

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Технология строительного производства»

В.В. Латыш
С.Н. Леонович

**«Технология предварительного напряжения монолитных
железобетонных конструкций в построечных условиях»**

Учебное пособие для студентов специальности 1 70 02 01
«Промышленное и гражданское строительство»

Минск 2006

УДК 624.012.46 (075.8)

ББК 38.626.1я7

Л 27

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Богомолов Ю.М.

д-р техн. наук, проф. Батяновский Э.И.

Л 27 Латыш В.В., Леонович С.Н.

Технология предварительного напряжения монолитных железобетонных конструкций в построечных условиях: Учебное пособие для студентов специальности 1 70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» – Мн., БНТУ, 2006. – 45 с.

ISBN

Учебное пособие разработано в соответствии с учебным планом подготовки студентов специальности «Промышленное и гражданское строительство», программой дисциплины «Технология строительного производства».

В данной работе рассматривается технологическая процедура преднапряжения в построечных условиях, объясняются понятия, относящиеся к предварительно напряженному железобетону. Даются дополнительные сведения и указания, касающиеся материалов для преднапряженных железобетонных конструкций и технологии проведения работ по преднапряжению в построечных условиях.

УДК 624.012.46 (075.8)

ББК 38.626.1я7

ISBN

© Латыш В.В., Леонович С.Н., 2006

Введение

Основной строительный материал XXI века, железобетон, во всем мире заслуженно пользуется вниманием ученых отрасли. Создав искусственный камень, ученые нашли и способ борьбы с его основным недостатком — низкой прочностью при растяжении. Создание на стадии изготовления или строительства напряженного состояния в конструкции является одним из крупнейших достижений инженерной мысли XX столетия.

В СССР предварительное напряжение применялось весьма широко в промышленном, жилищном, транспортном и специальном строительстве. Преднапряженных конструкций выпускалось более 30 млн. м³ в год, что существенно больше, чем в какой-либо другой стране.

Отрицательным моментом развития советской строительной науки являлось то, что не получили должного изучения и применения предварительно-напряженные конструкции с натяжением арматуры на бетон, в том числе в построечных условиях. В связи с этим практически отсутствует современное эффективное отечественное оборудование для реализации такой технологии на практике.

Между тем в мире из преднапряженного монолитного железобетона возводятся промышленные, гражданские и жилые здания, плотины и энергетические комплексы, телебашни и многое другое.

В настоящее время в нашей республике широкое распространение получило строительство зданий и сооружений каркасной конструктивной системы из монолитного бетона. Основными достоинствами монолитного домостроения по сравнению с другими видами строительства является:

- снижение расхода бетона и массы здания по сравнению с бескаркасной крупнопанельной системой при узком шаге внутренних поперечных стен;
- возможность большого разнообразия объемно-планировочных решений и реализации «гибкой планировки», а также лучших условий для модернизации и перепланировки;
- возможность рационального использования первых этажей жилых многоэтажных зданий для размещения в них поме-

щений социально-бытового назначения практически без дополнительных затрат, характерных для КЖД;

- высокая сопротивляемость внешним воздействиям;
- строгое распределение конструктивных функций каркаса и ограждения;
- архитектурная выразительность здания в целом.

Однако существуют и недостатки. Это перенесение технологических процессов изготовления конструкций в условия строительной площадки, производство работ, связанных с бетонированием конструкций, в зимний период. Но основной недостаток монолитного железобетона – это увеличение, по сравнению со сборными конструкциями, расхода арматуры и бетона.

Повышенный расход бетона является следствием трудоемкости пустотообразования в условиях строительной площадки, что приводит к неэффективному использованию механических свойств бетона.

Значительный перерасход арматуры вызван изготовлением железобетонных элементов без предварительного напряжения, которое увеличивает жесткость и трещиностойкость конструкций. Это является определяющим фактором при проектировании большепролетных конструкций.

Применение преднапряжения, как показывает опыт зарубежных строителей, позволяет получить следующие результаты: приобретение высокой несущей способности перекрытий всего за 3-4 дня; снижение суммарных трудозатрат на строительство более чем в 2 раза; экономическая эффективность проведения работ; сокращение расхода стали и бетона до 50%, а, следовательно, и облегчение здания в 2-3 раза, что позволяет увеличить его высотность; удешевление стоимости фундаментов; значительное увеличение пролетов перекрытия; уменьшение его толщины; повышение сейсмостойкости, надежности и долговечности.

Перекрытия из предварительно напряженного бетона находят свое применение в первую очередь там, где требуется сделать расстояние между несущими колоннами более 9 м, при возведении масштабных объектов: крупных торговых центров, паркингов, складских, спортивных сооружений, отелей, промышленных зданий и мостов.

Таким образом, преднапряжение железобетонных конструкций в условиях строительной площадки является существенным фактором, позволяющим снизить стоимость нового строительства, а также является эффективным методом усиления при реконструкции зданий и сооружений.

В данной работе рассматривается основная идея преднапряжения, объясняются понятия, относящиеся к предварительно напряженному железобетону. Даются дополнительные сведения и указания, касающиеся строительных материалов для преднапряженных железобетонных конструкций и технологии проведения работ по преднапряжению.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Арматура — линейно протяженные элементы в железобетонной конструкции, предназначенные для восприятия растягивающих (главным образом) и сжимающих усилий. В зданиях и сооружениях применяют стальную арматуру в виде проволоки, стержней и витых канатов.

Арматура напрягаемая — арматура, подвергаемая предварительному натяжению перед либо в процессе передачи усилия обжатия на бетон. В данной работе используется собирательное понятие *напрягаемый арматурный элемент* применительно к напрягаемой арматуре с анкерами.

Класс арматуры по прочности на растяжение — показатель, характеризующий ее механические свойства согласно требованиям соответствующих стандартов, обозначаемый буквой S и числом, соответствующим нормативному сопротивлению арматуры в МПа (Н/мм^2) (например, S1400).

Класс бетона по прочности - количественная величина, характеризующая качество бетона, соответствующая его гарантированной прочности на осевое сжатие, обозначаемая буквой C и числами, выражающими значения нормативного сопротивления и гарантированной прочности в Н/мм^2 (МПа), например, C¹²/₁₅ (перед чертой — значение нормативного сопротивления f_{ck} , Н/мм^2 , после черты — гарантированная прочность бетона f_c^G , Н/мм^2).

– **Конструкции предварительно напряженные железобетонные** — конструкции, в которых начальное натяжение напрягаемой арматуры обеспечивает необходимую степень обжатия бетона в процессе их изготовления и эксплуатации. Следует различать:

– конструкции предварительно напряженные с натяжением арматуры на упоры - конструкции, в которых натяжение напрягаемой арматуры выполняют до их бетонирования, а усилие предварительного обжатия передают на затвердевший бетон, имеющий требуемую начальную прочность, главным образом, посредством сил сцепления арматуры с бетоном конструкции;

– конструкции предварительно напряженные с натяжением арматуры на бетон - конструкции, в которых натяжение арматуры выполняют непосредственно на затвердевший бетон заданной прочно-

сти, а усилие предварительного обжатия передается на конструкцию при помощи механического закрепления арматуры с возможным последующим инъецированием каналов раствором или другими материалами;

- конструкции самонапряженные — конструкции, в которых натяжение арматуры осуществляется при расширении напрягающего бетона в процессе его твердения, а усилие предварительного обжатия передается на конструкцию посредством сил сцепления арматуры с бетоном либо за счет механического закрепления.

Кроме того, различают:

- конструкции предварительно напряженные без сцепления арматуры с бетоном, располагаемой в каналах, в которых антикоррозионную защиту арматуры обеспечивают при помощи специальных покрытий;

- конструкции предварительно напряженные с внешним армированием, в которых рабочее армирование размещают вне бетонного сечения со специальной защитой арматуры от коррозии и воздействия огня;

- конструкции предварительно напряженные со смешанным армированием, в которых лишь часть рабочей арматуры подвергают предварительному напряжению.

Степень преднапряжения. *Полное* преднапряжение предполагает отсутствие растягивающих напряжений в бетоне при действии полной полезной нагрузки. Однако следует учитывать растягивающие напряжения, возникающие в зоне анкеровки арматуры при спуске ее натяжения, главные растягивающие напряжения при срезе и кручении элемента, а также растягивающие напряжения, возникающие в поперечном направлении при действии сил сцепления или от температурных воздействий.

Ограниченное преднапряжение предполагает ограничение величины растягивающих напряжений в бетоне при действии полной эксплуатационной нагрузки.

Частичное преднапряжение используется в том случае, если нет ограничений на величину растягивающих напряжений в бетоне при действии полной эксплуатационной нагрузки. Ширину раскрытия трещин ограничивают установкой обычной ненапрягаемой арматуры.

Конструктивное преднапряжение (в Австрии говорят о слабом предварительном напряжении) применяется в несущих железобетонных конструкциях (кроме консольного типа), чтобы избежать усадки температурных швов и обеспечить монолитность работы при образовании трещин (например, в массивных гидротехнических сооружениях). Если напрягаемый арматурный элемент установлен только для повышения трещиностойкости и уменьшения деформативности конструкции и не учитывается при расчете ее несущей способности.

Прочность бетона передаточная– прочность бетона (кубиковая) к моменту его обжатия усилием предварительного натяжения арматуры.

2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

2.1. Идея предварительного напряжения

Недостаточную прочность бетона на растяжение уже давно пытались устранить созданием сжимающих усилий в растянутой от внешней нагрузки зоне элемента за счет его преднапряжения. Растяжение в бетоне появится только тогда, когда под действием нагрузки будут погашены созданные искусственным путем сжимающие напряжения.

Принцип осуществления этой идеи показан на примере простой однопролетной балки (рис. 2.1). В растянутой зоне балки установлен гладкий стальной стержень с анкерными шайбами, резьбой и гайками на концах. При завинчивании гаек стержень напрягается, вызванные в нем силы растяжения через анкерные шайбы действуют на бетон как усилия предварительного обжатия P с эксцентриситетом e относительно нейтральной оси. Пренебрегая собственным весом балки, можно полагать, что от действия продольной сжимающей силы P и момента преднапряжения:

$$M = P \cdot e,$$

элемент получит выгиб вверх. При этом в растянутой от эксплуатационной нагрузки зоне элемента возникнут значительные сжимающие напряжения, а верхние волокна сжатой (в стадии эксплуатации) зоны будут испытывать незначительное растяжение, если величина $e > h/6$.

Если учитывать собственный вес балки g и действие, полезной нагрузки p , то возникающие при этом напряжения σ_{g+p} наложатся на соответствующие значения напряжений от усилия преднапряжения σ_p .

Степень преднапряжения можно выбирать так, что при полной эксплуатационной нагрузке напряжения в нижних волокнах предварительно обжатой зоны элемента будут равны нулю. В этом случае мы говорим о *полном* преднапряжении. Не всегда необходимо избегать появления растягивающих напряжений в бетоне при действии нагрузки, тем более что наряду с напрягаемыми арматурными элементами в конструкции, как правило, устанавливается и обычная ненапрягаемая арматура.

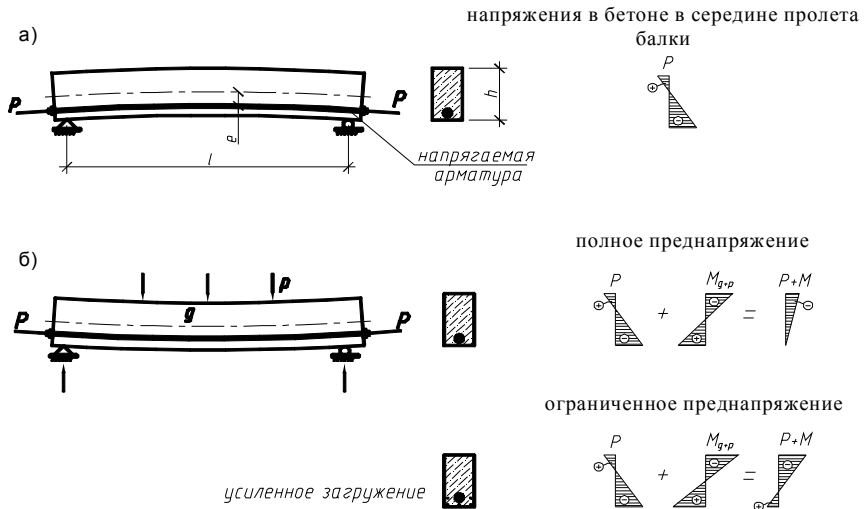


Рис.2.1. Изменение напряженного состояния изгибаемого железобетонного элемента в процессе его преднапряжения и действия эксплуатационной нагрузки
 а – усилия преднапряжения (без учета собственного веса балки) ; б – усилия преднапряжения, собственный вес балки g и полезная нагрузка p

Поэтому во многих случаях возможно допустить появление в бетоне растягивающих напряжений при действии полной эксплуатационной нагрузки, вследствие которых могут появиться волосяные трещины. Если растягивающие напряжения в бетоне не превышают допустимых значений, говорят об *ограниченном* преднапряжении, а если величина растягивающих напряжений не ограничивается и растянутая арматура устанавливается из условия недопущения чрезмерного раскрытия трещин, — то о *частичном* преднапряжении.

Если интенсивность нагрузки, действующей на преднапряженную балку, превышает эксплуатационные значения, то в любом случае в предварительно обжатой растянутой зоне появится трещина. Для обеспечения несущей способности элемента напрягаемая арматура вместе с обычной арматурой должна воспринимать растягивающие усилия в сечении с трещиной. Прочность сжатой зоны балки (как и в элементе без преднапряжения) должна быть достаточной для восприятия действующих сжимающих усилий. Следовательно, принципы

обеспечения несущей способности обычных и преднапряженных железобетонных элементов одинаковы. Различие состоит только в том, что часть удлинений арматуры в преднапряженной балке выбирается заранее, при натяжении арматуры. При этом в бетоне растянутой зоны отсутствуют деформации и трещины. Предварительный выбор части удлинений возможен только в высокопрочной арматуре, которая в обычных ненапрягаемых элементах из-за возможного нарушения сцепления и чрезмерного раскрытия трещин не используется.

После преднапряжения из-за проявляющихся во времени усадки и ползучести бетона продолжается дальнейшее укорочение волокон в направлении расположения напрягаемой арматуры. По этой причине происходят потери преднапряжения. Величина потерь тем больше, чем выше деформации сжатия в бетоне от действия усилия предварительного обжатия.

Таким образом, предварительное напряжение железобетонных конструкций позволяет получить следующие эффекты:

- снизить расход стали благодаря применению арматуры повышенной и высокой прочности при её эффективном использовании;
- увеличить сопротивление конструкции образованию трещин в бетоне (трещиностойкость) и ограничение их ширины раскрытия;
- повысить жесткость конструкции (или снизить её деформативность), благодаря чему удастся перекрывать большие пролеты и возводить сверхвысокие сооружения;
- снизить собственный вес конструкции в результате уменьшения размеров сечений при применении бетонов повышенной прочности и, соответственно, расхода бетона, что в большинстве случаев приводит к снижению стоимости конструкции;
- повысить выносливость конструкций, работающих под воздействием многократно повторяющихся нагрузок;
- повысить устойчивость сжатых элементов.

2.2 Способы создания предварительного напряжения

В зависимости от технологических особенностей натяжения арматурных элементов различают следующие способы натяжения арматуры:

- электротермический;

- механический;
- комбинированный или электротермомеханический;
- физико-химический способ.

Электротермический способ заключается в том, что необходимое относительное удлинение напрягаемой арматуры, соответствующее начальному контролируемому напряжению, получают электрическим нагревом арматуры до соответствующей температуры с последующей фиксацией ее на упорах заданной длины, соответствующей требуемому удлинению для создания напряжения после ее остывания.

В СССР предложение об использовании электротока для напряжения арматуры при ее остывании было сделано В.В. Михайловым в 1932 г.

Исследованию влияния электронагрева на свойства проволочной арматуры посвящено значительное количество работ. Анализ полученных результатов показывает, что электронагрев арматуры до 250–300°C либо приводит к некоторому повышению ее физико-механических характеристик, либо в отдельных случаях вызывает незначительное их уменьшение. При дальнейшем росте температуры происходит снижение прочностных и упругих характеристик проволочной арматуры.

У высокопрочной проволоки и канатов величина предварительного напряжения обычно составляет 1000—1120 МПа и значительно превосходит условный предел упругости стали. Для получения такого напряжения арматуру необходимо нагреть до температуры 500—550°C, что приводит к рекристаллизации и разупрочнению стали и, как следствие, — к образованию пластических деформаций, которые будут возникать при остывании арматуры.

В канатах же, кроме пластических деформаций самой проволоки, возникают конструктивные деформации вследствие неплотного прилегания наружных проволок к центральной

В настоящее время этот метод является одним из основных при заводском изготовлении конструкций. Вместе с тем, как по экономическим, так и техническим показателям данный способ предварительного напряжения является наименее эффективным и должен в перспективе уступить место механическому натяжению арматуры.

При механическом способе необходимое относительное удлинение арматуры, соответствующее заданному контролируемому напряжению в ней, получают вытяжкой арматурного элемента натяжными механизмами.

Электротермомеханический способ, представляет собой совокупность электротермического и механического способов натяжения арматуры.

Физико-химический способ, позволяет осуществлять натяжение арматуры, располагаемой в конструкции и имеющей обеспеченное сцепление с бетоном, за счет энергии расширения напрягающего бетона в процессе твердения.

Из всех выше указанных способов, для натяжения арматуры в условиях строительной площадки широкое применение получил механический способ натяжения. Признанными лидерами в этой области являются компании Франции (Freyssinet), Германии ("DYWIDAG Systems international"), США ("Structural Group"), Японии.

В нашей республике в настоящее время специалистами Брестского государственного технического университета (В.В. Тур, А.А. Кондратчик и др.) ведутся исследования в области создания преднапряжения с использованием напрягающих бетонов.

3. МАТЕРИАЛЫ

3.1. Требования, предъявляемые к бетону

Для предварительно напряженных конструкций необходим более прочный бетон. Выбор класса бетона производится на основании технико-экономического анализа в зависимости от назначения конструкции, вида и класса напрягаемой арматуры, ее диаметра. При арматуре из высокопрочной проволоки и стальных канатов применяется преимущественно бетон классов С25/30, С30/37, а иногда С40/50, а при стержневой арматуре — классов С25/30. Для предварительно напряженных элементов из тяжелого и легкого бетонов класс бетона, в котором расположена напрягаемая арматура, должен приниматься в зависимости от вида и класса напрягаемой арматуры, ее диаметра и наличия анкерных устройств не ниже классов, указанных в табл. 3.1.

Передаточная прочность бетона, т.е. прочность бетона к моменту его обжатия, назначается не ниже 50% от класса, указанного в табл. 3.1, и должна составлять не менее 11 МПа, а при стержневой арматуре классов А-VI* и Ат-VI и арматурных канатах классов К-7 и К-19 не менее 15,5 МПа.

Экспериментальным путем выявлено, что с повышением класса бетона сверх С40/50 модуль упругости нарастает незначительно. Усадка и ползучесть высокопрочных бетонов на 10...20 % меньше бетонов средней прочности. С нарастанием прочности эти значения уменьшаются. Поэтому высокопрочные бетоны рационально применять в предварительно напряженных конструкциях, так как потери напряжений уменьшаются.

Примечание: в работе используется обозначение класса арматуры в соответствии со СНиП 2.03.01-84*

Минимальный класс бетона, принимаемый
для предварительно напряженных конструкций

Вид и класс напрягаемой арматуры	Класс бетона не ниже
Проволочная арматура:	
класса В-II с анкерами	C16/20
класса Вр-II без анкеров, при диаметре проволоки до 5 мм (включительно)	C16/20
то же при диаметре 6 мм и более	C25/30
классов К-7 и К-19	C25/30
Стержневая арматура без анкеров диаметром: от 10 до 18 мм (включительно) классов:	
А-IV и Ат-IVс	C12/15
А-V и Ат-V	C16/20
Ат-VI	C20/25
от 20 мм и более классов:	
А-IV и Ат-IV	C16/20
А-V и Ат-V	C20/25
А-VI и Ат-VI	C25/30

Примечание: обозначение классов арматуры в соответствии со СНиП .2.03.01-84*

3.2. Арматурные изделия и анкера напряженной арматуры

В современных предварительно напряженных конструкциях применяют стали разных видов и марок. Арматурные стали, применяемые в предварительно напряженных конструкциях, должны обладать рядом характерных свойств для обеспечения оптимальных

конструктивных решений. Наиболее важными характеристиками сталей являются высокие пределы текучести и прочности, хорошие упругие и пластические свойства, достаточно высокий предел выносливости, способность арматуры надежно работать совместно с бетоном на всех стадиях службы конструкции.

В предварительно напряженных конструкциях наибольшая экономия стали достигается, как правило, при использовании для напрягаемой арматуры высокопрочной проволоки. Однако применение ее в виде отдельных проволок увеличивает трудоемкость установки и натяжения арматуры. Густая сетка арматуры в растянутой зоне затрудняет работы по захвату и равномерному натяжению арматуры. Малый диаметр проволок нередко вызывает затруднения с размещением большого их числа в сечении элемента, поэтому при одиночном расположении проволок приходится увеличивать габариты сечений, применять мелкий щебень, более подвижные бетонные смеси и частично терять полезную высоту сечения. Кроме того, применение большого числа густо расположенных проволок значительно усложняет процесс заготовки, увеличивает время уплотнения бетона и процент брака конструкций.

Указанные недостатки устраняются при применении той же высокопрочной проволоки, но в виде пучков и прядей с различным числом проволок, снабженных специальными анкерами, многопрядных канатов (тросов) без органического сердечника. Однослойные пряди от трех до шести проволок свиваются без сердечника, пряди из семи проволок имеют проволочный сердечник.

Характерным для развития предварительно напряженных железобетонных конструкций за рубежом является широкое применение разного вида пучков, канатов из высокопрочной проволоки, термически упрочненной катанки и высокопрочной стержневой арматуры.

Наиболее распространенными способами закрепления пучков по концам являются анкеры типа Э. Фрейсине, гильзовые и типа ББРВ. Анкеры типа Фрейсине выполняются в виде колодок и конических клиньев (рис. 3.1), преимущественно стальных. В стальных колодках запрессовывается до 30 проволок диаметром 7 мм с усилием натяжения около 1000 кН.

Широко применяются в странах Западной Европы анкеры арматурных пучков типа ББРВ (Швейцария), выполняемые закрепи-

ем проволок в отверстиях стальных колодок путем холодной за-прессовки концов. В настоящее время такие пучки применяются с усилием натяжения 3000...8000 кН. Они состоят из высокопрочных проволок (67...180 штук) диаметром 7 мм. Натяжение пучков типа ББРВ производится гидродомкратами. Контроль за натяжением осуществляется по вытяжке, показаниям манометра и динамометра. Способ ББРВ благодаря его универсальности применим для разных видов сооружений. Он экономный и надежный. Различают несколько типов анкеров в зависимости от диаметра пучков, размеров шайб и опорных плит.



Рис. 3.1. Конструкции анкеров, выпускаемые фирмой «Фрейсине» (Франция)

Большое применение за рубежом получила прядевая арматура из высокопрочной проволоки. Преимущественно используются семи-проволочные пряди. Для анкеровки пучков из прядей применяются цанговые анкеры. При этом анкеровка производится в стальной колодке, предназначенной для одной пряди в виде обоймы с коническим отверстием или для группы прядей с несколькими отверстиями и для отдельных проволок. Натяжение прядей осуществляется гидравлическими домкратами разной мощности.

За рубежом используются различные системы арматурных пучков и канатов, составленные из прядей, а также натяжных анкеров и устройств, характеризующихся автоматичностью действия и быстрой оперирования.

3.3. Стыки и соединения напрягаемых арматурных элементов

Стержневая арматура поставляется длиной от 15 до 30 м, поэтому при более длинных напрягаемых арматурных элементах должна стыковаться. Проволочная и прядевая арматура имеет, как правило, достаточную длину, но при строительстве зданий и сооружений большой протяженности и она требует дополнительных мероприятий, обеспечивающих стыковку арматуры по длине. Стыковка арматуры осуществляется с помощью конструктивных элементов называемых муфтами. Западными производителями разработаны различные решения таких соединений представленные на рис. 3.2.



Рис. 3.2. Типы муфтовых соединений

В зависимости от принципа соединения различают резьбовые и клиновидные соединительные муфты

Напрягаемую стержневую арматуру проще всего стыковать с помощью трубообразных муфт, имеющих внутреннюю резьбу для навинчивания на стыкуемые стержни. Внутренняя резьба может иметь одно направление по всей длине муфты или на половине длины иметь противоположное направление. Как правило, в муфте имеется отверстие, через которое можно контролировать положение концов арматурных стержней.

Диаметр гофрированного каналообразователя в области стыковой муфты должен увеличиваться. Это увеличение определяется длиной перемещения арматуры при натяжении в месте расположения муфты. Резьбовые муфты используются также в качестве соединительных анкеров.

Для стыковки напрягаемой проволочной арматуры может применяться стык с использованием клиновидной муфты (рис. 3.4). Клин, состоящий из трех частей, встроен во внутреннюю часть гильзы. Там же находится пружина, которая при смещении концов проволоки сжимается и освобождает место для клиньев. Требуемое поперечное давление развивается при напряжении, сопровождающемся проскальзыванием клиньев.

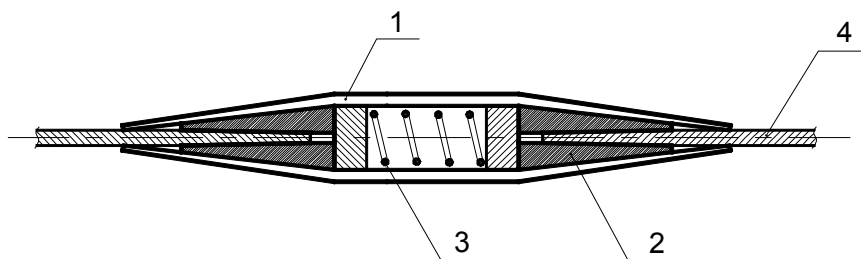


Рис. 3.4. Вариант стыкового соединения с помощью клиньев, удерживаемых в тонкой гильзе пружиной:
1 – гильза; 2 – клин; 3 – пружина; 4 – проволока

3.4. Трубчатые каналообразователи

При преднапряжении на бетон конструкции напрягаемую арматуру устанавливают в трубчатые каналообразователи, где она имеет возможность свободного скольжения. Каналообразователи изготавливаются, как правило, из тонколистовой, вальцованной в холодном состоянии стали толщиной от 0.2 до 0.35 мм (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Гофрированные оболочки из стали

Вальцевание осуществляется в поперечном направлении, по винтообразной линии. Соединять трубчатые гофрированные каналообразователи можно с помощью муфт.

Поперечные волны (гофры) делают каналообразователь более жестким, и улучшает сцепление между бетоном и раствором для инъектирования. Кроме того, они обладают относительно небольшим радиусом кривизны, что позволяет наматывать на катушки и транспортировать с помощью лебедки, напрягаемые арматурные элементы большой длины.

Требования, предъявляемые к трубчатым каналообразователям (DIN 18553):

- достаточная жесткость, позволяющая даже при нагрузке 1000 Н избежать вмятин на поверхности;
- плотность стыков и швов, не позволяющая протекать цементному молоку;
- значительная длина поставки, уменьшающая число возможных стыков.

Отводы от канала для нагнетания цементного раствора и выпуска воздуха чаще всего выполняется из искусственных материалов. Из искусственных материалов выполняются и сами каналообразователи в преднапряженных железобетонных конструкциях без сцепления напрягаемой арматуры с бетоном. Диаметр каналообразователя должен быть несколько больше (5—15 мм) диаметра напрягаемого арматурного элемента.

3.5. Требования, предъявляемые к инъекционным растворам

Для обеспечения сцепления напрягаемой арматуры с бетоном и для ее защиты от коррозии в канал под давлением нагнетается раствор.

Требования, предъявляемые к цементному раствору для инъектирования в соответствии с немецкими нормами DIN4227, ч.5:

- уменьшение объема раствора вследствие седиментации и усадки не должно превышать 2%;
- хорошая подвижность, сохраняющаяся до окончания процесса инъектирования;
- цилиндрическая прочность раствора на сжатие (размеры цилиндра $D=10$ см; $H=12$ см.) 7 дней твердения должна составлять не менее 20 МПа, после 28 дней – 30 МПа;
- морозостойкость (не должно быть увеличение в объеме при однократном замораживании до -20°C в возрасте 3 дней при хранении при 5°C).

Использование глиноземистых цементов запрещается. Для приготовления раствора используют специальные разжижаемые заполнители. Для обеспечения защиты арматуры от коррозии ни цемент, ни заполнители не должны содержать хлоридов. Содержание других видов добавок должно также контролироваться. Содержание воды определяется необходимой подвижностью раствора (36-44 литра воды на 100 кг. цемента, что соответствует В/Ц—0.35-034). Добавки в большинстве случаев не улучшают качества раствора, их вес не должен превышать 20% от веса цемента.

При напрягаемых арматурных элементах с редким расположением проволок рекомендуется использовать песок с крупностью зерен до 1 мм. Большие пустоты в каналах (например, гильзы специальных анкеров) заполняются гравием крупностью от 3 до 7 мм или от 7 до 15 мм и потом инъектируются раствором. Раствор для инъектирования перемешивается не менее 4 мин. в быстро вращающейся установке.

В условиях низких температур для инъектирования вместо цементного раствора, как правило, применяют различные полимерные, однако это примерно в 10 раз дороже, чем цементный раствор.

3.6. Гидравлические домкраты для предварительного натяжения арматуры

Напрягаемые арматурные элементы при натяжении испытывают значительные напряжения. Даже при маленьких поперечных сечениях арматуры необходимо наличие больших растягивающих усилий, которые проще всего создавать с помощью гидравлических домкратов (рис. 3.6).



Рис. 3.6. Гидравлические домкраты, применяемые для предварительного напряжения арматуры на бетон

Для создания сжатия в домкрате с помощью мощного насоса осуществляется давление жидкости (масляной эмульсии или жидкого масла) на дно цилиндра.

С помощью усилия, создаваемого домкратом, напрягаемый арматурный элемент растягивается, в то время как под действием гидравлического давления поршень выходит из цилиндра. Создаваемое за счет хода поршня удлинение напрягаемого арматурного элемента зависит от длины цилиндра.

Гидравлическое давление фиксируется на манометре. Максимально допустимое значение давления зависит от действующего в стенке цилиндра кольцевого растягивающего усилия и от производительности насоса. Проверку манометров и домкратов осуществляют в специальных лабораториях. Усилие натяжения может измеряться также с помощью динамометра, располагаемого между домкратом и анкерной пластиной.

Зная производительность насоса, можно определить время натяжения, необходимое для достижения расчетного удлинения напрягаемого арматурного элемента.

Для соединения насоса и домкрата используются гибкие шланги, способные выдерживать высокие давления. Для больших домкратов

используются бесшовные высоконапорные трубопроводы из стали или меди (их внутренний диаметр 4—6 мм) с соединительными муфтами и вентилями, рассчитанными на высокое давление.

Для напрягаемых арматурных элементов, устанавливаемых в гофрированные каналобразователи, используются домкраты с кольцевыми поршнями, через центральные отверстия которых пропускаются напрягаемые стержни, закрепляемые на анкерной головке. Поршень упирается или в анкерную пластину, или непосредственно в затвердевший бетон.

При работе с домкратами необходимо соблюдать меры предосторожности. Неплотности в высоконапорных трубопроводах могут привести к опасным последствиям. Шланги должны быть в хорошем состоянии, жесткие трубопроводы необходимо защищать от механических повреждений. Все установки высокого давления очень чувствительны, поэтому должны содержаться в чистоте.

4. ТЕХНОЛОГИЯ НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ НА БЕТОН КОНСТРУКЦИИ

4.1. Подготовительные работы

От правильного преднапряжения существенно зависят эксплуатационная способность и долговечность железобетонных конструкций. Поэтому натяжение арматуры должно осуществляться под контролем персонала, обслуживающего конструкцию.

Перед преднапряжением следует убедиться, что препятствий для предусмотренных деформаций элемента нет. В программе работ по осуществлению преднапряжения устанавливаются место и время проведения операции, для каждого напрягаемого арматурного элемента указываются требуемые значения усилий натяжения с удлинениями. Программой предусматривают также мероприятия, направленные на компенсацию трения, проскальзывания клиньев в анкерах и д.т. Характеристики для каждого напрягаемого арматурного элемента должны регистрироваться в таблицах. Бетон (особенно в зоне напрягаемой арматуры) должен обладать необходимой минимальной прочностью (см. раздел 3.1). В зимнее время необходимо следить за тем, чтобы железобетонная конструкция не находилась в условиях более низких температур, чем те, при которых происходило хранение бетонных кубиков.

Установки для натяжения арматуры должны быть исправными, домкраты и манометры — испытанными и оттарированными. Анкерные детали очищают, поверхность клиньев в случае необходимости смазывают.

4.2. Очередность проведения отдельных операций

Преднапряжение лучше всего осуществлять поэтапно. В начальной стадии целесообразно умеренное предварительное напряжение, которое препятствует появлению температурных и усадочных трещин в молодом бетоне. Отдельные напрягаемые арматурные элементы могут натягиваться на 30-50% от окончательного усилия натяжения, если бетон в зоне анкеровки набрал достаточную прочность. Возможно позднее полное преднапряжение. При этом бетон

перед загрузкой достигает высокой прочности, что обеспечивает малые потери и деформации вследствие усадки и ползучести.

Указанные рекомендации по ряду производственных и технических причин могут оказаться не приемлемыми. В этих случаях нужно обеспечить защиту конструкции от преждевременного охлаждения и высушивания путем устройства теплоизоляционного по возможности паронепроницаемого слоя. Если растянутая в стадии эксплуатации зона элемента под действием усилия обжатия испытывает значительные сжимающие напряжения, то целесообразным является более позднее полное преднапряжение.

Если железобетонные конструкции изготавливаются с использованием лесов и подмостей, то в условиях статического нагружения проверяют, влияет ли их упругость на включение в работу собственного веса конструкций при её преднапряжении. Если нет, то леса или подмости убирают.

4.3. Последовательность создания преднапряжения

Большинство отдельных напрягаемых арматурных элементов необходимо натягивать в такой последовательности, чтобы преднапряжение по всему сечению конструкции нарастало равномерно. Начинают обычно с элементов, заанкеренных в средней зоне поперечного сечения.

Если преднапряжение производится в продольном и поперечном направлениях, то в общем случае в первую очередь осуществляют натяжение тех напрягаемых арматурных элементов, которые расположены перпендикулярно к главной оси железобетонного элемента (например, плита пролетного строения моста). Напрягаемые арматурные элементы, располагаемые в поперечных балках, пустотных настилах и конструкциях коробчатого сечения и снизу, и сверху, натягиваются поочередно один за другим. Натяжение можно начинать и с продольных арматурных элементов, если от 30 до 50% поперечного преднапряжения распределено по длине конструкции.

Напрягаемые арматурные элементы с промежуточными анкерами, которые не проходят через всю железобетонную конструкцию, могут натягиваться только тогда, когда зона промежуточной анкеровки уже сжата усилием натяжения. Если установка избыточного количества обычной ненапрягаемой арматуры в зоне промежуточ-

ной анкеровки исключает появление трещин, то этим указанием можно пренебречь.

4.4. Процесс предварительного напряжения

Напрягаемая арматура закрепляется непосредственно или с использованием вспомогательного оборудования в домкрате, который упирается в затвердевший бетон конструкции (рис.4.1).



Рис. 4.1. Процесс натяжение арматуры на бетон конструкции

После этого с помощью насоса высокого давления создают усилие натяжения, по перемещения поршня в цилиндре устанавливают удлинение и измеряют его на домкрате.

Создаваемые в процессе натяжения усилия тщательно измеряют и заносят в таблицу (см. прил. 1), в которой для сравнения имеются их допустимые значения. Если допустимые значения не достигнуты и разность составляет более 4%, то устанавливают причины. Если в отдельном напрягаемом арматурном элементе отклонение превышает 15% или среднее отклонение всех находящихся в поперечном сечении напрягаемых арматурных элементов больше 5%, то, согласно DIN 4227, необходимо уведомлять об этом строительный надзор.

Давление на манометр должно достигать указанных в таблице допустимых значений. Если при этом достигаются требуемые удлинения арматуры, то могут устанавливаться анкеры. Если же необхо-

димо удлинение не достигнуто, то может быть увеличено усилие натяжения (не более чем на 5% по сравнению с нормативными значениями) или уменьшено трение за счет ослабления арматуры и ее повторного натяжения. Удлинение арматуры при натяжении определяется по перемещению поршня в цилиндре домкрата, чаще всего с помощью простой шкалы. Также может измеряться по числу оборотов анкерной гайки.

Точность измерений усилий натяжения зависит от длины напрягаемого арматурного элемента и должна составлять не менее +2%. При длине арматуры до 5 м применяют микрометр или индикатор с точностью измерений до 0.2 мм. При большей длине пригоден отсчет по миллиметровой шкале.

При расчете удлинения принимаются во внимание проскальзывание клиньев, зависящее от способа натяжения, или деформация анкеров при передаче усилия преднапряжения на анкерную зону элемента. Если это не учитывается, то должно быть обеспечено соответствующее перенапряжение.

4.5. Неравномерность перемещений напрягаемой арматуры

Если удлинение арматуры не соответствует натяжению, прежде всего, следует проверить манометр. Другими причинами могут быть недостаточные значения коэффициента трения и волнистости, ослабление анкеровки, минусовой допуск на величину поперечного сечения арматуры или модуля упругости (его учитывают заранее при вычислении удлинения), разрыв проволоки, который можно определить по щелчку и резкому с качку стрелки манометра в обратном направлении.

Причиной очень малого перемещения напрягаемой арматуры может быть повышенное трение (например, из-за коррозии или уменьшения скольжения при нагнетании цементного раствора). Трение устраняют многократным ослаблением и натяжением арматуры.

Существенно уменьшает перемещение напрягаемой арматуры соответствующее требуемому уровню преднапряжения, плюсовой допуск на величину поперечного сечения арматуры или модуля деформаций. Размеры поперечных сечений арматуры должны контро-

лироваться при поставке. Допуски можно учитывать также при расчете перемещений напрягаемой арматуры.

4.6. Виды потерь предварительного напряжения

Усилие предварительного напряжения не остается постоянным во времени в результате потерь, начинающихся практически с момента натяжения арматурных элементов и развивающихся в течение всего периода эксплуатации конструкции. Интенсивность потерь предварительного напряжения является максимальной в начальный период после передачи усилия обжатия.

Можно условно выделить две группы потерь предварительного напряжения в зависимости от этапов его создания в конструкции:

- первые потери, происходящие в процессе изготовления конструкции и обусловленные, главным образом, технологией натяжения арматурных элементов;
- вторые потери, обусловленные, главным образом, реологическими свойствами материалов, происходящие после передачи усилия обжатия и развивающиеся во времени в процессе эксплуатации конструкции.

К первым потерям при изготовлении конструкции с натяжением арматуры на бетон относятся:

- потери, вызванные трением арматуры о стенки каналов или о поверхность бетона конструкции;
- потери, вызванные проскальзыванием напрягаемой арматуры в анкерных устройствах.

Вторые потери, развивающиеся после передачи усилия обжатия:

- потери, обусловленные упругими деформациями бетона;
- потери от длительной релаксации напрягаемой арматуры;
- потери от усадки бетона;
- потери от ползучести бетона.

Как показывают экспериментальные исследования, в предварительно напряженных элементах, когда натяжение арматуры осуществляется на бетон, наблюдается ощутимое изменение усилия в напрягаемой арматуре по длине элемента. Это является результатом проявления потерь предварительного напряжения, главным образом, от трения напрягаемой арматуры о стенки канала. Это, прежде

всего, относится к напрягаемой арматуре, располагаемой в узких каналах, имеющих сложную трассу продольной оси (изменяющих направление в процессе натяжения), а также при навивке арматуры на цилиндрические сооружения.

В момент передачи усилия предварительного напряжения на бетон происходит упругое обжатие последнего. При натяжении арматуры на бетон упругое обжатие происходит в процессе создания предварительного напряжения.

В случае, когда предварительное напряжение в конструкциях с натяжением на бетон создают при помощи одного стержня, упругое обжатие происходит до анкеровки и не вызывает этого вида потерь. Если же последовательно осуществляют натяжение несколько стержней, то избежать потерь от упругого обжатия не удастся. Потери обусловлены тем, что каждый последующий напрягаемый стержень вызывает сокращение стержней, которые до этого уже были натянуты и заанкерены.

При проектировании чаще всего важно знать потери не в отдельных стержнях, а суммарное значение потерь.

Под действием нагрузки в углеродистой проволоке обнаруживаются заметные нарастания деформаций, называемые ползучестью. Ползучесть, проявившаяся в двух-, трехмесячном возрасте выдерживания конструкции под нагрузкой, составляет 60% от полной ползучести при неограниченном выдерживании арматурной стали под нагрузкой. Для предварительно напряженных конструкций пластические деформации ползучести стали не играют столь большой роли, как ползучесть бетона, так как деформация ползучести стали ограничена деформациями бетона и свободно проявляться не может. Деформация ползучести всегда сопровождается явлением релаксации напряжений стали, т.е. уменьшением напряжений во времени при зафиксированной длине.

Потери предварительного напряжения, вызванные упругим обжатием бетона в конструкциях с натяжением арматуры на бетон, составляют от 1 до 4%. При программировании натяжения эти потери могут быть достаточно просто исключены путем некоторой технологической «перетяжки». Наибольшую «перетяжку» должны испытывать стержни, напрягаемые первыми, а последние в ней не нуждаются вовсе.

Усадочные деформации бетона сопровождаются сжимающими напряжениями в арматуре, что приводит к уменьшению растягивающих напряжений, созданных в арматуре при ее натяжении. При натяжении на упоры потери от усадки больше, чем при натяжении на бетон, где к моменту натяжения арматуры усадка бетона частично произошла. Потери напряжения арматуры от усадки бетона зависят также от класса бетона и условий его твердения.

Ползучесть бетона, как и усадка, уменьшает удлинение натянутой арматуры, а, следовательно, и предварительное напряжение в ней.

Таким образом, при расчете удлинения необходимого для создания предварительного напряжения необходимо учитывать влияние как технологических, так и реологических факторов.

В общем случае удлинение напрягаемой арматуры определяется по формуле:

$$\Delta l_{tot} + \Delta l_p + \Delta l_c + \Delta l_{s1} + \Delta l_e$$

где Δl_p — удлинение напрягаемой арматуры, необходимое для получения заданного усилия предварительного напряжения;

Δl_c — удлинение, компенсирующее упругие деформации бетона;

Δl_{s1} — удлинение, учитывающее возможное проскальзывание или величины деформаций в жестком анкере, зависящее от вида натяжного устройства;

Δl_e — удлинение арматурного элемента в домкрате (при длине $l > 10$ м).

4.7. Натяжение арматуры на бетон конструкции с последующим инъецированием канала цементным раствором

После натяжения арматуры как можно быстрее должны быть обеспечены ее защита от коррозии и сцепление с бетоном. И то и другое выполняется последующим нагнетанием цементного раствора в канал с напрягаемой арматурой (требования к раствору см. гл. 3.5).

Правильное проведение работ по нагнетанию цементного раствора в каналы железобетонных конструкций в такой же степени важно, как и правильное преднапряжение. Из опыта западных фирм известно, что большинство обрушений преднапряженных железобетонных конструкций происходило из-за неправильного проведенного нагнетания раствора. Поэтому необходимо осуществлять контроль за выполнением этого процесса.

Непосредственно перед нагнетанием раствора канал с напрягаемой арматурой промывают водой, чтобы проверить его проходимость, увлажнить поверхность канала и арматурных проволок. Кроме того, это мероприятие исключает засорение канала вследствие засыхания раствора.

Температура напрягаемых арматурных элементов не должна быть ниже $+5^{\circ}\text{C}$. После длительного морозного периода для промывки можно использовать теплую воду.

С помощью проверенных насосов цементный раствор от места расположения анкера через ревизии медленно и под низким давлением подается в канал. Именно при медленном нагнетании возможно полное заполнение раствором узкого пространства канала по всей его длине. Значительное давление не рекомендуется, т.к. под его воздействием могут появиться нежелательные трещины. При создании в насосе высокого давления может быть нарушен процесс нагнетания раствора, т.к. в канале образуется пробка. В этом случае следует немедленно освободить канал от свежего раствора и установить причину пробки.

Воздух из канала вытесняется, когда раствор нагнетается от напрягаемых арматурных элементов, расположенных на самом низком уровне в направлении отверстия для удаления воздуха.

При большой кривизне расположения напрягаемых арматурных элементов рекомендуется устанавливать ревизии для нагнетания раствора в самых низких точках, а ревизии для удаления воздуха — в самых верхних. Ревизии в низких точках одновременно служат для спуска промывочной воды. По окончании процесса нагнетания ревизии должны быть плотно закрыты, чтобы исключить вытекание раствора.

5. КОРРОЗИЯ НАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ

Коррозия сокращает срок службы зданий и сооружений. Стали для напрягаемой арматуры более чувствительны к коррозии, вызванной действием химических агентов, чем обычные стали или арматура. Коррозия, протекающая в местах образовавшихся трещин, приводит к хрупкому разрушению напряженных сталей.

Различают электрохимическую и катодную коррозию.

Электрохимическая коррозия возможна, когда возникает электрический потенциал при наличии влажности и химического реагента (например, кислоты). В металле образуются раковины или язвы, возникает опасность концентрации напряжений в арматуре. При проволочной напрягаемой арматуре малых сечений коррозия более опасна, чем при обычной низколегированной арматуре больших диаметров. Так, в мостовых сооружениях напрягаемая арматура в виде канатов из проволок диаметром 5 мм, уложенная в канал конструкции и не имеющая специальной защиты от коррозии, уже через 6 — 7 месяцев теряет свои прочностные свойства.

Еще более опасной является так называемая *межкристаллитная* (катодная) коррозия. Она происходит при наличии влажности, растягивающих напряжений и химикалий (хлоридов, нитратов, сульфидов, сульфатов и некоторых кислот). Этот незаметный снаружи вид коррозии приводит к появлению мелких царапин, а через некоторое время — к разрушению стали. Раньше межкристаллитная коррозия встречалась довольно редко, сейчас она все чаще является причиной полного отказа напрягаемых арматурных элементов.

С точки зрения коррозии опасны следующие химические реагенты:

- нитраты — способствуют развитию коррозии в местах образовавшихся трещин;
- сульфиды — приводят к водородному охрупчиванию;
- хлориды — ведут к точечной коррозии и при этом к концентрации напряжений, способствуют водородному охрупчиванию, разъедают бетон.

5.1. Рекомендации по обеспечению стойкости против коррозии

Должны строго соблюдаться указания по защите напрягаемой арматуры от коррозии во время транспортировки, хранения, переработки, изготовления, а также обработки в период между процессом натяжения и бетонированием или нагнетанием цементного раствора в каналы железобетонных конструкций.

Заполнитель, цемент, вода, добавки бетона и раствора для нагнетания не должны содержать агрессивных элементов. Особенно тщательно нужно следить за содержанием сульфидов. Хлориды должны быть полностью исключены.

Структура бетона должна быть плотной, число воздушных пор не должно превышать нормативных значений с точки зрения морозостойкости бетона.

В конструктивном плане строго соблюдают (или превышают на 5—10 мм) предписанную нормами толщину защитного слоя бетона для ненапрягаемой арматуры.

Согласно [1], для предварительно напряженных конструкций с натяжением арматуры на бетон толщина защитного слоя бетона должна быть не менее 40 мм и не менее (рис. 5.1):

- диаметра канала \varnothing_k ;
- ширины b_k или половины высоты h_k канала (если он прямоугольный);
- максимального размера крупного заполнителя d_g плюс 5 мм;
- показателей табл. 5.1.

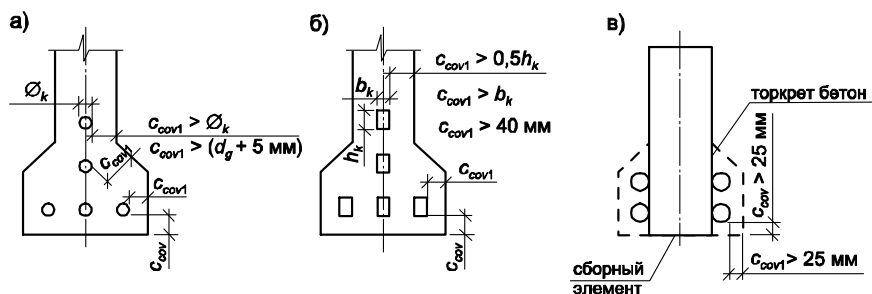


Рис.5.1. Расположение напрягаемых элементов в сечении при натяжении арматуры на бетон

Концы напрягаемой арматуры или анкера должны быть защищены от коррозии специальным долговечным антикоррозионным покрытием, цементным раствором ($\delta \geq 15$ мм).

Принципиально важно, чтобы напрягаемые арматурные элементы находились внутри контура ненапрягаемой арматуры, так как при этом возможные трещины раскрываются на уровне напрягаемых арматурных элементов меньше, чем на поверхности бетона, а их ширина не превышает допустимых значений.

Таблица 5.1.

Минимально допустимая толщина защитного слоя бетона

Показатель	Класс по условиям эксплуатации						
	XO	XC1	XC2, XC3, XC4	XD1, XD2, XD3, XF1, XF2, XF3, XF4	XA1	XA2	XA3
Минимальный размер защитного слоя, мм	20	30	35	50	35	40	50

Нагнетание раствора в каналы с уложенными напрягаемыми арматурными элементами должно надежно контролироваться. С этой целью составляют протокол проводимых операций.

Таблица 5.2

Условия расположения напрягаемой арматуры в сечения

Расположение арматуры (канатов) в сечении	Значения расстояний между стержнями, мм	Способ натяжения арматуры		
		Вид арматуры		
		Проволока	Канаты	Стержни
		На бетон		
		Расположение в каналах		
	$c \geq$	$\varnothing_{к05}$;	$d_g + 5$	$b_k; h_k$
	$c_1 \geq$	$\varnothing_{к05}$;	$d_g + 5$	$b_k; 0,5h_k$
	$c_2 \geq$	$\varnothing_{к04}$;	$d_g + 5$	b_k

Обозначения, принятые в таблице:

d_g – максимальный размер крупного заполнителя;

\varnothing_k – диаметр круглого канала

b_k, h_k – ширина и высота прямоугольного канала.

6. ОГНЕСТОЙКОСТЬ ПРЕДНАПРЯЖЕННОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

На первый взгляд такая постановка вопроса кажется странной, ведь железобетонные конструкции, в противоположность, скажем древесине, не горят. Действительно, высокая огнестойкость — важное преимущество железобетона, выделяющее его среди других строительных материалов. Однако после длительного воздействия огня даже железобетонные колонны или балки не могут уже выполнять своей основной функции — нести нагрузку, быть несущей конструкцией. Дело в том, что и железобетон и арматура, жесткие и прочные в обычных условиях, в большей степени теряют эти свойства при температуре выше 200—300°C. При этом бетон начинает разрушаться, а арматура приобретает значительные пластические деформации.

Особой осторожности требует преднапряженный железобетон. Предварительное напряжение тем и хорошо, что позволяет уменьшить материалоемкость конструкции, сделать сечение железобетонного элемента более «легким», изящным, применить не обычную, а высокопрочную арматуру, но зато в меньшем количестве или более тонкую. Однако легкость и изящество преднапряженного железобетона — свойства ценные в обычных условиях, окажутся отрицательными при пожаре. Ведь тонкие элементы прогреваются насквозь гораздо быстрее, чем массивные.

7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ С МОНОЛИТНЫМ БЕЗРИГЕЛЬНЫМ ПРЕДНАПРЯЖЁННЫМ КАРКАСОМ

Как уже сообщалось, здания, выполненные с использованием преднапряжения, обладают рядом преимуществ (см. раздел 2.1). В данной главе приводятся практические данные, полученные в результате сравнительного анализа проектов выполненных московскими проектными институтами.

Экономической оценке и анализу были подвергнуты следующие конструктивно-технологические схемы возведения монолитных зданий:

проект №1 (тр.) – безригельный каркас без преднапряжения (ОАО «Моспроект»);

проект №2 (тр.) – безригельный каркас без преднапряжения (ЗАО «Курортпроект»);

проект №3 (ин.) – безригельный преднапряжённый каркас со ступенчато-вспарушенным перекрытием с натяжением арматуры на бетон (ГУП «НИИЖБ»);

проект №4 (ин.) – безригельный преднапряжённый каркас натяжением арматуры на бетон (ГУП «НИИЖБ»);

проект №5 (ин.) – безригельный преднапряжённый каркас (ГУП «НИИЖБ»);

проект №6 (тр.) – безригельный каркас без преднапряжения (ГУП «НИИЖБ»);

проект №7 (тр.) – каркас без преднапряжения (ГУП «ПИ– 2»).

В среднем по уровню себестоимости возведение зданий из монолитного железобетона с использованием преднапряжённой арматуры по сравнению с возведением зданий с применением напрягаемой арматуры для пролетов до 7,2 м даёт эффект равный 11,9 у.е. с м² общей площади (рис. 7.1).

Из распределения значений себестоимости заметно, что между наиболее эффективным (3 вариант) и наименее эффективным (7 вариант) проектами в каждом квадратном метре общей площади зданий наблюдается практически двукратная разница (рис. 7.2).

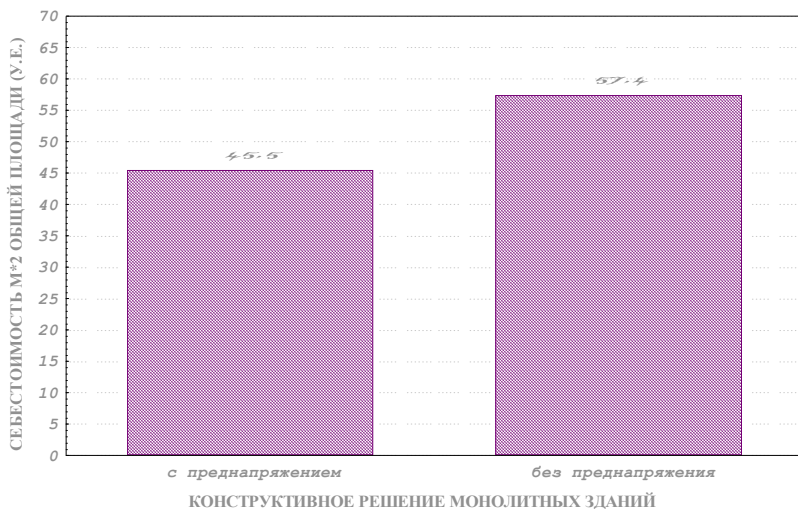


Рис 7.1 Сравнительная гистограмма значений себестоимости строительства зданий из монолитного железобетона с применением (слева) и без применения (справа) преднапряжённой арматуры (значения себестоимости приведены в у.е. из расчёта на м² общей площади).

Ниже приводятся данные сравнения двух других проектов.

Расчёт и анализ произведён исходя из следующих технических характеристик объекта, обеспечивающих сопоставимость сравниваемых вариантов строительства:

1. общая площадь здания – 45000 м²;
2. размер сетки колонн – 7,2×7,2 м;
3. расчётная нагрузка – 1200 кг/м².

Рассматриваются две конструктивно-технологические схемы возведения железобетонного каркаса здания:

1 проект (баз.) – монолитный каркас без преднапряжения (ЗАО «Моспромстрой»):

- расход бетона на м² общей площади каркаса – 0,261 м³;
- расход арматуры на м² общей площади каркаса – 45 кг;
- толщина перекрытия – 250 мм.

2 проект (ин.) – монолитный безригельный преднапряжённый каркас (ГУП «НИИЖБ»):

- расход бетона на м^2 общей площади каркаса – $0,208 \text{ м}^3$;
- расход арматуры на м^2 общей площади каркаса – 18 кг ;
- толщина перекрытия – 200 мм .

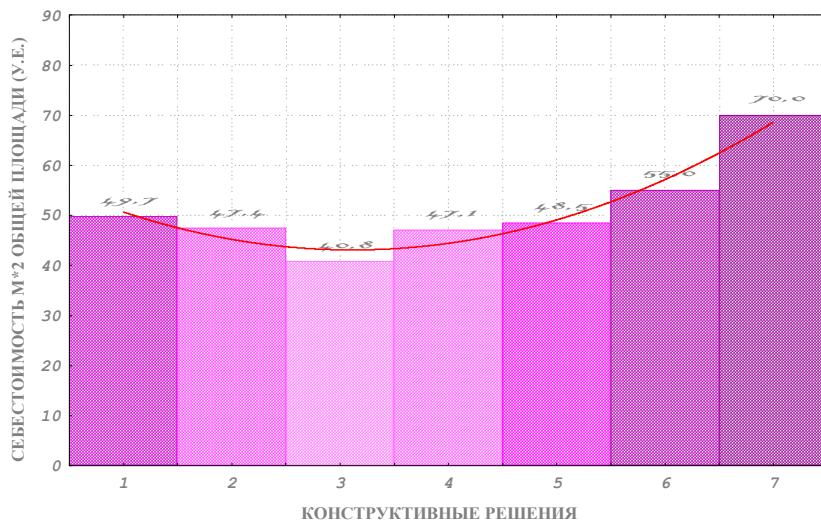


Рис 7.2. Уровень себестоимости монолитного строительства в зависимости от конструктивных решений заложенных в проектных разработках (значения себестоимости приведены в у.е. из расчёта на м^2 общей площади)

С целью оценки уровня экономической эффективности внедрения каждого из исследуемых вариантов строительства, произведён сметный расчёт стоимости возведения каркаса на основании рабочих чертежей объекта.

Полученные результаты сравнительного анализа экономической эффективности строительства по каждому из изучаемых вариантов приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1

**Экономические показатели возведения каркаса здания
(показатели приведены из расчёта на м² общей площади)**

Разработчик	Общая себестоимость	Прямые затраты	Затраты на сырьё и материалы	Затраты на заработную плату	Затраты на эксплуатацию машин и обор.
	руб.	руб.	руб.	руб.	руб.
ЗАО «Моспромстрой»	57 291 750	51 869 524	47 782 303	2 451 146	1 636 076
ГУП «НИИЖБ»	46 517 199	38 069 585	31 412 722	4 003 896	2 652 966

Основные показатели экономического эффекта от внедрения инновационного проекта строительства, предложенного ГУП «НИИЖБ» (проект №2) по отношению к базовому проекту ЗАО «Моспромстрой» (проект №1), приведены в таблице 7.2.

Таблица 7.2

**Экономический эффект от внедрения инновационного проекта
«монолитный безригельный преднапряжённый каркас»
(ГУП «НИИЖБ»)**

Экономические показатели строительства	Сравнительный экономический эффект	
	руб.	%
Общая себестоимость	10 775 000	19

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в виду возросшей доли монолитного строительства в республике, исследование процесса преднапряжения арматуры в условиях строительной площадки является весьма актуальной задачей, позволяющей снизить стоимость нового строительства, а также является эффективным методом усиления при реконструкции зданий и сооружений.

В настоящее время в республике есть опыт по применению самонапрягающих бетонных смесей, однако в этом случае не до конца решен вопрос потерь предварительного напряжения, связанных с реологическими свойствами бетона. Поэтому механический способ натяжения арматуры на бетон является более приемлемым.

Перспективным является направление по применению комбинированного преднапряжения, в котором механический способ натяжения арматуры на бетон сочетается с физико-химическим, позволяющим снизить негативное влияние ползучести и усадки бетона.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

А. Нормативные документы

1. СНБ 5.03.01-02. «Конструкции бетонные и железобетонные». – Мн.: Стройтехнорм, 2002 г. – 140 с.

2. СНИП 2.03.01-84* «Бетонные и железобетонные конструкции». – М.: ЦИИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.

Б. Научно – технические и методические издания

3. Дрозд Я.И., Пастушков Г.П. Предварительно напряженные железобетонные конструкции. – Мн.: Вышэйшая школа, 1984. – 208 с.

4. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. – М.: Стройиздат, 1991. – 770 с.

5. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования: Учеб. Пособие / Н.П. Блещик, Д.Д. Жуков, Д.Н. Лазовский и др.; Под ред. проф. Т.М. Пецольда и проф. В.В. Тура. – Брест: БГТУ, 2003. – 380 с.

6. Леонгардт Ф., Предварительно напряженный железобетон / Пер. с нем. В.Н. Гагарина. – М.: Стройиздат, 1983. – 246 с., – Перевод изд.: Spannbeton / F. Leonhardt. – Springer – Verlag. – 1980.

7. Предварительно напряженный железобетон: (По материалам VI Международного конгресса ФИП) / К.В. Михайлов, Г.И. Бердичевский, В.В. Михайлов, Л.В. Захаров. – М.: Стройиздат, 1973. – 255 с.

8. Предварительно напряженный железобетон: (По материалам Международного конгресса, Лондон, 1978 г.) / Ю.В. Зайцев, В.Г. Крамарь. – М.: Знание, 1980. – 63 с.

9. Предварительно напряженный железобетон: (По материалам IX Международного конгресса ФИП, Прага, 1970 г.) / К.В. Михайлов, Г.И. Бердичевский, Ю.С. Волков и др. – М.: Стройиздат, 1986. – 255 с.

10. Тур В.В. Экспериментально–теоретические основы предварительного напряжения конструкций при применении напрягающего бетона. – Брест: БГТУ, 1998. – 246 с.

11. Потершук В.А., Пецольд Т.М., Пастушков Г.П., Тур В.В. Конструктивная система многоэтажного каркасного здания с плоскими сборно-монолитными перекрытиями.// Перспективы развития новых технологий в строительстве и подбор инженерных кад-

ров республики Беларусь: сб. науч. труд. – Брестский Политехнический Институт, 1997. – С. 111.

12. Кондратчик Н.И., Тур В.В., Кондратчик А.А. Железобетонные конструкции из напрягающего бетона с арматурой, преднапряженной механическим способом. // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подбор инженерных кадров республики Беларусь: сб. науч. труд. – Брестский Политехнический Институт, 1997. – С. 82.

13. Мордич А.И., Вигдорчик Р.И. Современные архитектурно-конструктивные системы многоэтажных гражданских зданий. // Современные конструктивно-технологические системы зданий и строительные материалы. // Сб. трудов. – Мн.: «Редакция журнала «Тыдзень», 1997. – С. 20.

14. Киреева С.В., Румянцев И.А. Влияние возраста бетона в момент загрузки на его ползучесть. – Киев: НИИСП, 1970. – 96 с.

15. Семенов А.И. Предварительно напряженный железобетон с витой проволоочной арматурой. – М.: Стройиздат, 1976. – 208 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Типы трубчатых каналообразователей Металлические гофрированные каналы (DSI, Германия)



Таблица П. 2.1

Геометрические размеры каналов

Тип арматуры		Размеры оболочки	
0.5"	0.6"	I.D.	O.D.
5901	6801/6901	20	25
5902	6802/6902	40	45
5903	6803/6903	50	55
5904	6804/6904	55	60
5905	6805/6905	60	65
5907	6806/6906	65	70
5909	6807/6907	65	70
5912	6809/6909	75	80
5915	6812/6912	80	85
5920	6815/6915	90	95
5927	6819/6919	95	100
5932	6822/6922	100	105
5937	6827/6927	110	118
-	6837/6937	130	138

Пластмассовые гофрированные каналы
(DSI, Германия)



Таблица П. 2.2

Геометрические размеры каналов

Тип сечения	Тип арматуры	Тип арматуры	Диаметр		Толщина стенки
			I.D.	O.D.	
	0.5"	0.6"	mm	mm	mm
круглое	5905-5909	6505-6907	59	73	2
	5912-5915	6909-6912	76	91	2.5
	5919-5927	6915-6919	100	116	3
	5932-5937	6922-6927	130	147	3.5



Таблица П. 2.3

Геометрические размеры каналов

Тип сечения	Тип арматуры	Тип арматуры	a x b	A Ч B	Толщина стенки
			мм	мм	
овальное	5905	6904	72/21	86/35	2

Типы анкеров
 Анкер тип SD
 (DSI, Германия)

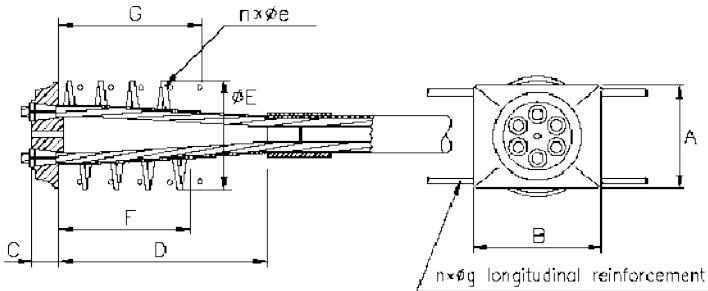


Таблица П. 3.1

Технические характеристики

Тип 0.5" f_{pk} 1860 МПа	Предельная нагрузка Ш 12.9 mm (186 kN per standart), кН	Тип 0.6" f_{pk} 1860 МПа	Предельная нагрузка Ш 15.7 mm (279 kN per standart) кН	A mm	B mm	C mm	D mm
5904	744	6903	837	125	140	41	200
5905	930	6904	1,116	135	160	41	200
5907	1,302	6905	1,395	150	180	40	300
5908	1,488	6906	1,674	165	205	44	270
5909	1,674	6907	1,953	170	215	44	270
-	-	6908	2,232	180	230	48	325
5912	2,232	6909	2,511	190	245	48	325

Плоский анкер тип FA
(DSI, Германия)

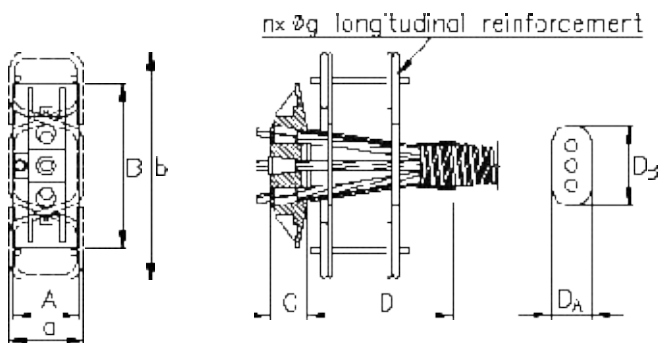
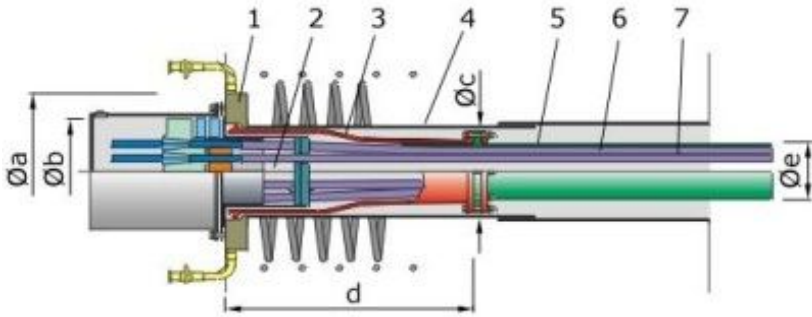


Таблица П. 3.2

Технические характеристики

Тип 0.5"	Пре- дельная нагруз- ка f_{pk} Ш 12.9 mm (186 kN per standart) , кН кН	Тип 0.6"	Пре- дельная нагруз- ка f_{pk} Ш 15.7 mm (279 kN per standart) кН	A	B	C	D	D _A	D _B
				mm	mm	mm	mm	mm	mm
-	-	6803	837	100	255	57	152	152	152
5904	744	6804	1,116	100	330	57	220	220	220

Анкер наружного натяжения тип W
(DSI, Германия)



- 1- анкерная пластина;
- 2- корпус, набитый смазкой;
- 3- переходной канал;
- 4- заглабляемый канал;
- 5- полиэтиленовый (PE) канал;
- 6- проволока с PE покрытием;
- 7- инъекционный раствор.

Таблица П. 3.3

Технические характеристики

Тип W		С проволокой размером 0.6" класса St 1570/1770					
число проволок в сечении			7	9	12	15	19
анкерная пластина	mm	Ш а	245	285	315	355	395
анкерный диск	mm	Ш b	170	190	210	235	250
канал, заделываемый в конструкции	mm	Ш с	130	150	165	186	197
переходной канал	mm	d	280	280	350	450	450
PE канал	mm	Ш e	90	100	110	125	140
минимальное расстояние между центрами анкеров	mm	B25	330	380	430	500	560
		B35	305	355	400	470	525
		B45	280	330	370	430	480
минимальное расстояние до кромки элемента	mm	B25	185	210	235	270	300
		B35	175	200	220	255	285
		B45	160	185	205	235	260

Типы муфтовых соединений
Муфта тип D (DSI, Германия)

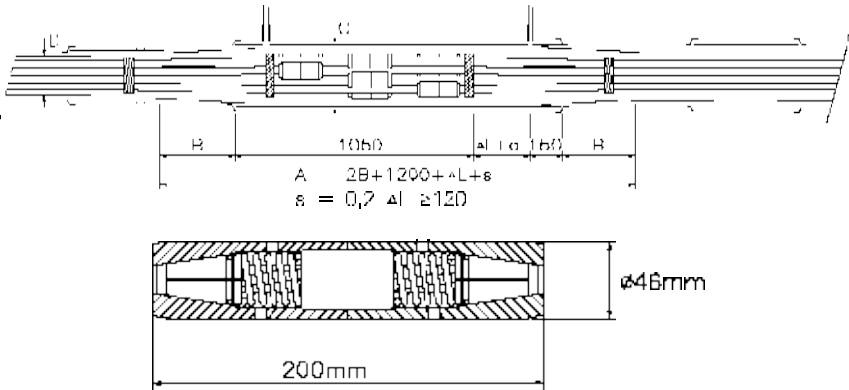


Таблица П. 4.1

Технические характеристики

Тип 0,5"	Предельная нагрузка Ш 12.9 mm (186 kN per standart), кН	Тип 0.6"	Предельная нагрузка Ш 15.7 mm (279 kN per standart) кН	B	C	D
f_{pk}	кН	f_{pk}	кН	mm	mm	mm
1860 МПа		1860 МПа				
5903	558	6803	837	150	100	50
5904	744	6804	1,116	200	110	55
5905	930	6805	1,395	250	120	60
5907	1,302	6807	1,953	250	125	65
5909	1,674	6809	2,511	300	140	75
5912	2,232	6812	3,348	350	160	80
5915	2,790	6815	4,185	350	180	90
5920	3,720	6819	5,301	400	200	95
5922	4,092	6822	6,138	400	220	100
5927	5,022	6827	7,533	400	240	110

Муфта тип R (DSI, Германия)

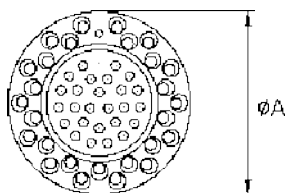
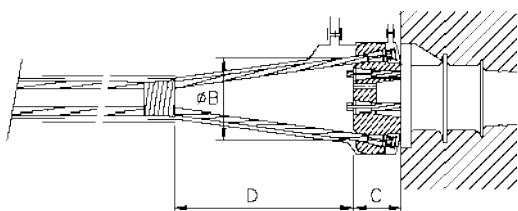


Таблица П. 4.2

Технические характеристики

Тип 0.5"	Пре- дель- ная на- грузка Ш 12.9 mm (186 kN per standar t), кН кN	A	B	C	D	Тип 0.6"	Пре- дель- ная на- грузка Ш 15.7 mm (279 kN per standar t), кН кN	A	B	C	D
1860 МПа		mm	mm	mm	mm	1860 МПа		mm	mm	mm	mm
5909	1,674	226	140	105	300	6805	1,395	207	140	110	330
5912	2,232	226	150	105	350	6807	1,953	207	140	110	330
5915	2,790	248	165	150	450	6809	2,511	226	150	105	350
5920	3,720	266	190	110	450	6812	3,348	248	165	105	450
5927	5,022	320	250	120	650	6815	4,185	266	190	110	450
5932	5,952	340	275	125	620	6819	5,301	289	205	120	580
5937	7,533	380	300	135	650	6822	6,138	340	275	125	620
						6827	7,533	380	300	135	650

Муфта тип М/МЕ с плавающим анкерным блоком (DSI, Германия)

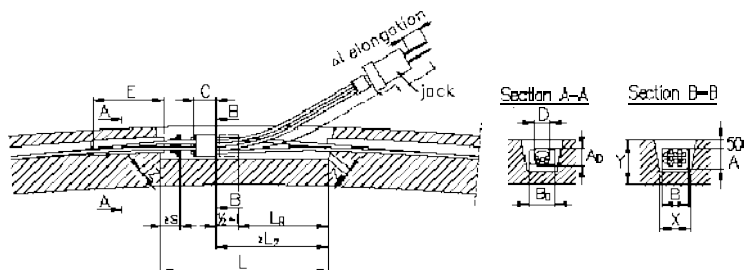
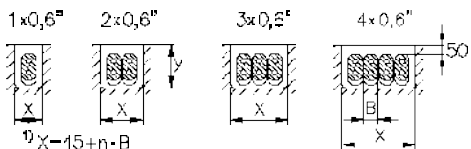
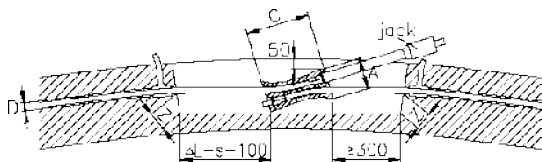


Таблица П. 4.3

Технические характеристики

Тип 0.6"	Предельная нагрузка Ш 15.7 mm (265 kN per standart), кН кН	Предельная нагрузка Ш 15.7 mm (279 kN per standart) кН	A	B	C	D	A _D	B _D	E
f_{pk}			mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1860 МПа									
6901	265	279	98	55	200	20	-	-	-
6902	530	558	90	105	120	45	60	70	200
6904	1,060	1,116	130	160	120	55	60	130	650
6906	1,590	1,674	130	160	120	65	70	130	650
6908	2,120	2,232	130	210	120	75	70	170	1,050
6910	2,650	2,790	168	210	120	80	100	170	1,150
6912	3,180	3,348	168	210	120	80			

**Типы гидравлических домкратов
(DSI, Германия)**



Tensa SM200

HoZ 950/1700

HoZ 3000/4000

HoZ 6800

Табл. П.5.1

Технические характеристики домкратов

тип домкрата	длина L	диаметр D	ход поршня	площадь поршня	усилие ¹⁾	вес
	[mm]	[mm]	[mm]	[cm ²]	[kN]	[kg]
SM 200	842	98	200	47.13	198	19
HoZ 950/100	621	203	100	161.98	972	65
HoZ 1700/150	803	280	150	298.45	1,745	160
HoZ 3000/250	1,137	385	250	508.94	3,054	400
HoZ 4000/250	1,271	482	250	894.57	4,204	600
6800	1,150	560	300	1,237.01	6,803	1,185
9750	1,170	680	300	1772.45	9,748	1,770
15000	1,640	980	500	2695.29	15,000	5,500

¹⁾ без трения

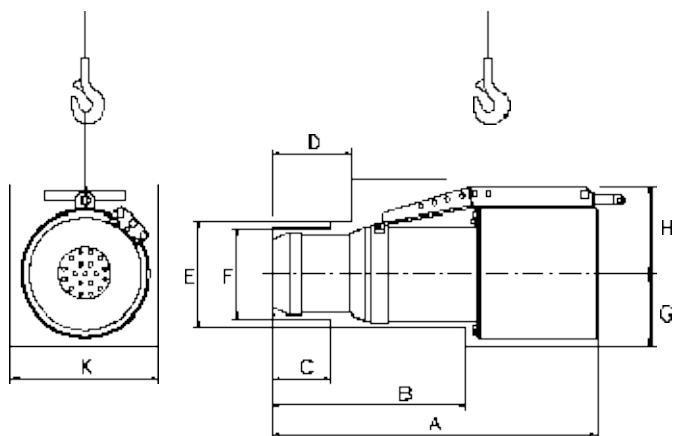


Табл. П.5.2

Геометрические характеристики

тип домкрата	A	B	C	D	E	F	G	H	K	L
SM 200	880 ¹⁾	370	-	80	100	75	50	120	100	230/270
HoZ 950/100	621	350	150	-	220	200	130	190	260	300/400
HoZ 1700/150	803	490	180	-	270	230	170	220	340	450/600
HoZ 3000/250	1,130	650	220	300	360	320	220	310	440	350/600
HoZ 4000/250	1,235	740	220	300	420	360	270	320	540	450/800
6800	1,421	-	80	-	-	330	310	410	620	-/1200
9750	1,470	-	120	-	-	380	390	550	740	-/1,200

¹⁾ включая ход поршня.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. Основные понятия.....	6
2. Предварительно напряженные железобетонные конструкции ..	9
2.1. Идея предварительного напряжения.....	9
2.2. Способы создания предварительного напряжения.....	11
3. Материалы.....	14
3.1. Требования, предъявляемые к бетону.....	14
3.2. Арматурные изделия и анкеры напряженной арматуры ..	15
3.3. Стыки и соединения напрягаемых арматурных элементов	18
3.4. Трубочатые каналообразователи.....	19
3.5. Требования, предъявляемые к инъекционным растворам	21
3.6. Гидравлические домкраты для предварительного напряжения арматуры.....	22
4. Технология натяжения арматуры на бетон конструкции.....	24
4.1. Подготовительные работы.....	24
4.2. Очередность проведения отдельных операций.....	24
4.3. Последовательность создания преднапряжения.....	25
4.4. Процесс предварительного напряжения	26
4.5. Неравномерность перемещений напрягаемой арматуры..	27
4.6. Виды потерь предварительного напряжения	28
4.7. Натяжение арматуры на бетон конструкции с последующим инъецированием канала цементным раствором	30
5. Коррозия напрягаемой арматуры.....	32
5.1. Рекомендации по обеспечению стойкости против коррозии	33
6. Огнестойкость преднапряженного железобетона	36
7. Экономическая эффективность зданий с монолитным безригельным напряженным каркасом.....	37
Заключение.....	41
Список использованной литературы	42
Приложения.....	44

Учебное издание
Латыш Владимир Вячеславович
Леонович Сергей Николаевич

ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ
МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В
ПОСТРОЕЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Учебное пособие для студентов специальности
1 70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»

Подписано в печать
Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.
Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 100. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ № 02330/0131627 от 01.04.2004.
220013, Минск, проспект Независимости, 65.