

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ СЕМИНАР

**ВОПРОСЫ ВНЕДРЕНИЯ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И
СТАНДАРТОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА
В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

(г. Минск, БНТУ — 22–23.05.2013)

УДК 624.12

**КЛАССИФИКАЦИЯ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
СИСТЕМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
В ПОСТРОЕЧНЫХ УСЛОВИЯХ**

ПЕРЕДКОВ И.И., ЛЕОНОВИЧ С.Н.

Белорусский Национальный Технический университет
Минск, Беларусь

Значительным недостатком традиционных железобетонных конструкций с ненапрягаемой арматурой является их склонность к образованию трещин, что приводит к снижению жесткости и трещиностойкости. Наиболее рациональным методом повышения жесткости железобетонных элементов и их трещиностойкости является предварительное обжатие растянутой вследствие действия внешних нагрузок зоны сечения элемента. В этом случае растяжение в бетоне проявится только тогда, когда действие внешней нагрузки преодолет противодействие предварительно приложенного обжимающего усилия.

Первые случаи применения предварительного напряжения относятся ко второй половине XIX в. Русским инженером-артиллеристом А.В. Гадолиным в 1861г. предлагалось произвести обжатие пушечных стволов насадкой нагретых стальных колец, которые при последующем остывании создавали обжимающие напряжения, оставаясь растянутыми. При стрельбе из орудия дав-

ление пороховых газов в стенках ствола погашало напряжение сжатия, а затем возникало растягивающее напряжение, которое было меньше, чем в аналогичных стволах без обжата. В 1886 г. П. Джексон (США) получил патент на конструкции сводчатых перекрытий из искусственного камня с применением подвергаемых напряжению металлических стержней. В 1888 г. Дёринг (Германия) независимо от П. Джексона получил патент на предварительное напряжение арматуры плит до приложения нагрузки. На данном этапе практическое применение предварительного напряжения было невозможно из-за малой изученности вопросов релаксации арматуры и ползучести и усадки бетона, а также из-за отсутствия высокопрочной арматуры. Напряжение в арматуре, доводимое до величины 60 МПа, быстро терялось в ходе проявления потерь предварительного напряжения. Вплоть до 1920-30-х годов интерес к технологии был утерян. Однако, благодаря исследованиям, проведенным французским ученым Э. Фрейссине, предварительно напряженные железобетонные конструкции не только были реализованы на практике, но и стали широко распространены. В своих работах Эжен Фрейссине отмечал, что для изготовления преднапряженных конструкций необходимы как бетон высокой прочности, так и высокопрочная арматура с натяжением 800...1000 МПа. Эти выводы он делал на основе исследований явлений ползучести и усадки бетона, проводимых им с 1911 г.

В 1939 г. Эжен Фрейссине разработал систему создания предварительного напряжения в железобетонных элементах посредством натяжения высокопрочных стальных канатов и последующего их заземления в анкерных приспособлениях, расположенных на торцах армируемой конструкции. Т.к. операции натяжения арматуры производились после набора бетоном достаточной прочности, т.е. фактически на готовую конструкцию, данная технология получила название пост-напряжения (post-tension).

Первые случаи применения технологии пост-напряжения связаны с возведением гаражей-стоянок в США и Канаде в 1950-1960-х гг. Система предварительного напряжения образца 1950-х гг. представляла собой пучок из 3-12 (чаще - 8) четвертьдюймовых (около 6 мм) проволок, имеющий на конце утолщение в виде высаженной головки (button-headed wires). Закрепление пряди производилось посредством группы шайб и требовало применения достаточно

громоздкого оборудования. Детали анкеровки также не отличались компактностью, что затрудняло консервацию анкерных устройств в целях предотвращения их коррозии.

В начале 1960-х г. распространение получили пряди (strands), концы которых заклинивались в анкерном блоке с помощью цапг. Некоторое время клиновые анкерные системы применялись лишь для армирования защитных оболочек ядерных реакторов, но из-за более простого процесса монтажа и большей мобильности оборудования они окончательно вытеснили системы, использующие пряди с высаженными головками на концах (button-headed wires).

Вплоть до начала 1970-х г. использовались арматурные канаты, покрытые защитной смазкой и завернутые в бумагу для исключения сцепления с бетоном. В ряде случаев, такие конструкции были уязвимы для коррозии, т.к. при разрушении защитного слоя плит перекрытия в верхней части конструкции вода и нефтепродукты с транспортных средств просачивались в пространство между арматурой и бетоном, скапливались в нижних точках трассы каната и вызывали его интенсивное разрушение. Поэтому, стали применяться пластиковые защитные оболочки арматуры. Первые образцы таких оболочек изготавливались двумя способами – протяжкой арматурного каната внутрь готовой оболочки достаточно большого диаметра (push-through, получили распространение в Канаде), либо непрерывной навивкой разогретой пластиковой ленты на канат (heat-sealed или cigarette wrap, применялись в США). Такие пряди не были достаточно надежны по ряду причин. В первом случае, из-за достаточно большого зазора между стальной прядью и оболочкой была возможность скопления внутри влаги в процессе транспортировки и хранения, что в дальнейшем приводило к коррозии. Во втором случае, навиваемая пластиковая лента разогревалась до недостаточно высокой температуры, и сплавления отдельных витков между собой не происходило. В случае изгиба каната зачастую такое покрытие переставало быть герметичным, прядь становилась уязвимой для агрессивных воздействий, происходила утечка защитной смазки. В случае же проникновения бетона в разрыв оболочки происходило фактически местное заклинивание каната в теле конструкции, что не позволяло произвести его натяжение до проектной величины, либо его замену.

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, потому 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.

Сравнивая системы предварительного напряжения со сцеплением и без сцепления арматуры с бетоном, следует выделить ряд различий, определяющих выбор решения. Эволюционно, unbonded systems были разработаны вследствие выявленных серьезных недостатков bonded systems, и в зарубежной строительной практике последние применяются теперь значительно реже.

Известны также системы с расположением арматуры вне бетонного сечения. Данные решения используются для устройства конструкций усиления, при армировании мостов и путепроводов. Отметим, 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 армируемой конструкции и количества требуемой арматуры различают системы с одиночными прядями, расположенными с определенным шагом (monostrand) и пучком прядей (multistrand).

Различие между системами заключается не только в типах комплектующих (анкерных приспособлений и закладных деталей), но и в видах выполняемых технологических операций. Системы monostrand предполагают натяжение прядей в индивидуальной оболочке из экструдированного полиэтилена, укладываемых до бетонирования вместе с ненапрягаемой арматурой. После бетонирования плиты и набора бетоном передаточной прочности производится натяжение пряди и закрепление ее в анкерном устройстве с последующей консервацией анкерных зон.

При устройстве систем предварительного напряжения с напрягаемыми пучками арматурных канатов последовательность операций иная. До бетонирования плиты вместе с ненапрягаемой арматурой устанавливаются гофрированные оболочки-каналообразователи со штуцерами инъектирования. После набора бетоном достаточной прочности внутрь оболочек втягиваются пряди, производится их натяжение, закрепление в анкерных устройствах и инъектирование каналов цементным раствором. Каждый из арматурных канатов находится в индивидуальной оболочке со смазкой, и передача обжимающего усилия происходит только через анкерные приспособления и закладные детали, сцепление с окружающим прядь бетоном отсутствует. Таким образом, при устройстве систем multistrand возникает необходимость в дополнительном комплекте оборудования для инъектирования и производстве дополнительных операций.

Однако, прямое сравнение систем monostrand и multistrand нельзя считать корректным, т.к. данные системы не являются взаимозаменяемыми и область их применения различна.

На основе приведенных данных можно сделать вывод, что наиболее совершенной на данном этапе развития является система предварительного напряжения без сцепления арматуры с бетоном, использующая пряди в оболочке из ПЭВП со смазкой. В зависимости от принятого конструктивного решения применяются одиночные пряди, устанавливаемые с требуемым по расчету шагом (monostrand), либо пучки прядей, размещаемые в гофрированных оболочках, инъектируемых цементным раствором (multistrand).

Ввиду специфики технологии, наиболее эффективно ее применение в случае возведения:

- перекрытий паркингов, промышленных, торговых и офисных зданий;
- перекрытий жилых зданий с площадью помещений более 100 м²;
- ригелей перекрытия;
- железобетонного несущего ядра многоэтажных зданий;
- несущих колонн с повышенной гибкостью;
- каркасов зданий в сейсмически опасных районах, либо подверженных влиянию динамических воздействий;
- оболочек перекрытий спортивных и развлекательных комплексов;

- защитных оболочек ядерных реакторов, градирен, резервуаров, прочих специальных сооружений промышленного назначения;
- фундаментов;
- аэродромных покрытий.

Опыт возведения железобетонных каркасов с предварительным напряжением в построечных условиях зарубежными специалистами показывает, что применение данной технологии позволяет:

- сократить сроки возведения каркаса здания;
- уменьшить толщину (сечение) конструкций перекрытия и покрытия;
- снизить собственный вес каркаса здания, что особенно важно при работе в условиях действия динамических нагрузок;
- упростить конструкции фундаментов, сократить сроки производства работ нулевого цикла;
- возводить здания с большими пролетами, что позволяет эффективнее использовать внутренний объем;
- повысить стойкость конструкции по отношению к действию агрессивных сред за счет сниженного трещинообразования;
- специфика технологии пост-напряжения позволяет производить мониторинг состояния конструкции, корректировать усилия в арматурных канатах, значительно повышает ремонтпригодность конструкций.

В соответствии с постановлением совета министров Республики Беларусь № 1589 от 28.10.2010, основной целью развития строительного комплекса является создание современных энергоэффективных и ресурсоэкономичных, экологически безопасных зданий и сооружений, новых конкурентоспособных на внутреннем и внешних рынках строительных материалов, не уступающих по своему качеству европейским. Технология предварительного напряжения арматуры в построечных условиях является закономерным этапом развития строительной отрасли Республики, необходимость которого обусловлена посылами современности.

Разработка технологических карт на производство работ. номенклатурного ряда изделий и комплекта оборудования предоставит строительным организациям Республики мощный инструмент для рационального использования ресурсов и создания строительной продукции высочайшего уровня качества.

ПРИЛОЖЕНИЯ

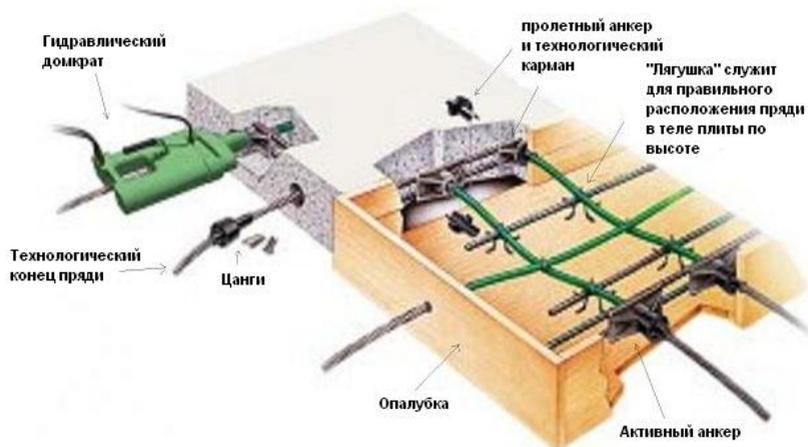


Рисунок 1. Принципиальная схема системы предварительного напряжения в построечных условиях monostrand.

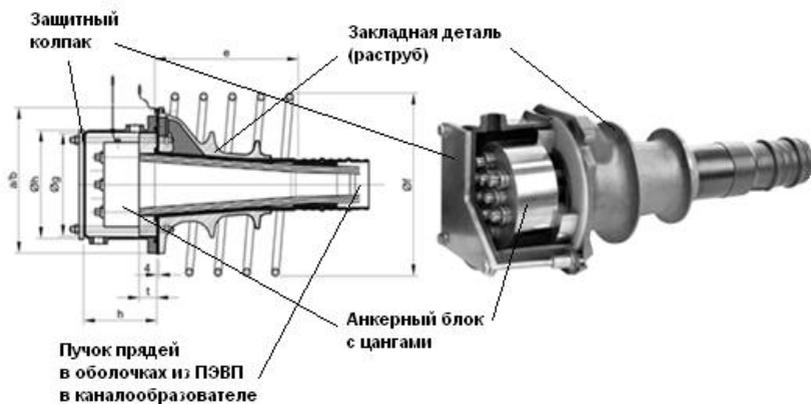


Рисунок 2. Принципиальная схема системы предварительного напряжения в построечных условиях multistrand.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология предварительного напряжения монолитных железобетонных конструкций в построечных условиях: пособие для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» / В.В. Латыш, С.Н. Леонович. – Минск: БНТУ, 2006 – 53 с.
2. Post-Tensioning Manual / Theodore L. Neff [and others]. – 6th edition – PTI, 2006. – 354 p.
3. Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сборник научных статей/ Министерство образования Республики Беларусь, Гродненский государственный университет им. Янки Купалы: [редколлегия: Т.М. Пецольт (отв. ред.) и др.], - С. 132-134
4. 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