

ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА ОБЛЕГЧЕННЫХ ПУСТОТООБРАЗОВАТЕЛЯМИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ АРМАТУРЫ В ПОСТРОЕЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Докт. техн. наук, проф. ЛЕОНОВИЧ С. Н.¹⁾, асп. ПЕРЕДКОВ И. И.¹⁾

¹⁾*Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)*

E-mail: sleonovich@mail.ru

Представлена технология устройства облегченной пластиковыми пустотообразователями предварительно напряженной в построечных условиях плиты перекрытия. Эффективность такого конструктивного решения обусловлена действием предварительного обжатия бетона растянутой зоны при снижении собственного веса конструкции за счет устройства пустот. Приведена классификация систем предварительного напряжения и даны рекомендации по выбору системы в зависимости от особенностей проектируемой конструкции. Рассмотрены основные изделия и материалы, необходимые для производства работ, требования к напрягаемой канатной арматуре, ее основные характеристики.

Принципиальная схема облегченного предварительно напряженного перекрытия предусматривает устройство так называемого скрытого кессона. Пучки арматурных канатов размещаются в пределах полос, проходящих над опорами (над вертикальными несущими конструкциями каркаса), а в ячейках между полосами устраиваются пустоты посредством закладки полых пластиковых изделий, объединенных каркасами. Приведены технологическая последовательность операций при устройстве облегченного предварительно напряженного перекрытия и схемы размещения оборудования, а также характеристики применяемых агрегатов (проталкивающее приспособление для арматурных канатов, гидравлический домкрат с питающим гидравлическим насосом, смесительная станция, инъекционный насос и др.). Даны рекомендации по производству работ в зимнее время. Рассмотрены вопросы контроля качества поступающих на строительную площадку материалов и изделий, а также непосредственно работ по предварительному напряжению пустотной плиты.

Выполненный анализ технологии позволяет сделать вывод о ее высокой пригодности для импортозамещения. Следует рассмотреть возможность применения технологии на объектах различного назначения в сравнении с другими конструктивными решениями по основным технико-экономическим показателям.

Ключевые слова: пустотообразователи, железобетонные плиты перекрытия, предварительно напряженная арматура, технология устройства.

Ил. 6. Библиогр.: 10 назв.

TECHNOLOGY FOR INSTALLATION OF REINFORCED CONCRETE FLOOR SLABS LIGHTENED BY CORE DRIVERS WITH PRELIMINARY REINFORCEMENT STRESS

LEONOVICH S. N.¹⁾, PEREDKOV I. I.¹⁾

¹⁾*Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)*

The paper presents technology for installation of floor slabs lightened by plastic core drivers which are preliminary stressed under construction conditions. Efficiency of such constructive solution is justified by the action of preliminary concrete compression in the tensile zone while reducing structure dead weight due to void arrangement. The paper provides classification of systems for preliminary stress and contains recommendations on selection of the system depending on peculiar features of the designed construction. Main products and materials required for execution of works, requirements to stressed wire rope reinforcement, its main characteristics have been considered in the paper.

Principal diagram of the lightened preliminary stressed slab stipulates arrangement of so called dummy caisson. Strands of reinforcement ropes are located within the framework of bars passing over supporting structures (over vertical bearing structures of the framework) and voids are formed in the cells between bars by laying hollow plastic items joined together by a cage. The paper presents technological sequence of operations required for arrangement of the lightened preliminary stressed slab, schemes for equipment arrangement and characteristics of the applied devices and units (pushing device for reinforcement ropes, hydraulic jack with delivery hydraulic pump, mixing station, injection pump and others). Recommendations have been given for execution of works in cold weather. The paper considers problems pertaining to control quality of the materials and items which are supplied to a construction site and directly execution of works on preliminary stress of a cellular slab.

The executed analysis of technology permits to conclude that it is characterized by high level of applicability for import substitution. It is necessary to consider the possibility to apply the technology at objects of various application while comparing it with other constructive solutions according to the main technical and economic indices.

Keywords: core drivers, reinforced concrete floor slabs, preliminary stressed reinforcement, technology of arrangement.

Fig. 6. Ref.: 10 titles.

Область применения. Технология предварительного напряжения арматуры в построечных условиях находит свое применение при строительстве зданий с монолитным рамным и рамно-связевым каркасами. Предварительное напряжение плит перекрытия и покрытия значительно повышает трещиностойкость и жесткость данных конструкций, что в сочетании с использованием высокопрочных арматуры и бетона позволяет уменьшить сечения изгибаемых элементов, снижая таким образом собственный вес каркаса здания, а также увеличить пролеты (разредить сетку вертикальных несущих конструкций). Помимо свободной планировки здания и рационального использования внутреннего объема с меньшим числом колонн и диафрагм жесткости, происходит упрощение и удешевление конструкций фундаментов здания, сокращаются сроки строительства и затраты на последующую его эксплуатацию.

Современные системы предварительного напряжения в построечных условиях позволяют выполнять армирование перекрытий и покрытий сложных очертаний, детали и узлы систем достаточно универсальны и могут применяться для реализации самых нетривиальных проектов. В зависимости от выбора используемой технологии постнапряжения возможно устройство как плоских, так и балочных (в том числе кессонных) перекрытий и покрытий. Выбор конструктивного решения определяется геометрией возводимого здания, величинами перекрываемых пролетов и действующими нагрузками.

При расчете предварительно напряженных конструкций действуют все требования, касающиеся материалов, основ проектирования и конструирования, предъявляемые к конструкциям, выполненным из бетона [1]. Силовое воздействие, оказываемое на конструкцию канатами системы предварительного напряжения, рассматривается как внешнее нагружение, которое может моделироваться как:

- предварительное обжатие бетона;
- разгружающее усилие;
- разгружающий момент [2].

Разгружающее действие предварительного напряжения оказывает значительное влияние

на результаты расчета по прочности сечения при действии изгибающих моментов и позволяет не только сократить количество устанавливаемой ненапрягаемой арматуры, но и в ряде случаев уменьшить сечение элементов перекрытия. Учет предварительного обжатия при расчете конструкции по прочности при местном срезе [1, п. 7.4.3] и при действии поперечных сил [1, п. 7.2] позволяет говорить о более высокой прочности конструкций с предварительным напряжением в сравнении с конструкциями без него. Однако зачастую необходимость устройства капителей плит или установки большого количества поперечного армирования не исключается. Ввиду того что значительную часть нагрузки на монолитную железобетонную плиту составляет ее собственный вес, целесообразным является его снижение при сохранении прочностных и жесткостных характеристик конструкции.

Достаточно рациональный способ облегчения монолитного перекрытия – устройство в нем пустот путем установки полых пустотообразователей сферической или иной формы из переработанного полиэтилена. Принципиальная схема такой конструкции приведена на рис. 1. Пустотообразователи поставляются объединенными в блоки арматурным каркасом, который служит для их фиксации на сетках нижнего армирования перекрытий. Свободная и достаточно простая установка таких элементов в сочетании с гибкостью технологии постнапряжения позволяет производить устройство плоских облегченных монолитных перекрытий. Прочность при действии изгибающих моментов в пролете обеспечивается работой сжатого бетона и предварительно напряженной или ненапрягаемой арматуры в сочетании со снижением собственного веса перекрытия. Прочность при действии изгибающих моментов и поперечных сил при местном срезе достигается постановкой каркасов поперечной арматуры (типа Reikko и прочих подобных, либо изготовленных в построечных условиях). Причем пустотообразователи в пределах периметра, где возможен местный срез, не устанавливаются.

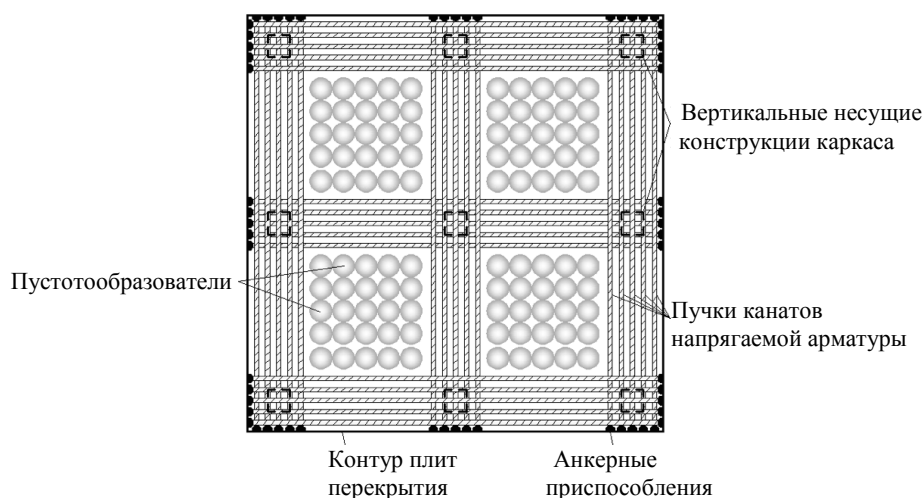


Рис. 1. Принципиальная схема облегченного постнатянутого перекрытия

Устройство облегченных пустотообразователями предварительно напряженных плит перекрытия и покрытия целесообразно выполнять при возведении каркасов зданий различного назначения и усилении существующих конструкций. Улучшение планировки и более рациональное использование внутреннего пространства достигаются для всех типов зданий. Снижение собственного веса каркаса в большей степени проявится при возведении высотных зданий ввиду общей массивности каркаса и большего количества плит перекрытия. Однако для зданий меньшей этажности снижение нагрузок также значительно.

Для каждого возводимого объекта должен выполняться сравнительный анализ возможных конструктивных решений, при котором основными параметрами, определяющими выбор того или иного решения, становятся материальные и временные затраты, а также надежность и долговечность здания. Устройство плоского облегченного перекрытия вместо решения с балками выглядит более технологичным за счет упрощения работ по устройству опалубки и монтажу арматуры. Получаемые плоские потолки помещений позволяют значительно упростить и удешевить процесс прокладки коммуникаций и отделочные работы. Более эффективное использование характеристик строительных материалов сокращает расход стали и бетона, а повышенные жесткость и трещиностойкость обеспечивают надежность конструкций перекрытий при их эксплуатации.

Также следует упомянуть снижение затрат на электропрогрев бетона при бетонировании в зимнее время менее массивных, в сравнении

с традиционными, пустотных конструкций. Ввиду применения пустотообразователей из переработанного полиэтилена и снижения объема бетона, а также сокращения расхода электроэнергии на прогрев в зимнее время процесс возведения зданий с облегченными пустотными предварительно напряженными перекрытиями оказывает меньшее влияние на окружающую среду.

Системы постнатяжения монолитных железобетонных перекрытий. Общая классификация систем предварительного напряжения основывается на способе создания предварительного обжатия, степени обжатия, способе размещения напрягающих элементов [3–5]. В статье рассматривается лишь способ натяжения канатной арматуры на бетон монолитной конструкции, имеющий достаточную для восприятия данного воздействия прочность. Поэтому классификация систем имеет некоторую специфику.

В зависимости от наличия сцепления между арматурной прядью и бетоном конструкций различают системы со сцеплением (bonded) и без сцепления (unbonded) арматуры с бетоном. При отсутствии сцепления между прядью и бетоном передача усилия предварительного обжатия осуществляется посредством анкерных устройств. Поэтому особенно пристальное внимание должно быть уделено как качеству данных компонентов системы, так и защите анкерных зон от коррозии, обеспечению достаточной прочности бетона в местах передачи нагрузки. В случае, когда прядь имеет сцепление с окружающим бетоном, передача обжимающего усилия осуществляется по всей длине пряди на раствор инъецирования каналов.

Известны также системы с расположением арматуры вне бетонного сечения. Данные решения используются для устройства конструкций усиления, при армировании мостов и путепроводов. Следует отметить, что в случае применения таких решений необходима тщательная защита канатов от коррозии, особенно в условиях действия агрессивных сред. Актуальна также проблема обеспечения достаточного предела огнестойкости таких конструкций.

В зависимости от типа конструкции и количества требуемой арматуры различают системы с одиночными прядями, расположенными с определенным шагом (monostrand), и с пучком прядей (multistrand). Системы с одиночными прядями находят применение при устройстве плоских безбалочных перекрытий при ячейке здания (8×8)–(10×10) м. Системы с пучками прядей применяются при армировании большепролетных балок перекрытий либо участков с высокой плотностью армирования [6].

Рассмотрим материалы и изделия, применяемые для устройства постнапряжения с использованием систем monostrand и multistrand [7, 8].

Материалы и изделия системы постнапряжения monostrand. Компоненты системы постнапряжения monostrand должны поставляться на строительную площадку в сборе в виде бухт арматурных прядей, комплектующих закладными деталями с направляющими трубками, цангами, пластиковыми нишеобразователями и защитными колпаками, как показано на рис. 2. Каждая бухта маркируется прочно закрепленным ярлыком, позволяющим точно идентифицировать прядь и установить ее в соответствии с проектной документацией.

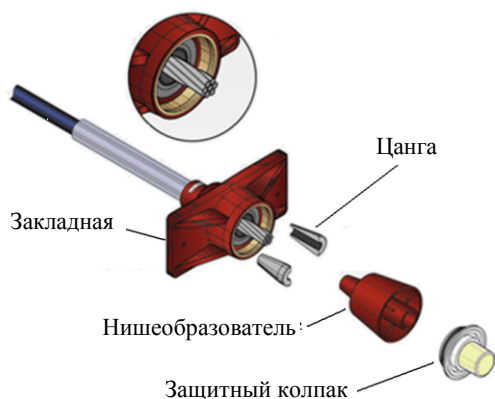


Рис. 2. Детали системы постнапряжения monostrand

Арматурная прядь в индивидуальной оболочке со смазкой – семипроволочный арматурный канат класса S1400 или иного, номинальным диаметром 15,5–15,7 мм, шаг свивки проволок 220–280 мм, максимальное нормативное усилие в пряди (f_m) до 280 кН, нормативное усилие в пряди при условном пределе текучести ($F_{p0,1k}$) 230–240 кН, общее минимальное удлинение при максимальной нагрузке 3,5 %.

Максимальная релаксация:

70 % f_m при 20 °С (240h) – 2,5 %;

80 % f_m при 20 °С (240h) – 4,5 %;

70 % f_m при 40 °С (240h) – 3,0 %.

Закладная деталь изготавливается из ковкого чугуна с пластинчатым графитом EN 6JL-250 EN 1561 или с аналогичными свойствами. Для закусывания цанги в закладной детали размещают втулку из легированной цементированной стали NF EN 10084. Форма закладной детали должна обеспечивать ее надежную анкеровку в теле плиты и удобство крепления к арматурным каркасам. Для исключения изломов в месте входа пряди в закладную деталь устанавливают стальные либо пластиковые направляющие трубки.

Цанги применяют конусные трех- либо двухлепестковые, с резьбой в отверстии для надежного заклинивания арматурного каната. Они изготавливаются из легированной цементированной стали NF EN 10084, как и втулки в закладной детали.

Нишеобразователи пластиковые, размер их должен обеспечивать получение в торце бетонизируемой конструкции ниши, достаточной для размещения носа гидравлического домкрата. Могут быть как съёмными, многократного использования, так и одноразовыми.

Защитный навинчиваемый колпак служит для защиты конца арматурного каната после натяжения, изготавливается из пластмассы.

Материалы и изделия систем multistrand. Анкерные устройства системы multistrand (рис. 3) служат для передачи на бетон конструкции усилия предварительного обжатия от пучка прядей. Нагрузка, приходящаяся на данный узел, достаточно велика. Поэтому такие изделия имеют дополнительные передаточные поверхности и могут комплектоваться дополнительным спиральным элементом армирования.



Рис. 3. Принципиальная схема анкерного узла системы multistrand

Непосредственно закладная деталь имеет форму раструба с развитой наружной поверхностью, изготавливается из ковкого чугуна с пластинчатым графитом по EN 6JL-250 EN 1561. Для упрощения процесса нагнетания инъекционной смеси в канал целесообразно комплектовать закладную деталь съемным штуцером. Крепление арматурных канатов для передачи обжимающего усилия через закладную деталь на бетон осуществляется в анкерном блоке круглой формы с отверстиями по числу натягиваемых канатов. Анкерный блок должен обеспечивать надежное закусывание цапг, поэтому он изготавливается из легированной цементированной стали NF EN 10084 обработанной, цианированной и закаленной, или другой с аналогичными свойствами. Из этого же материала изготавливаются и цапги, имеющие форму усеченного конуса, разделенного на два или три лепестка. Внутреннее отверстие цапги снабжается резьбой для надежной фиксации каната.

Оболочки-каналообразователи, прикрепляемые концами к раструбам закладных деталей, служат для размещения арматурных канатов в теле конструкции после бетонирования. Они изготавливаются путем непрерывной навивки и сварки стальной ленты, либо из пластика. Оболочки должны быть герметичны и не иметь деформаций в процессе их транспортировки, монтажа и последующего бетонирования конструкции.

Штуцеры инъектирования служат для выпуска воздуха, вытесняемого раствором из канала в процессе инъектирования. Они закрепляются в отверстие в оболочке и имеют гибкий конец-патрубок, выводимый из тела забетонированной конструкции.

Арматурная прядь в индивидуальной оболочке со смазкой аналогична арматурным канатам систем monostrand.

Цементный раствор для инъектирования каналов должен обеспечивать достаточную для нагнетания его в канал подвижность на протяжении всего процесса инъектирования, а также сплошное заполнение всех полостей. Расслоение его с отстаиванием линз воды недопустимо, поэтому приготовление такого раствора осуществляется при минимальном водоцементном отношении и с добавлением суперпластификатора.

Материалы и изделия для устройства пустот в монолитном перекрытии. В зависимости от производителя пустотообразователи могут иметь различия в геометрических размерах и некоторые конструктивные особенности. Однако общая концепция остается неизменной.

Пустотообразователь представляет собой полую оболочку сферической или уплощенной формы из переработанного полиэтилена. Форма и размеры применяемых пустотообразователей определяются толщиной армируемой конструкции. Так, одним из ведущих поставщиков комплектующих для облегченных перекрытий – компанией Sobiax (Швейцария) – пустотообразователи в виде модулей (длиной 2500 мм) предлагаются в двух исполнениях: Eco-line – для плит толщиной 30–60 мм и Slim-line – для плит толщиной 20–35 мм.

Модуль представляет собой ряд пустотообразователей, объединенных легким арматурным каркасом. Каркас служит не только для укрупнения сборочной единицы (что ускоряет монтаж), он препятствует всплытию полых элементов при бетонировании, которое осуществляется в два этапа.

Выбор системы предварительного напряжения для устройства, облегченного пустотообразователями перекрытия. При устройстве плоского постнапряженного перекрытия возможно использование как систем постнапряжения monostrand с одиночными прядями, так и multistrand с пучками прядей. Выбор того или иного решения определяется в ходе сравнения вариантов по их экономичности и технологичности.

В общем случае при строительстве общественных зданий различного назначения (торгово-развлекательные комплексы, паркинги и пр.) целесообразно устройство перекрытий с использованием систем multistrand. Укладка пучков прядей в пределах некоторой полосы с облегчением при помощи пустотообразователей пролетов между полосами позволяет получить, по сути, балочную клетку с достаточно большой величиной пролета, жесткую, с высокой трещиностойкостью. При этом конструкция имеет плоские верхнюю и нижнюю грани, что упрощает опалубочные работы. Как было сказано выше, получаемый плоский потолок предпочтительнее с точки зрения прокладки коммуникаций под ним и отделки. Поэтому далее рассмотрим процесс устройства облегченного перекрытия с армированием пучками прядей.

Цикл работ по устройству облегченного постнапряженного перекрытия (multistrand). Цикл работ по устройству облегченного постнапряженного перекрытия включает в себя следующие операции:

- 1) опалубочные работы;
- 2) раскладку нижней ненапрягаемой продольной арматуры перекрытия;
- 3) установку закладных деталей и оболочек-каналообразователей;

4) установку штуцеров инъецирования и герметизацию всех стыков;

5) монтаж модулей пустотообразователей;

6) раскладку верхней продольной ненапрягаемой арматуры;

7) бетонирование захватки – 1-й этап – первый слой с покрытием нижнего стержня каркасов, объединяющих пустотообразователи;

8) бетонирование – 2-й этап – до проектной отметки верха плиты;

9) протягивание канатов внутрь оболочек-каналообразователей;

10) натяжение прядей после набора бетоном конструкции передаточной прочности;

11) инъецирование каналов цементным раствором;

12) установку защитных колпаков для консервации анкерных приспособлений с целью защиты их от коррозии;

13) распалубку перекрытия.

При устройстве облегченного предварительно напряженного перекрытия применяются решения с одиночными прядями (monostrand) и с пучками прядей (multistrand).

Процедуры протягивания канатов и их натяжения. Протягивание канатов осуществляется при помощи проталкивающего приспособления, обеспечивающего равномерную и непрерывную подачу пряди в канал (рис. 4). Бухта с прядью устанавливается на горизонтальную ось (разматывающее приспособление), и канат по ряду роликов подводится к проталкивающему приспособлению. Для того чтобы исключить заклинивание конца каната в канале, на него наживляют гладкий стальной накопчик.



Рис. 4. Размещение оборудования при протягивании прядей

Процедура натяжения прядей. Технологическая схема операции натяжения прядей приведена на рис. 5.

Для натяжения арматурных канатов используются гидравлические домкраты двойного действия. При натяжении канатов систем с относительно небольшим количеством прядей, приходящихся на одну закладную (до 7), целесообразно использовать домкраты для одновременного натяжения единственной пряди (монопрядные), развивающие усилие до 260–280 кН. Рабочее давление 70–75 МПа, ход поршня 200 мм, масса домкрата до 15–18 кг. При потребности в большей производительности используются домкраты для одновременного натяжения пучка прядей (от 4 до 19), развивающие усилие до 5300 кН при рабочем давлении 70–75 МПа и ходе поршня 200–400 мм. Данные механизмы могут иметь массу до 800 кг.

Насосные гидравлические станции должны обеспечивать пропускную способность не более 6 л/мин. Для контроля давления в гидравлической системе насосные станции оснащают манометром.

Соединение всех компонентов гидравлической системы осуществляется при помощи шлангов высокого давления, оснащенных вентилями.

В процессе производства работ требуются некоторые дополнительные приспособления: траверсы для подъема и перемещения бобин с канатами, разматывающие устройства (горизонтальная ось, на которой разматывается бобина), шаблоны для проверки проходимости канала, наконечники для облегчения проталкивания пряди в канал. Для замены каната требуются домкрат с ходом 300 мм и более и куплер для прикрепления конца новой пряди к концу заменяемой.

Защита анкерных зон и сохранение свободных концов прядей с активной стороны обеспечиваются установкой защитных колпаков, заполняемых парафином. Колпаки должны иметь достаточную механическую прочность и исключать проникновение внутрь влаги и последующую коррозию.

Процедура инъецирования каналов цементным раствором. Приготовление инъекционного раствора производится при помощи смесительной станции, снабженной электронным блоком управления, который позволяет точно соблюсти длительность приготовления раствора по рецептуре (рис. 6).

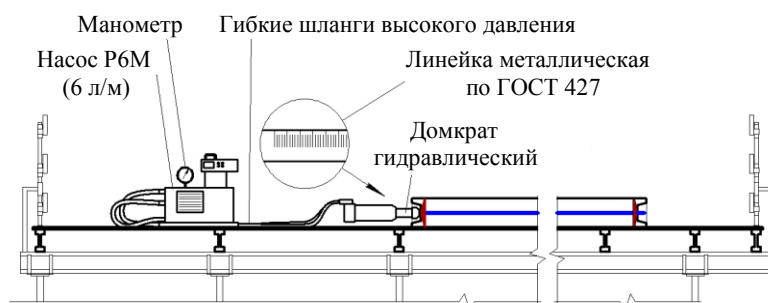


Рис. 5. Технологическая схема операции натяжения прядей

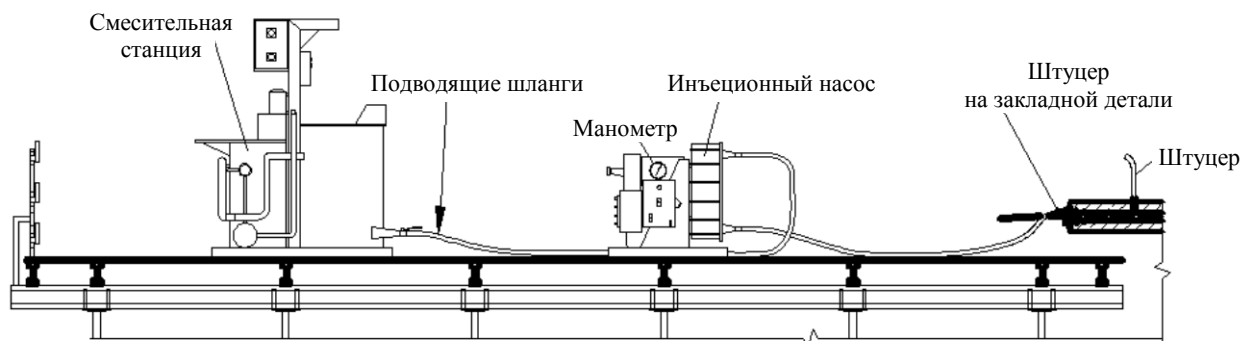


Рис. 6. Размещение оборудования при операции инъецирования каналов цементным раствором (смесительная станция и насос – отдельные агрегаты)

В смесительный бак помещается требуемое количество цемента, а в дозировочный бак для воды – вода. Добавка-суперпластификатор может поставляться в водорастворимых мешках. Для удобства дозировки зачастую водорастворимая упаковка содержит количество добавки на один мешок цемента. Смесительные станции имеют также накопительно-смесительный бак, где приготовленный раствор сохраняется непрерывно помешиваемым в процессе инъектирования.

В некоторых случаях производители совмещают канал со смесительной станцией в единый агрегат, либо же данные устройства разделяются, и питание растворонасоса осуществляется от накопительного бака. Основное требование к смесительной станции – возможность приготовления достаточного количества раствора с соблюдением требований рецептуры. Растворонасос должен обеспечивать равномерное нагнетание смеси со скоростью 25–40 л/мин и оснащаться манометром для контроля давления в системе.

Температура в зоне производства работ в зимнее время не должна опускаться ниже 5 °С в течение 72 ч после окончания процедуры инъектирования. В противном случае необходимо обеспечить выполнение ряда мероприятий по повышению температуры приготовляемого раствора, по предварительному прогреву оборудования и устройству электропрогрева каналов.

Контроль качества производства работ. Мероприятия по контролю качества производства работ должны включать процедуры технического и авторского надзоров в соответствии с действующими в Республике Беларусь ТНПА, а также приемку готовой конструкции.

Качество исходных материалов и комплектующих должно гарантироваться поставщиком и подтверждаться сертификатами. Параметры поставляемых деталей должны быть указаны в паспортах и соответствовать требованиям проекта. Производителям работ необходимо соблюдать правила хранения, транспортировки и использования материалов.

Каждый этап производства работ, включая раскладку ненапрягаемой арматуры, установку

каналообразователей, закладных деталей, пустотообразователей и т. д., должен подвергаться процедуре авторского надзора с внесением замечаний в журнал авторского надзора и их своевременным устранением. Скрытые работы следует подвергать приемке с оформлением соответствующего акта.

В процессе производства работ выполняется ряд мероприятий по контролю исправности гидравлического и инъекционного оборудования, контролю правильности монтажа компонентов системы постнапряжения, герметичности каналов и пр. Также контролю подвергается инъекционная смесь на стадии приготовления как для определения оптимальной дозировки ингредиентов, так и для контроля ее прочности. Данные виды контроля приводятся в технологической карте на устройство облегченного предварительно напряженного перекрытия и являются обязательными к выполнению.

Бетон готовой конструкции и напрягаемые арматурные канаты подвергаются испытаниям неразрушающими методами. Целесообразно также устройство систем неразрушающего мониторинга для наблюдения за напряженно-деформированным состоянием постнапряженных конструкций [9, 10].

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрено применение технологии постнапряжения монолитных железобетонных плит перекрытия совместно со снижением собственного веса данных конструкций путем установки полых пластиковых пустотообразователей. Приведены основные требования к материалам и изделиям, необходимым для устройства пустот в теле конструкции и предварительного напряжения плит. Представлены технологические схемы операций, комплект применяемого оборудования, даны рекомендации по контролю качества производства работ.

2. Анализ технологии позволяет сделать вывод о пригодности ее для импортозамещения и возможности широкого применения облегченных, предварительно напряженных перекрытий при обосновании и сравнении с другими конструктивными решениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конструкции бетонные и железобетонные: СНБ 5.03.01–02. – Введ. 20.06.2002. – Минск: Минстрой-архитектуры, 2003. – 140 с.
2. Портаев, Д. В. Расчет и конструирование монолитных предварительно напряженных конструкций гражданских зданий / Д. В. Портаев. – М.: Изд-во ассоциации строит. вузов, 2011. – 247 с.
3. Дрозд, Я. И. Предварительно напряженные железобетонные конструкции / Я. И. Дрозд, Г. П. Пастушков. – Минск: Вышэйш. шк., 1984. – 208 с.
4. Леонгардт, Ф. Напряженно-армированный железобетон и его практическое применение / Ф. Леонгардт; пер. с нем. В. К. Житомирского. – М.: Стройиздат, 1957. – 588 с.
5. Латыш, В. В. Технология предварительного напряжения монолитных железобетонных конструкций в построечных условиях: учеб. пособие / В. В. Латыш, С. Н. Леонovich. – Минск: БНТУ, 2006. – 53 с.
6. Post-Tensioning Manual / T. L. Neff [et al.]. – 6th Edition. – PTI, 2006. – 354 p.
7. Следящие тест-системы [Электронный ресурс] / ООО «Следящие тест-системы». – 2008. – Режим доступа: <http://www.sts-hydro.ru/technologies/posttensioning/>.
8. L'École Nationale des Ponts et Chaussées [Электронный ресурс] / École des Ponts ParisTech. – 2012. – Режим доступа: <http://www.enpc.fr/grands-hommes/freyssinet>.
9. Звездов, А. И. Предварительно напряженный железобетон: состояние и перспективы развития / А. И. Звездов, К. В. Михайлов, Ю. С. Волков // НИИЖБ [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <http://www.niizhb.ru/statzvezdov3.htm>.
10. Лешкевич, О. Н. Современная практика возведения монолитных конструкций с преднапряжением в построечных условиях / О. Н. Лешкевич, А. И. Чубрик // Мастерская. – 2007. – № 1–2 (34–35). – С. 50–52.

Поступила 14.01.2014

REFERENCES

1. SNB [Construction Standards of the Republic of Belarus] 5.03.01–02. Concrete and Reinforced Concrete Structures. Minsk, Ministry of Architecture and Construction, 2003. 140 p. (in Russian).
2. Portaev, D. V. (2011) *Calculation and Designing of Cast-in-Situ Preliminary Stressed Structures of Civil Buildings*. Moscow, Publishing House of Civil Engineering HEIs Association. 247 p. (in Russian).
3. Drozd, Ya. I., & Pastushkov, G. P. (1984) *Preliminary Stressed Reinforced Concrete Structures*. Minsk, Vysheyshaya Shkola. 208 p.
4. Leonhardt, F. (1957) *Stressed and Reinforced Concrete and its Practical Application*. Moscow, Stroyizdat. 588 p. (in Russian).
5. Latysh, V. V., & Leonovich, S. N. (2006) *Technology of Preliminary Stress of Cast-in-Situ Reinforced Concrete Structures under Construction Conditions*. Minsk: BNTU. 53 p. (in Russian).
6. Neff, T. L., Gupta, R. R., Fadi Alkhairi, Bondy, K. B., Barth, F. Bane, C., Rogers, J., Gauvreau, P., Goodyear, D., Close, S., Naaman, A., Plaehn, J., Krauthammer, T., Gustafarro, A., & Schokker, A. (2006) *Post-Tensioning Manual*. 6th Edition. PTI. 354 p.
7. *Tracing Test-Systems* (2008) Available at: <http://www.sts-hydro.ru/technologies/posttensioning/>. (in Russian).
8. *L'École Nationale des Ponts et Chaussées* (2012) Available at: <http://www.enpc.fr/grands-hommes/freyssinet>. (in Russian).
9. Zvezdov, A. I., Mikhailov, K. V., & Volkov, Yu. S. (2007) Preliminary Stressed Reinforced Concrete: Status and Prospects for Development. *NIIZhB* [Scientific-Research Institute of Reinforced Concrete]. Available at: <http://www.niizhb.ru/statzvezdov3.htm>. (in Russian).
10. Leshkevich, O. N., & Tchubrik, A. I. (2007) Modern Practice for Installation of Cast-in-Situ Structures with Preliminary Stress under Construction Conditions. *Masterskaya* [Workshop], 1–2 (34–35), 50–52 (in Russian).

Received 14.01.2014