

## **Преимущества и особенности применения технологии пост-напряжения железобетонных конструкций**

*Денисенко И.В.*

Научный руководитель – м.т.н., ст.преп. Сидорова А. И.  
Белорусский национальный технический университет

Пост-напряжение становится все более популярным в мире за последние 30 лет из-за совершенствования технологии. В свое время возникали проблемы с коррозией канатов, особенно при строительстве паркингов, где использовалась защита от обледенения соледержащими добавками. Но улучшение материалов и методов строительства устранили большинство проблем. Пост-напряжение – это способ предварительного напряжения с натяжением на бетон в построечных условиях, который заключается в том, что напрягаемая арматура натягивается механическим способом после бетонирования и набора бетоном достаточной прочности. Преднапряженные стальные канаты внутри пластиковых труб размещаются в опалубке до укладки бетона. После этого, как только бетон наберет прочность, но до приложения постоянных нагрузок, стальные канаты натягиваются и закрепляются на внешних краях бетона (рисунок 1).



Рисунок 1. Применение технологии пост-напряжения [3]

Предварительное напряжение означает, что сталь находится под напряжением до того, как бетон будет испытывать постоянные нагрузки. Пост-напряженный железобетон, который является формой предварительно напряженного, имеет ряд преимуществ:

- уменьшается или устраняется появление трещин при усадке, поэтому требуется устраивать меньше рабочих швов;
- трещины, которые возникают, не увеличиваются;
- позволяет уменьшить толщину плит и других конструктивных элементов, а, следовательно, сокращается расход бетона и стали;
- позволяет делать более широкие пролёты, что обеспечивает более свободную планировку здания;
- позволяет увеличить высотность здания;
- позволяет устраивать плиты на лёссовидных (глинистых) грунтах;
- позволяет снизить суммарные затраты труда на строительство.

В результате напрягаемые канаты лучше воспринимают нагрузки, которые оказывают на нее внешние силы в течение всего срока службы здания. А надежность и долговечность здания с применением технологии пост-напряжения повышается по сравнению с применением традиционных решений.

Область применения технологии пост-натяжения обширна, но в нашей стране ее применение сдерживает отсутствие опыта у проектировщиков и строителей. В статье в журнале «Structure magazine» Джерард Фельдман отметил, что «Большинство инженеров получили только беглый обзор технологии пост-напряжения во время учебы... Это незнание ведет к использованию стандартных решений при проектировании железобетонных конструкций» [4]. Эти слова можно отнести и к ситуации в нашей стране.

Некоторые из наиболее распространенных возможностей применения пост-напряжения:

- Плитные фундаменты: сегодня технология пост-напряжения широко используется для плит на грунте, где грунт может дать значительную усадку [3].
- Теннисные корты и другие спортивные сооружения (рисунок 2).
- Внешнее пост-натяжение для усиления существующих конструкций, особенно в зонах с сейсмическими воздействиями (рисунок 3).
- При проектировании мостов используется технология пост-напряжения как в скользящей опалубке, так и в сборной опалубке. Пост-напряжение позволяет увеличить пролеты и повышает трещиностойкость.
- Бетонные резервуары для воды часто выполняются с применением пост-напряжения, чтобы повысить трещиностойкость и предотвра-

тить протечку. Компании Crom, DYK, Natgun и Preload (США) делают предварительно напряженные бетонные резервуары.

- Кирпичные стены могут быть подвергнуты пост-напряжению – это обычно делается с помощью сплошного стального стержня, закрепленного в фундаменте, и подвергнутого растяжению с помощью затяжки-гайки на стене.



Рисунок 2. Поле для гольфа зеленого цвета – фактически пост-напряженная железобетонная консольная плита производства фирмы Suncoast Post-Tension, США



Рисунок 3. Применение технологии внешнего пост-напряжения для усиления железобетонного элемента [3]

Отметим, что наиболее совершенной является система пост-напряжения без сцепления арматуры с бетоном, использующая пряди в оболочке из ПЭВП со смазкой [1]. Устройство пост-напряженных плит на строительной площадке схожа с технологией устройства монолитных плит, за исключением натяжения арматуры с определенным шагом. Кабели располагаются, как указано в проекте, и проходят через центр плиты. К примеру, для жилого строительства распространены канаты на расстоянии 120см от центра. Для промышленных зданий расположение канатов будет более частое, что определяется расчетом. Канаты могут быть легко проложены вокруг отверстий, как показано на рисунке 4.



Рисунок 4. Расположение пост-напряженных канатов при устройстве отверстий [3]

Рассмотрим обычную пост-напряженную железобетонную плиту перекрытия толщиной 200мм и использует бетон класса С12/15. Как только бетон набрал прочность до  $14\text{Н/мм}^2$ , обычно в течение 3-10 дней, рекомендованных РТИ, канаты подвергаются растяжению.



Рисунок 5. Домкрат для натяжения каната

Канаты состоят из семи высокопрочных стальных проволок, обмотанных вместе и расположенных внутри пластикового каналобразователя (рисунок 6).



Рисунок 6. Гофрированный пластиковый каналобразователь

На каждом конце размещен анкер, который расположен в отверстиях на краю плиты. Когда канаты напряжены, проволоки будут растяги-

ваться – около 10см для 15-метровой проволоки – при приложении растягивающих усилий в 230кН. Натяжение могут делать только квалифицированные специалисты. После напряжения лишние части канатов отрезаются, и отверстие, в котором расположены анкеры заполняются раствором, чтобы защитить их от коррозии.



Рисунок 7. Выпуски арматурных канатов после натяжения. Канаты натягивают с усилием 230кН, что приводит к удлинению 20см в кабеле длиной 30,5м [6]

Более крупные конструкционные железобетонные элементы также могут быть подвергнуты пост-напряжению, например, мосты, плитные фундаменты, большепролетные ригели в паркингах и промышленных помещениях. Этот процесс очень похож на тот, который используется для плит, за исключением большего масштаба. Одно интересное отличие состоит в том, что канаты часто располагаются снизу в середине балки и высоко на опорах – это соответствует эпоуре напряжений.

Следует помнить, что пост-напряженные конструкции нельзя резать или сверлить, так как напряженные канаты очень сложно восстановить.

Экономический эффект применения технологии пост-напряжения наглядно показан на диаграмме по данным ООО «Следящие Тест-Системы», РФ.



Рисунок 8. Эффект от применения технологии пост-напряжения арматуры по данным ООО «Следящие Тест-Системы» [7]

Исследуя зарубежный опыт строительства зданий по технологии пост-напряжения, можно сделать выводы, что эта технология имеет много преимуществ по сравнению с технологией возведения железобетонного каркаса без предварительного напряжения, а именно можно значительно сократить объем бетонной смеси и армирующей стали, что приведет к снижению общей высоты здания и уменьшению нагрузки на фундамент. Использование пост-напряжения позволяет увеличить пролеты и эффективно использовать внутренний объем помещения, а также позволяет делать консоли с большим вылетом. Превосходная структурная целостность конструкций приводит к отсутствию трещин или их пониженному образованию, что повышает стойкость пост-напряженных конструкций к воздействию агрессивных сред.

По сравнению со строительством зданий из металлоконструкций, монолитных железобетонных конструкций без преднапряжения и сборных конструкций, использование пост-напряжения позволяет сократить сроки устройства фундаментов, из-за уменьшения их разме-

ров, а также сократить сроки возведения всего здания, из-за уменьшения сроков распалубливания пост-напряженных перекрытий.

Что касается технического контроля при эксплуатации здания, то технология пост-напряжения позволяет проверять и корректировать усилия в арматурных канатах при необходимости.

#### Литература

1. Технология предварительного напряжения монолитных железобетонных конструкций в построечных условиях: учебное пособие для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» / В.В. Латыш, С.Н. Леонович. – Минск : БНТУ, 2006 – 56 с.
2. Дрозд, Я.И. Предварительно напряженные железобетонные конструкции / Я.И. Дрозд, Г.П. Пастушков. – Минск : Выш. шк., 1984. – 208 с.
3. ConcreteNetwork.com [Электронный Ресурс] / ConcreteNetwork.com, США, 1999-2017 – Режим доступа: <https://www.concretenetwork.com/post-tension/advantages.html>, свободный (дата обращения: 12.09.2017)
4. STRUCTURE® magazine [Электронный Ресурс] / STRUCTURE magazine, США, 2017 – Режим доступа: [http://www.structuremag.org/?author\\_name=gerardfeldmann](http://www.structuremag.org/?author_name=gerardfeldmann), свободный (дата обращения: 12.09.2017)
5. Suncoast Post-Tension [Электронный Ресурс] / Suncoast Post-Tension, Хьюстон, Техас, США, 2017 – Режим доступа: <https://suncoast-pt.com>, свободный (дата обращения: 15.09.2017)
6. Avalon Structural [Электронный Ресурс] / Avalon Structural, Inc. Калифорния, США, 2015 – Режим доступа: [www.avalonstructural.com](http://www.avalonstructural.com), свободный (дата обращения: 18.09.2017)
7. Следящие Тест-Системы [Электронный Ресурс] / ООО «Следящие Тест-Системы» - Москва, 2008 – Режим доступа: <http://www.sts-hydro.ru/technologies/posttensioning>, свободный (дата обращения: 15.09.2017).