

УДК 624.012

Предварительно напряженный железобетон: состояние и перспективы применения

Таймасов А.Н.

(Научный руководитель – Коледа С.М.)

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Основной строительный материал XX века, железобетон, во всем мире заслуженно пользуется вниманием ученых отрасли. Создав искусственный камень - бетон, свойства которого можно регулировать по своему усмотрению, ученые нашли и способ борьбы с его основным недостатком - низкой прочностью при растяжении. При металлической арматуре бетон хоть и не разрушается при растяжении, но трескается. Это отрицательно сказывается на эксплуатационных свойствах железобетонных конструкций и сооружений. Создание на стадии изготовления или строительства напряженного состояния в конструкции, когда знак напряжения в бетоне противоположен знаку напряжения от эксплуатационной нагрузки, является одним из крупнейших достижений инженерной мысли в XX столетии.

У истоков этой концепции стояли Эжен Фрейссине (Франция) и Виктор Васильевич Михайлов (Россия).

Некоторые виды предварительного напряжения по разным соображениям до сих пор находятся под сомнением. Например, в Германии запрещена сегментная сборка железобетонных мостов с помощью натяжения арматуры, и только совсем недавно было разрешено применять в мостовых конструкциях напрягаемую арматуру, расположенную вне сечения.

В большинстве развитых зарубежных стран из сборного предварительно-напряженного железобетона во все возрастающих объемах изготавливают конструкции перекрытий и покрытий зданий различного назначения, значительную часть изделий, используемых в инженерных сооружениях и в транспортном строительстве; появились производства элементов наружного архитектурного оформления зданий.

В структуре сборных конструкций в США из общего объема производства сборных железобетонных изделий в 26 млн. м³ пред-

напряженные конструкции составляют 40 %. Четверть из них - плиты Т и 2Т. Плиты "на пролет" широко производятся также в Великобритании, Германии, Венгрии, Польше и в других странах. Значительная часть стропильных и подстропильных балок, ферм, ригелей, стеновых панелей изготавливают также предварительно-напряженными с применением высокопрочной проволочной и стержневой арматуры и бетонов с прочностью до 70 МПа.

В Германии и в Японии из монолитного преднапряженного железобетона широко строятся резервуары яйцевидной формы для очистных сооружений. К настоящему времени такие резервуары возведены суммарной емкостью более 1,2 млн. м³. Отдельные сооружения этого типа имеют емкость от 1 до 12 тыс. м³.

За рубежом все более широкое применение находят монолитные перекрытия увеличенного пролета с натяжением арматуры на бетон. Только в США таких конструкций ежегодно возводится более 10 млн м³. Значительный объем таких перекрытий сооружается в Канаде.

В последнее время напрягаемая арматура в монолитных конструкциях все чаще применяется без сцепления с бетоном, т.е. не производится инъецирование каналов, а арматуру от коррозии или защищают специальными защитными оболочками, или обрабатывают антикоррозионными составами. Такая технология используется при строительстве мостов, большепролетных перекрытий, высотных сооружений и других подобных объектов.

Помимо традиционных строительных целей монолитный предварительно-напряженный железобетон нашел широкое применение для корпусов реакторов и защитных оболочек атомных электростанций. Суммарная мощность АЭС в мире превышает 150 млн кВт, из них мощность станций, корпуса реакторов и защитные оболочки которых построены из монолитного преднапряженного железобетона, составляет почти 40 млн кВт. Защитные оболочки для реакторов АЭС стали обязательными. Именно отсутствие такой оболочки явилось причиной чернобыльской катастрофы.

Ярким примером строительных возможностей преднапряженного железобетона являются морские платформы для добычи нефти. В мире таких грандиозных сооружений возведено более двух десятков.

Традиционно обширной областью применения предварительно напряженного железобетона является мостостроение. В США, например, сооружено более 500 тысяч железобетонных мостов с различными пролетами. За последнее время там построено более двух десятков вантовых мостов длиной 600-700 м с центральными пролетами от 192 до 400 м. Из предварительно-напряженного железобетона сооружаются мосты, которые строятся по индивидуальным проектам. Мосты пролетом до 50 м возводятся в сборном варианте из железобетонных преднапряженных балок.

Возможности повышения эффективности сборных железобетонных конструкций можно показать на примере плит перекрытий. В России на долю этих изделий приходится более трети общего производства сборных элементов. За рубежом значительное распространение имеет безопалубочное формование плитных конструкций на длинных стендах. Там обычной практикой является производство плит пролетом до 17 м, высотой сечения 40 см под нагрузку до 500 кгс/м². В Финляндии железобетонные многопустотные плиты под такую же нагрузку выпускаются высотой сечения 50 см с пролетом до 21 м, то есть применение предварительного напряжения позволяет выпускать сборные элементы качественно иного уровня. Натяжение канатной арматуры на таких стендах, как правило, групповое при мощности домкратов 300-600 т. Сегодня разработаны различные системы без-опалубочного формования на длинных стендах "Спайрол", "Спэнкрит", "Спандек", "Макс Рот", "Партек" и других, отличающиеся высокой производительностью, применяемой арматурой, технологическими требованиями к бетону, формой поперечного сечения панелей и другими параметрами. На стендах длиной до 250 м изготавливают плиту со скоростью до 4 м/мин, по высоте в пакете можно бетонировать 6 плит. Ширина плит достигает 2,4 м, при максимальном пролете 21 м. Только плит "Спэнкрит" применяют в США более 15 млн. м² ежегодно.

В свое время длинные стенды для безопалубочного формования по технологии "Макс Рот" появились и в России. Однако эта технология не получила дальнейшего распространения. В широко используемых у нас конструктивных системах зданий соединение элементов осуществляется через закладные детали. В плитах, изготавливаемых на длинных стендах, как правило, методом экструзии, возможности размещения закладных деталей ограничены. Однако

для сборно-монолитных зданий плиты без закладных деталей могут найти самое широкое распространение, что и имеет место за рубежом, особенно в Скандинавских странах и в США.

Весьма эффективным для заводской технологии может быть применение арматурно-намоточных агрегатов с предварительным напряжением, разработанных в НИИЖБ.

Есть три основных типа арматурно-намоточных агрегатов:

- стационарный арматурно-намоточный автомат, предназначенный для работы в составе агрегатно-поточной линии;
- арматурно-намоточный агрегат с вращающейся платформой для навивки арматуры на объемные, криволинейные или круглые элементы емкостей, тоннелей, водоводов и др. сооружений;
- арматурно-намоточный комплекс в составе стенда длиной до 72 м, самоходной арматурно-намоточной машины, машин для обрезки арматуры, для укрывания изделий при ТВО и для чистки стенда после снятия с него изделия. Этот комплекс позволяет изготавливать практически любые необъемные изделия с двухосным напряженным или ненапряженным армированием, в том числе формы с напряженным армированием всех элементов решетки и обоих поясов.

Важное значение имеет расширение области применения предварительного напряжения. Например, его можно широко и эффективно использовать в гражданском и жилищном строительстве.

Несущий каркас такого здания представляет собой стержневую систему, выполняемую в монолите или из отдельных элементов, с натяжением арматуры непосредственно в процессе строительства. Рассчитанный с использованием новейших методов, учитывающих геометрическую и физическую нелинейность, такой каркас на 20-40% легче, чем традиционные. Перекрытия и внутренние стены здания сооружаются путем заполнения соответствующих частей каркаса монолитным легким бетоном с необходимыми физико-механическими и эксплуатационными свойствами. В перекрытиях используется поробетон с объемной массой 1000-1200 кг/м³. Для внутренних стен применяется поробетон с объемной массой 450-550 кг/м³. Поробетон с объемной массой до 200 кг/м³ используется в качестве монолитного утеплителя наружных стен. При этом внутренний и наружный слой таких стен могут быть из любых матери-

лов, соответствующих архитектурным, эксплуатационным и другим требованиям.

При сооружении зданий по предлагаемой технологии используются новые приемы возведения преднапряженного каркаса, а все работы по приготовлению и укладке монолитного поробетона выполняются одним агрегатом, что позволяет снизить суммарные трудозатраты на строительство более чем в два раза. Собственный вес здания снижается в 2-2,5 раза, и почти вдвое снижается его себестоимость. Таким образом, вместо одного обычного здания получаются два в безригельном исполнении, с увеличенными пролетами и с широкими возможностями для планировки. Кроме прочего, такие здания обладают высокой сейсмостойкостью, надежностью и долговечностью, а после истечения срока службы могут быть легко разобраны, чего не скажешь о зданиях со сварными соединениями в каркасе.

На базе этой технологии может быть сделан существенный шаг вперед в области высотного строительства, где основная проблема связана с тем, что верхние этажи чрезвычайно нагружают нижние. В предлагаемом варианте этажность здания может быть увеличена вдвое без повышения нагрузки на нижний этаж и основание.

Зарубежный опыт показывает высокую эффективность применения предварительного напряжения в монолитных плитных фундаментах большой протяженности, в монолитных безбалочных перекрытиях, в опорных устройствах и постаментах под тяжелое оборудование, в несущих монолитных конструкциях подземных сооружений, в том числе многоэтажных. Имеются интересные примеры предварительного напряжения при реставрации памятников старины.

Исключительно плодотворной является идея двух- и трехосного напряжения конструкций. Обширные исследования в этой области были проведены профессором В.В. Михайловым и его учениками. В.В. Михайлов разработал даже проект башни высотой 2 км, смонтированной из трехосно предварительно-напряженных элементов заводского изготовления. Расчетные сопротивления сжатию в стойках башни составляли 150 МПа. Между тем, эти конструкции, имеющие спиральную преднапряженную арматуру, запроектированы из бетона с прочностью всего 60 МПа. При реальных их испытаниях напряжения в элементе достигали 300 МПа с сохранением ли-

нейной связи между напряжениями и деформациями до напряжений в 150 МПа.

На практике эта идея была реализована в объемно-напряженных архитравах гидравлических прессов. В них бетон работал упруго при напряжениях, втрое превышающих его кубиковую прочность.

Иными словами, предварительное напряжение в трех направлениях позволяет создавать качественно иной железобетон. Причем повышение несущей способности материала достигается конструктивными, а не технологическими приемами.

Поступательному развитию производства преднапряженного железобетона способствует дальнейшее улучшение прочностных и технологических свойств применяемых материалов. Конец XX века ознаменовался разработкой особо прочных бетонов и неметаллической арматуры на основе углепластиков, открывающих новые возможности совершенствования конструктивно-технологических решений зданий и сооружений и методов предварительного напряжения. Этому также должно способствовать расширение исследований новых материалов высоких технологий, разработка конструктивных и проектных решений принципиально нового уровня.

В производстве конструкций для зданий различного назначения целесообразно существенно увеличить долю механического натяжения арматуры, расширить выпуск непрерывно армированных и самонапряженных конструкций, увеличить применение зданий с натяжением арматуры в построечных условиях.

Имеет смысл большее внимание уделить разработке различных предсамонапряженных железобетонных конструкций, в которых комплексно используются механическое натяжение высокопрочной арматуры и преимущества напрягающего бетона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байков - Железобетонные конструкции. Общий курс, Москва, 1984г.;
2. Михайлов В. В., Предварительно напряженные железобетонные конструкции, Москва, 1963г.