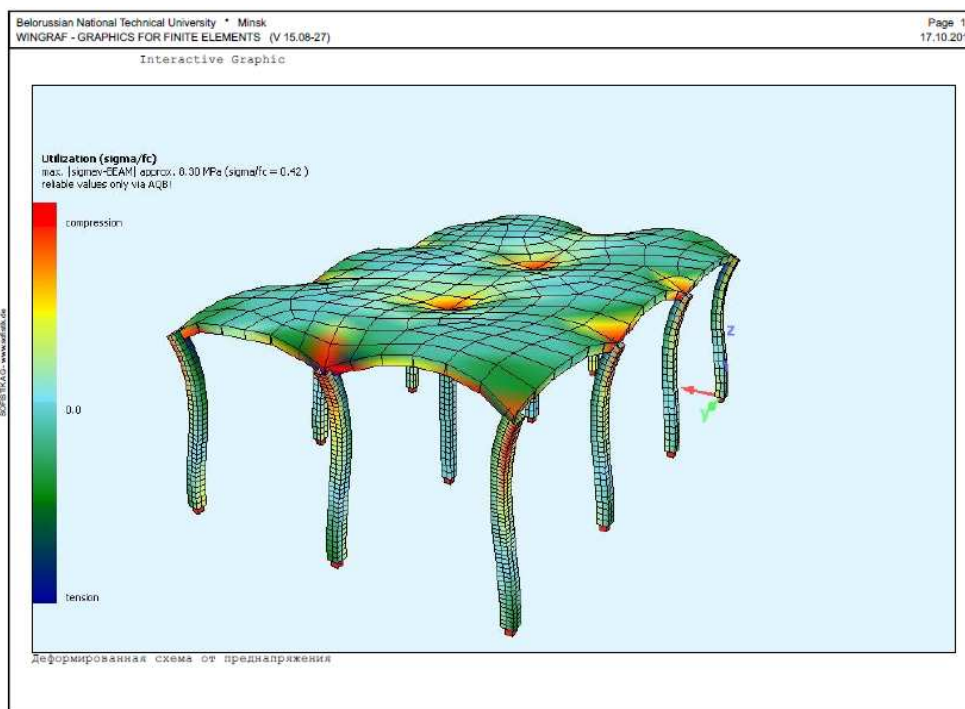


Рис. 4. Деформационная схема преднапряжения

При расчете системы внешнего преднапряжения были созданы следующие типы загрузений (Loadcase):

- 1) от собственного веса конструкций без усиления;
- 2) от временной (полезной) нагрузки на перекрытие;
- 3) от воздействия системы внешнего преднапряжения.

Затем составлялись комбинации наиболее невыгодных загрузений (Loadcase Combination). Также при просмотре объемного напряженно-деформированного состояния был проведен анализ железобетонного элемента с учетом повреждений и системы преднапряжения (рис. 5). Расчет усилий в преднапряженных стержнях позволял определить долю их включения и перераспределения на плиту перекрытия.

Важнейшей задачей при усилении было контролирование усилий, возникающих в арматурных стержнях при натяжении, чтобы не допустить слома плиты перекрытия. Натяжение шпренгельных затяжек производилось до 50 % проектного усилия. Включение системы усиления происходит при приложении нагрузки на перекрытие.

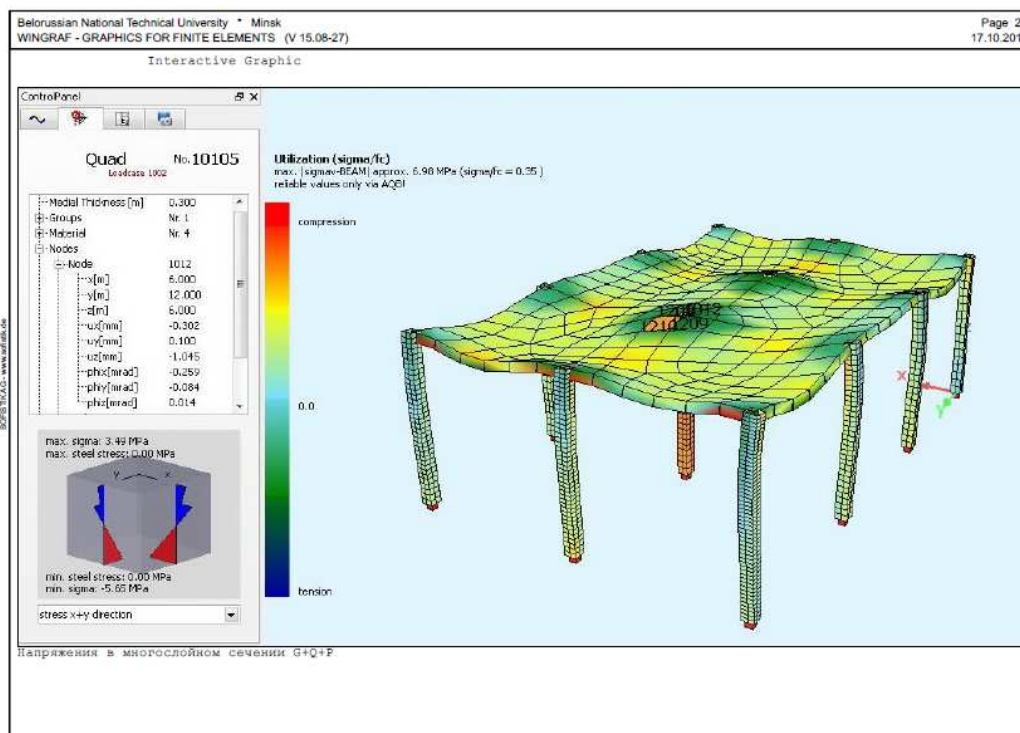


Рис. 5. Напряжения в железобетонном элементе

Таким образом, стержневая система внешнего преднапряжения, разработанная на кафедре «Мосты и тоннели», позволяет не только усилить и восстановить несущую способность перекрытий транспортных сооружений, но и увеличить грузоподъемность. Усиление позволяет изменить схему работы перекрытия из безбалочной (плоской) плиты в плиту, опертую по контуру. Данная система может быть применена не только для строящихся транспортных объектов, но и находящихся в эксплуатации. Представленное техническое решение направлено на возможное полное использование существующих конструкций, обеспечение работы существующих и конструкций усиления как единого целого при максимальной эффективности усиления и снижения трудоемкости работ.

Исследование проведено при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России из федерального бюджета в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, соглашение № 14.В37.21.1222.

Список литературы

1. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования: учеб. пособие для студентов строительных специальностей / Т.М. Пецольд [и др.]; отв. ред. В.В. Тур; Мин-во образования РБ, Брест. гос. техн. ун-т. – Брест: Изд-во БГТУ, 2003. – 380 с.

2. Дрозд Я.И., Пастушков Г.П. Предварительно напряженные железобетонные конструкции: учеб. пособие для строит. спец. вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Минск: Вышэйшая школа, 1984. – 208 с.

3. Янковский Л.В. К вопросу оценки и прогноза состояния цементных бетонов, эксплуатирующихся в условиях воздействия климата Урала и Сибири // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 2. – С. 86–95.

4. Анализ срока службы современных цементных бетонов / П.Б. Рапопорт [и др.] [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4. – URL: <http://www.science-education.ru/104-6559> (дата обращения: 02.07.2012).

5. Мальганов А.И., Плевков В.С., Полищук А.И. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий: атлас схем и чертежей / Томск. межотраслевой ЦНТИ. – Томск, 1990. – 316 с.

6. СНБ 5.03.01–02. Бетонные и железобетонные конструкции. – Взамен СНиП 2.03.01–84*; введ. 20.06.2002. – Минск: РУП Стройтехнорм, 2003. – 146 с.

7. Пастушков В.Г., Пастушков Г.П. Экспериментальные исследования пространственной работы железобетонных бездиафрагменных пролетных строений на крупномасштабных моделях // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2011. – № 2. – С. 141–151.

Получено 6.03.2012

A.N. Vaitovich, V.G. Pastushkov, L.V. Yankovsky

**RESEARCH INTENSE THE DEFORMED CONDITION
AND STRENGTHENING OF MONOLITHIC OVERLAPPINGS
OF TRANSPORT CONSTRUCTIONS WITH USE
OF ROD SYSTEM OF PRETENSION**

The numerical and pilot study of the tensely deformed condition and method of strengthening of monolithic overlappings is given in article with use of rod system of pretension. The rod system, allows not only to strengthen and restore bearing ability of overlappings of transport constructions, but also to increase loading capacity. Strengthening allows to change the scheme of work of overlapping from a bezbalochny (flat) plate in a plate, operty on a contour. This system can be applied not only to transport objects under construction, but also already being in operation.

Keywords: monolithic slabs, bearing capacity, strengthening, prestressing.

***Вайтович Александр Николаевич** (Минск, Республика Беларусь) – студент Белорусского национального технического университета (220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, e-mail: aa4387-7@mail.ru).*

***Пастушков Валерий Геннадьевич** (Минск, Республика Беларусь) – кандидат технических наук, доцент Белорусского национального технического университета (220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, e-mail: valpast@inbox.ru).*

***Янковский Леонид Вацлавович** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: yanekperm@yandex.ru).*

***Vaitovich Aleksandr Nikolaevich** (Minsk, Belarus) – student, Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosty av., Minsk, 220013, Belarus, e-mail: aa4387-7@mail.ru).*

***Pastushkov Valeriy Gennad'evich** (Minsk, Belarus) – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosty av., Minsk, 220013, Belarus, e-mail: valpast@inbox.ru).*

***Yankovsky Leonid Vaclavovich** (Perm, Russia) – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russia, e-mail: yanekperm@yandex.ru).*