

## ПОСТНАПРЯЖЕНИЕ В ПОСТРОЕЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Е. Ю. ПОСЛЕД (АНДРОНОВА)<sup>1</sup>, В. Ф. ЗВЕРЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>магистрант кафедры «Строительные конструкции имени  
доктора технических наук, профессора Т. М. Пецоляда»,

<sup>2</sup>к.т.н., профессор, профессор кафедры «Строительные конструкции имени  
доктора технических наук, профессора Т. М. Пецоляда»  
Белорусский Национальный Технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В последнее время в мировой практике строительства при возведении высотных зданий широко применяют постнапряженные перекрытия. Применение технологии постнапряжения в плоских плитах перекрытия наряду с простотой его выполнения и высокой надежностью позволяет снижать расход арматурной стали в 1,7 раза, а расход бетона – на 20–30 % по сравнению с перекрытиями, выполненными из обычного железобетона.

Постнапряжение позволило повысить трещиностойкость, жесткость и значительно снизить собственный вес конструкций, сделав их более экономичными в изготовлении и в эксплуатации. Не маловажным преимуществом данной технологии является полное использование высоких прочностных свойств напрягаемой арматуры. Многие из недостатков монолитного строительства позволяет решить за счет применения прогрессивных строительных технологий и современных конструктивных схем возведения зданий, элементов, постнапрягаемых в построечных условиях.

В Республике Беларусь метод предварительного напряжения бетона в построечных условиях применялся лишь при строительстве 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

E. Y. POSLED (ANDRONOVA)<sup>1</sup>, V. F. ZVEREV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Master student of the Department "Building Structures named  
after Doctor of Technical Sciences, Professor T. M. Petzold",

<sup>2</sup>PhD in engineering, professor, professor of the Department "Building Structures named  
after Doctor of Technical Sciences, Professor T. M. Petzold"  
Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** Recently, post-stressed overlap has been widely used in the construction of high-rise buildings in the world construction practice. The use of post-stressing technology in overlap, along with the simplicity of its implementation and high reliability, makes it possible to reduce the consumption of reinforcing steel by 1.7 times, and the consumption of concrete by 20–30 % compared with floors made of ordinary reinforced concrete.

Post-stressing made it possible to increase crack resistance, rigidity and significantly reduce the own weight of structures, making them more economical in production and operation. An important advantage of this technology is the full use of high strength properties of prestressing reinforcement. Many of the disadvantages of monolithic construction can be solved through the use of advanced construction technologies and modern structural schemes for the construction of buildings, elements that are post-stressed in construction conditions.

In the Republic of Belarus, the method of prestressing concrete under construction conditions was used only during the construction of the shopping center "Galleria Minsk" (Pobediteley Ave. 9, Minsk) and the bus station "Tsentralny" 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»). Англоязычный термин, вошедший в строительную практику относительно недавно, вместе с распространением технологии преднапряжения железобетонных конструкций в построечных условиях.

В общих чертах, термины «постнапряжение» и «преднапряжение» в Республике Беларусь имеют одинаковый смысл. За рубежом в проектной терминологии процесс, при котором по периметру происходит искусственный обжим строительной конструкции (например, перекрытия), называется постнапряжением.

Существенное отличие технологий заключается лишь, в какой момент происходит натяжение арматуры. В постнапряженном бетоне арматура натягиваются на площадке, во время строительства.

Бетон с постнапряжением – это тип бетона, к которому приложены внутренние сжимающие усилия, чтобы компенсировать и уменьшить внешние растягивающие напряжения, которым он подвергается. Эти сжимающие усилия прикладывают к железобетонным элементам с помощью арматуры, заключенной в пластиковые оболочки или со сцеплением с укладываемым бетоном. В зависимости от типа сооружения постнапряжение может осуществляться как без сцепления, так и со сцеплением напрягаемой арматуры с бетоном.

### **Технология постнапряжения.**

Постнапряжение (обжатие) железобетона конструкции производится после заливки бетона и набора 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 постнапряжении без сцепления с бетоном напрягаемая арматура может свободно перемещаться в нем. Усилия передаются на бетон при помощи специальных анкеров, которые устанавливаются на торцы железобетонного элемента. Чтобы предотвратить сцепления с бетоном и не допустить коррозии, напрягаемую арматуру помещают в пластиковую оболочку, покрытую специальным слоем полимера, который в свою очередь уменьшает трение, возникающее между арматурой и оболочкой.

При использовании метода постнапряжения со сцеплением с бетоном, сцепляясь с железобетоном, может выдержать усилия при обрыве по длине. Это играет важную роль в том случае, когда нужно вскрыть плиту или существует вероятность, что часть конструкции может быть повреждена при эксплуатации, террористических актов, огневых воздействий и т. п. Например, после пожара в Останкинской телевышке выполнялись работы по замене канатов. Система постнапряжения при налаженном мониторинге с помощью датчиков предотвращает вероятность случайных обрывов постнапряженных канатов.

Исходя из всего вышесказанного, можно отметить следующие преимущества постнапряжения:

- уменьшение размеров поперечного сечения элементов с последующей экономией материалов и затрат;
- требует небольшого обслуживания после завершения его строительства;
- снижение общего количества деформаций;
- уменьшение общего веса сооружений, что чрезвычайно важно для зон повышенной сейсмической активности;
- и, что более важно, увеличивает срок службы элементов. За счет уменьшения растрескивания, основной причиной которого являются именно силы растяжения, бетон становится менее чувствительным к внешним факторам.

Европейская и американская практика на протяжении 40 лет показывает, что в плитах перекрытий применение постнапряжения позволяет сократить толщину плиты с 1/30 пролета до 1/40–1/45 пролета. Сокращение армирования при этом достигается на кубический метр до 35 % ненапрягаемой арматуры и до 10–15 % напрягаемых канатов. Экономический эффект применения технологии пост-напряжения наглядно показан на диаграмме по данным ООО «Следящие ТестСистемы», РФ [11].

Среди наиболее распространенных областей применения подобных систем в западной практике являются конструкции фундаментных плит, монолитных перекрытий, а также конструк-

ции промышленных бетонных полов одноэтажных 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 постнатянутого железобетона.

Проект уникального здания автовокзала в г. Минске был разработан проектным институтом «Моноракурс» при научном сопровождении БНТУ под руководством доктора технических наук, профессора 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 предварительно напряжением в построечных условиях. Данная технология при возведении монолитных железобетонных перекрытий применена в Республике Беларусь впервые [10].

С развитием современных компьютерных технологий происходят одновременно изменения и в проектно-строительной отрасли. В нынешних условиях при стремительном развитии информационных технологий проектировщикам стало необходимо обрабатывать огромный поток информации и искать новые способы компоновать ее в единое целое.

Поток обрабатываемой информации не прекращается даже после того, как здание уже спроектировано и построено, поскольку новый объект вступает в стадию эксплуатации, происходит его контакт с другими объектами и взаимодействие с окружающей средой.

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) глобальная реконструкция и реставрация прежде возведенных зданий и сооружений;
- 2) необходимость проектирования объектов в кратчайшие сроки;
- 3) увеличение внешнего объема вновь проектируемых сооружений и степени их трудности;
- 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) неременность расчета при проектировании нового сооружения его эксплуатационных показателей;
- 7) потребность обеспечить интернациональную и международную кооперацию в проектировании;
- 8) необходимость сделать проект наименее дорогостоящим и более рентабельным, более гибким, более стабильным в кризисной ситуации в экономике.

Все вышеуказанное ведет к тому, что в настоящее время будет наиболее востребован не столько бумажный проект проектируемых зданий и сооружений, сколько их информационная модель, которая будет актуальна во время всего жизненного цикла объекта. Такая модель представляет собой не только созданный с использованием программного обеспечения аналог обычного макета, отражающего лишь формы объекта, но и полную информационную копию здания со всей его «начинкой», с количественными геометрическими и технологическими характеристиками конструкций, материалов и оборудования. В соответствии с этим данные должны быть объединены в единое целое и комплексно изменяться с учетом внесенных в них дополнений, влияющих автоматически на изменение целой модели при корректировке мельчайшей детали.

Однако, несмотря на явное наличие объективных положительных факторов использования информационных технологий в проектировании и строительстве объекта, применение данных технологий не гарантирует быстрых результатов. С использованием информационных технологий невозможно оставаться в рамках классических подходов в управлении проектами, которые выработались за многие годы. Большое значение имеют качество, глубина и сроки внедрения данных технологий в отрасль.

Работа большинства программ основывается на методе конечных элементов, являющемся численным методом решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики. Метод широко применяется для решения задач механики деформируемого твердого тела, гидродинамики, теплообмена и электродинамики и дает возможность решить большой круг инженерных задач. Все программы, основанные на конечно-элементном методе, можно условно разделить на две группы. К первой группе относятся сложные и дорогостоящие программные комплексы, обладающие большими возможностями. Такие программы зарекомендовали себя положительно за высокую точность производимых исследований в различных отраслях. Вторая группа программ разрабатывается как частные решения для специализированных задач в необходимой исследуемой области, это указывает на желание 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, является самым популярным расчетным комплексом в Республике Беларусь и странах СНГ. Популярность данного комплекса объясняется скоростью работы с расчетной схемой, недостижимую для других расчетных комплексов. Расчет выполняется на статические и динамические нагрузки. Статические нагрузки моделируют силовые воздействия от сосредоточенных или распределенных сил или моментов, перемещений отдельных областей конструкции. Динамические нагрузки моделируют воздействия от землетрясения, пульсирующего потока ветра, вибрационные воздействия от технологического оборудования, ударные воздействия. Исследуемые объекты могут иметь произвольные криволинейные очертания, локальные ослабления в виде различной формы отверстий и полостей, различные условия опирания. ПК ЛИРА реализует численный метод конечных элементов (МКЭ). В ПК ЛИРА автоматизированы все этапы решения задач по МКЭ.

Система «ЛИРА-САПР» широко используется для проектирования конструкций, а также отдельных его составных частей, к которым предъявляются повышенные эксплуатационные требования.

Описание методики моделирования пост-напряжения и расчет гражданских конструкций: «стены в грунте», железобетонные покрытия, а также при усилении конструкций зданий – представлены в работе Д. В. Портаева [9]. В его книге 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 без сцепления с бетоном, так и со сцеплением с ним. В заключении Д. В. Портаев привел пример технико-экономического сравнения преднапряженного и не преднапряженного монолитного железобетонного перекрытия и наглядно показал эффективность и целесообразность использования методики пост-напряжения в монолитных железобетонных перекрытиях.

#### **Выводы.**

1. Плиты перекрытий, выполненные с натяжением напрягаемой арматуры на бетон или, так называемые, постнапряженные конструкции, обладают целым рядом преимуществ и благодаря чему составляют значительную долю в мировой практике проектирования зданий и сооружений.

2. Использование технологии постнапряжения позволит не только значительно сократить расход материалов, но и снизить собственную массу конструкций перекрытий, увеличивает жесткость конструкции, а также приводит к снижению экономических затрат на строительство

#### **Литература:**

1. Дзюба И. С., Ватин Н. И., Кузнецов В. Д., Усиление строительных конструкций с использованием постнапряженного железобетона [Электронный Ресурс] / Инженерно-строительный

журнал, № 3, 2009. – Режим доступа: [https://engstroy.spbstu.ru/userfiles/files/2008/1\(1\)/01.pdf](https://engstroy.spbstu.ru/userfiles/files/2008/1(1)/01.pdf), свободный.

2. 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.

3. Леонович, С. Н. Новые технологии и материалы для строительной индустрии Леонович С. Н., Ольгомец А. И., Передков И. И., Карпович С. А./ 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. Ч. 2 / ред. колл.: В. Ф. Зверев, С. М. Коледа, С. Н. Делендик. – Минск : БНТУ, 2015. – С. 54–57.

4. 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. – ISBN 978-985-583-339-1.

5. 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 научнометодической конференции), 27–28 мая 2014 г. В 2 ч. Ч. 1 / ред. колл.: В. Ф. Зверев, С. М. Коледа, С. Н. Делендик. – Минск : БНТУ, 2015. – С. 219–223.

6. 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 научнотехнической конференции, 15 мая 2012 г. / Белорусский национальный технический университет ; ред. В. Ф. Зверев [и др.] – Минск : БНТУ, 2012. – С. 139–143.

7. 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 (материалы научно-методического семинара), 22–23 мая 2013 г. В 2 ч. Ч. 2 / ред. колл.: В. Ф. Зверев [и др.]. – Минск : БНТУ, 2013. – С. 123–130.

8. Передков, И. И. Технология устройства облегченных пустообразователями железобетонных плит перекрытия с предварительным напряжением арматуры в построечных условиях / Передков И. И., Леонович С. Н. // Санкт-Петербург: Мир дорог, специальный выпуск «Бетоны. Оборудование. Опалубка». – 2015. – С. 44–48.

9. Портаев, Д. В. Расчет и конструирование монолитных преднапряженных конструкций гражданских зданий: Научное издание. – М.: Издательство АСВЮ 2011. – 248 с.

10. Проектирование и строительство многоуровневой автостоянки в комплексе с автовокзалом «Центральный» в г. Минске [Электронный Ресурс] / <http://ais.by/article/proektirovanie-i-stroitelstvo-mnogourovnevoy-avtostoyanki-v-komplekse-s-avtovokzalom>

11. Следящие Тест-Системы [Электронный Ресурс] / ООО «Следящие Тест-Системы» – Москва, 2008 – Режим доступа: <http://www.stshydro.ru/technologies/posttensioning/>.

12. Постнапряженный бетон в архитектуре и строительстве [Электронный Ресурс] – Режим доступа: <https://amusementlogic.ru/2022/12/01/postnaprjzhenyj-beton-v-arhitekture-i-stroitelstve/> – Дата доступа: 21.04.2023.

13. Образцов О. Л., к.т.н., Дорогокупец Н. В. Опыт и перспективы выполнения предварительного напряжения конструкций в построечных условиях на примере устройства фундаментной плиты // ОДО «БРИГ». – Брест, 2017. – Режим доступа: <http://www.brig.by/node/10>. Дата обращения: 01.02.2017.

14. Технология преднапряжения канатной арматуры [Электронный Ресурс] – Режим доступа: <https://www.enerprom.ru/article/Tekhnologiya-prednapryazheniya-kanatnoj-armatury> – Дата доступа: 21.04.2023.

15. Лалин В. В., Перцева О. Н., Камалтдинов В. Р., Мартынов Г. В., Монастырева Д. Е., Тихонов Р. С. Расчет предварительно напряженных конструкций на ударную нагрузку // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15. Вып. 4. – С. 482–495. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.4.482-495

16. Технология пост-напряженного армирования железобетонных конструкций. Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. // Борисов Д. И [и др.] 2023;2(1):12-21. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-1-12-21> – Дата доступа: 21.04.2023.

17. Расчет предварительно напряженных конструкций на ударную нагрузку / Лалин В.В [и др.] // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15. Вып. 4. – С. 482–495. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.4.482-495 – Дата доступа: 21.04.2023.

18. Suncoast Post-Tension [Электронный Ресурс] / Suncoast Post-Tension, Хьюстон, Техас, США, 2017 – Режим доступа: <https://suncoastpt.com>, свободный. – Дата обращения: 19.04.2023.

#### References:

1. Dzyuba I. S., Vatin N. I., Kuznetsov V. D., Reinforcement of building structures using post-stressed reinforced concrete [Electronic Resource] / Civil Engineering Journal, No. 3, 2009. – Access mode: [https://engstroy.spbstu.ru/userfiles/files/2008/1\(1\)/01.pdf](https://engstroy.spbstu.ru/userfiles/files/2008/1(1)/01.pdf), free.

2. Denisenko, I. V. Advantages and features of the use of post-stress technology of reinforced concrete structures / I. V. Denisenko // Modern issues of construction production technology: materials of the 74th Student Scientific and Technical Conference, May 21, 2018 / Belarusian National Technical University; ed. call: S. N. Leonovich, A. I. Sidorova, G. T. Wide. – Minsk: BNTU, 2018. – Pp. 25–32.

3. Leonovich, S. N. New technologies and materials for the construction industry Leonovich S. N., Olgomets A. I., Peredkov I. I., Karpovich S. A./ Modern problems of the introduction of European standards in the field of construction : collection of International scientific and technical articles (materials of the scientific and methodological conference), May 27–28, 2014. At 2 h. Ch. 2 / ed. coll.: V. F. Zverev, S. M. Koleda, S. N. Delendik. – Minsk : BNTU, 2015. – Pp. 54–57.

4. Leonovich, S. N. Technology of prestressing reinforced concrete structures in building conditions / S. N. Leonovich, I. I. Peredkov, A. I. Sidorova. – Minsk: BNTU, 2018. – 279 p. – ISBN 978-985-583-339-1.

5. Peredkov, I. I. A proposal to improve the reliability and reduce the cost of the foundations of the parking building / I. I. Peredkov, S. N. Leonovich // Modern problems of implementing European standards in the field of construction : a collection of International scientific and technical articles (materials of the scientific and methodological conference), May 27–28, 2014. At 2 h. Ch. 1 / ed. coll.: V. F. Zverev, S. M. Koleda, S. N. Delendik. – Minsk : BNTU, 2015. – Pp. 219–223.

6. Peredkov, I. I. Comparative analysis of the results of reinforcement of a monolithic reinforced concrete floor slab with flat reinforcing grids and steel ropes with prestressed under construction conditions / I. I. Peredkov // Modern methods of calculations and surveys of reinforced concrete and stone structures : materials of the 68th Student Scientific and Technical Conference, May 15, 2012 / Belarusian National Technical University; edited by V. F. Zverev [et al.] – Minsk : BNTU, 2012. – Pp. 139–143.

7. Peredkov, I. I. Classification and comparative analysis of prestressing systems of reinforced concrete structures in building conditions / I. I. Peredkov, S. N. Leonovich // Issues of implementation of design norms and standards of the European Union in the field of construction : collection of scientific and technical articles (materials of the scientific and methodological seminar), May 22–23, 2013 G. At 2 h. Ch. 2 / ed. coll.: V. F. Zverev [et al.]. – Minsk: BNTU, 2013. – Pp. 123–130.

8. Peredkov, I. I. Technology of the device of reinforced concrete floor slabs with a pre-punitive reinforcement stress in construction conditions / Peredkov I. I., Leonovich S.N. // St. Petersburg: World of roads, special issue "Concretes. Equipment. The formwork". – 2015. – Pp. 44–48.

9. Portaev, D. V. Calculation and design of monolithic prestressed structures of civil buildings: Scientific edition. – M.: ASV Publishing House 2011. – 248 p.

10. Design and construction of a multi-level parking lot in a complex with the Central bus station in Minsk [Electronic Resource] / <http://ais.by/article/proektirovanie-i-stroitelstvo-mnogourovnevoy-avtostoyanki-v-komplekse-s-avtovokzalom>

11. Tracking Test Systems [Electronic Resource] / LLC "Tracking Test Systems" – Moscow, 2008 – Access mode: <http://www.stshydro.ru/technologies/posttensioning/>.

12. Post-stressed concrete in architecture and construction [Electronic Resource] – Access mode: <https://amusementlogic.ru/2022/12/01/postnaprjazhennyj-beton-v-arhitekture-i-stroitelstve/> – Access date: 21.04.2023.
13. Obratsov O. L., Candidate of Technical Sciences, Dorogokupets N. V. Experience and prospects of performing prestressing structures in building conditions on the example of a foundation plate device // ODO "BrIG". – Brest, 2017. – Access mode: <http://www.brig.by/node/10>. – Accessed date: 01.02.2017.
14. Technology of post-stressed reinforcement of reinforced concrete structures. Modern trends in construction, urban planning and territorial planning. // Borisov D. And [et al.] 2023;2(1):12-21. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-1-12-21> – Access date: 21.04.2023.
15. Calculation of prestressed structures for shock load / Lalin V. V. [et al.] // Vestnik MGSU. 2020. Vol. 15. Issue 4. pp. 482–495. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.4.482-495 – Access date: 21.04.2023.
16. Suncoast Post-Tension [Electronic Resource] / Suncoast Post-Tension, Houston, Texas, USA, 2017 – Access mode: <https://suncoastpt.com>, free. – Accessed: 04/19/2023.