

А.Л. Шагин, д.т.н., профессор, К.В. Спиранде, к.т.н., профессор, В.В. Виноградов, магистр
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

САМОРЕГУЛИРУЮЩИЕСЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ СО ШПРЕНГЕЛЬНЫМ ПОДКРЕПЛЕНИЕМ

Рассмотрены предварительно напряженные железобетонные и трубобетонные конструкции со шпренгельным подкреплением.

Ключевые слова: предварительное напряжение, шпренгельное подкрепление, трубобетонные конструкции.

Введение. Современные тенденции развития строительной отрасли требуют создания эффективных конструкций, обладающих высокими показателями прочности и жесткости. К их числу можно отнести предварительно напряженные железобетонные и сталежелезобетонные элементы. Совершенствование их решения позволяет улучшить эксплуатационные показатели таких конструкций.

Анализ последних исследований и публикаций. Научной и конструкторско-технологической основой применения предварительно напряженных конструкций в строительстве являются исследования Г.И. Бердичевского, А.А. Гвоздева, А.Б. Гольшева, Ф. Леонгардта, Э.Г. Ратца, Э. Фрейсине, В.В. Михайлова [1] и др. В их работах предложены и исследованы эффективные способы предварительного напряжения железобетонных конструкций.

Предварительное обжатие бетонного ядра применяют также для обеспечения совместной работы на всех стадиях нагружения в трубобетонных конструкциях, выполняемое различными способами: прессованием бетона вертикальным давлением, центрифугированием, использованием напряженного бетона на расширяющемся вяжущем [2].

Из многочисленных модификаций существующих способов обжатия перспективным представляется направление, впервые предложенное Вильсоном в 1916 г. и основанное на предварительном напряжении путем поперечного оттягивания арматуры. Развитию данного направления посвящены исследования и разработки Ф. Дишингера, Н.И. Климова, В.Г. Крамаря, Ф. Леонгардта, В.В. Михайлова, А.Л. Шагина и др.

Предварительное напряжение, как правило, не повышает прочность конструкций и направлено на достижение их соответствия требованиям второй группы предельных состояний.

Выделение не решенной ранее части общей проблемы. Возникает необходимость создания способа предварительного напряжения, в особенности для трубобетонных элементов, который бы способствовал повышению несущей способности элемента за счет трансформации его напряженного состояния, а также дающего возможность управлять уровнем обжатия в зависимости от действующей нагрузки.

Постановка задачи. Проведенный анализ существующих исследований показывает, что одним из наиболее эффективных методов предварительного напряжения конструкций является способ локального предварительного напряжения [3], позволяющий выполнять предварительное напряжение в построечных условиях как для сборных и монолитных железобетонных изгибаемых элементов, так и для сталежелезобетонных конструкций.

Данный способ был положен в основу конструктивного решения шпренгельной саморегулирующейся системы. Он позволяет создать изгибаемые элементы, усилия предварительного обжатия в которых зависят от уровня действующей нагрузки.

Основной материал и результаты. Предлагаемые конструкции состоят из балочных частей и шпренгельных подкреплений, зафиксированных в концах балок. Предварительное напряжение балочных частей создается оттягиванием закрепленных по концам двух стержней из арматуры класса А500С и выше. Положение арматуры после оттяги-

вания фиксируется упором (рис. 1). Вследствие указанного происходит натяжение двух стержней шпренгеля и предварительное обжатие балочной части. Проектное положение стержней шпренгеля фиксируется упорами из отрезков труб либо арматурных стержней. Величина их диаметров определяется требуемым значением стрелки оттягивания f_{sp} .

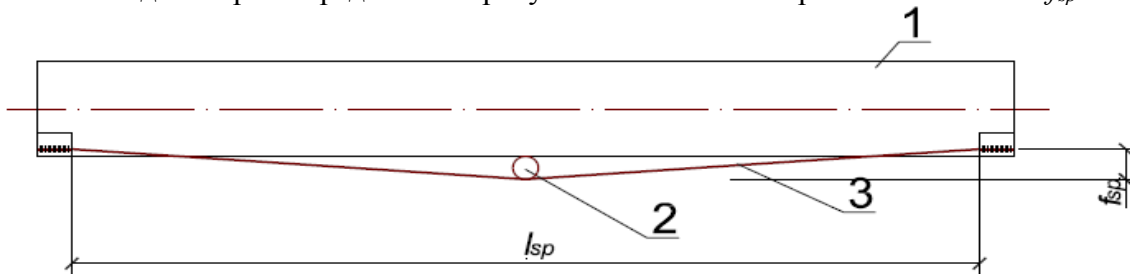


Рисунок 1 – Локально предварительно напряженная железобетонная балка:
1 – железобетонная балка; 2 – упор; 3 – предварительно напряженная арматура

Оттягивание двух параллельно расположенных стержней производится с помощью ручного винтового домкрата (рис. 2). После достижения необходимой величины стрелки оттягивания между балочной частью и арматурами вставляется упор (рис. 2). Удаление домкрата приводит к образованию конструкции со шпренгельным подкреплением, создающим предварительное напряжение балочной части конструкции силой H_{sp} (рис. 3).

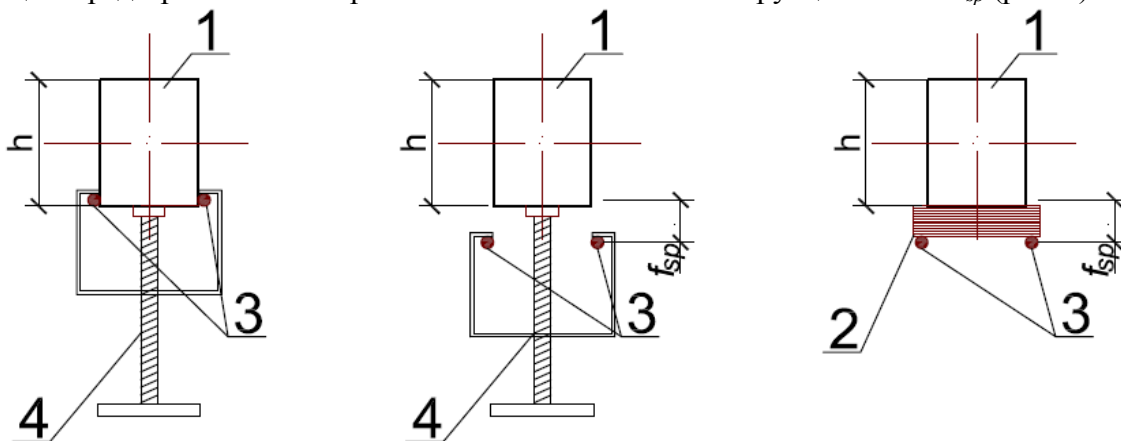


Рисунок 2 – Оттягивание напрягаемой арматуры:
1 – железобетонная балка; 2 – упор; 3 – предварительно напряженная арматура;
4 – ручной винтовой домкрат

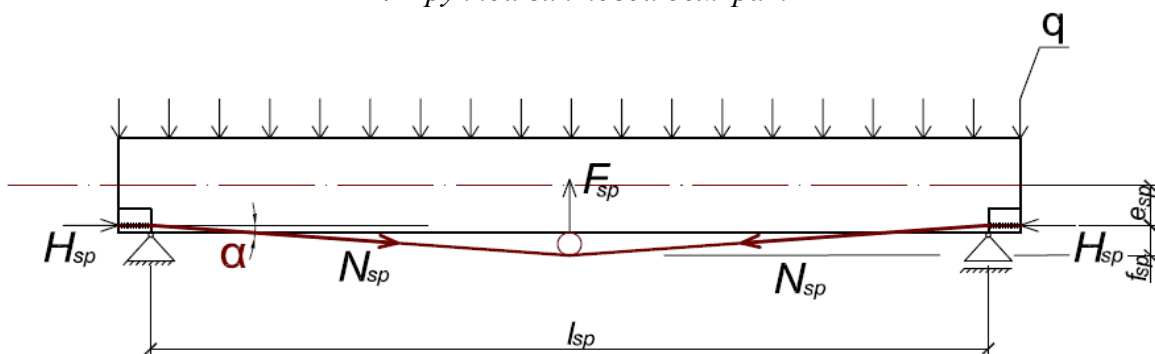


Рисунок 3 – Схема воздействий на локально обжатую железобетонную балку

При приложении поперечной нагрузки балочная часть начинает работать на изгиб, однако через упор увеличивает натяжение арматурных стержней N_{sp} и соответственно рост усилия обжатия H_{sp} . Происходит саморегуляция – трансформация изгиба во внецентренное сжатие. При этом эффект тем больше, чем больше эксцентриситет e_{sp} приложения силы H_{sp} , так как возникающий изгибающий момент

$$M_{sp} = H_{sp} \cdot e_{sp}, \quad (1)$$

который направлен в сторону, противоположную действию момента, вызываемому внешней поперечной нагрузкой q . Величина e_{sp} зависит от конструкции узла крепления арматурных стержней шпренгеля к балочной части.

В сборном варианте предварительное напряжение конструкции осуществляется в ненагруженном состоянии, вследствие чего появляется опасность образования трещин в районе будущей сжатой зоны. Данное обстоятельство является определяющим величины e_{sp} и H_{sp} . Кроме того, на эффективность конструкции существенное влияние оказывает количество и расположение мест установки упоров.

Технология установки достаточно простая: после оттягивания арматуры до получения величины стрелки f_{sp} в середине длины l либо в других точках под арматурные стержни подводятся упоры в местах, определяемых расчетом. Указанное позволит получить рациональную конструкцию стабильность работы, которой обеспечивается саморегуляцией. Разработан аппарат, позволяющий определить параметры обжатия. Оттягивание производится силой F_{sp} , приложенной в середине длины участка обжатия l_{sp} , величина которой определяется по зависимости

$$F_{sp} = 2 \cdot N_{sp} \cdot \sin \alpha = 2 \cdot k \cdot R_{sp} \cdot A_{sp} \cdot \sin \alpha, \quad (2)$$

где k – уровень предварительного напряжения, R_{sp} – предел прочности напрягаемой арматуры, A_{sp} – площадь поперечного сечения предварительно напрягаемой арматуры, α – угол наклона оттянутого стержня к оси балки.

$$\sin \alpha = \frac{\sqrt{2\varepsilon_{sp}}}{1 + \varepsilon_{sp}}, \quad (3)$$

где ε_{sp} – деформации предварительно напряженной арматуры.

Усилие в предварительно напряженной арматуре

$$N_{sp} = \frac{F_{sp}}{2 \sin \alpha}, \quad (4)$$

где F_{sp} – сила оттягивания.

Величина стрелки оттягивания в середине длины участка обжатия l_{sp}

$$f_{sp} = l_{sp} \sqrt{\frac{\varepsilon_{sp}}{2}}, \quad (5)$$

где l_{sp} – длины участка обжатия.

Усилие обжатия

$$H_{sp} = N_{sp} \cdot \cos \alpha = \frac{F_{sp}}{2} \cdot \operatorname{ctg} \alpha. \quad (6)$$

Расчет осуществляется следующим образом: задается уровень предварительного напряжения (начальный) и определяется усилие в арматуре

$$N_{sp} = k \cdot R_{sp} \cdot A_{sp}. \quad (7)$$

Затем по формуле (2) определяется реакция в упорах F_{sp} и по формуле (6) усилие обжатия H_{sp} .

Величина момента, выгибающего балку усилиями обжатия, составляет

$$M_{выг} = H_{sp} \cdot e_{sp} + \frac{F_{sp} \cdot l_{sp}}{4}, \quad (8)$$

где e_{sp} – эксцентриситет приложения усилия обжатия.

Суммарный момент с учетом предварительного напряжения рассчитывается по формуле

$$M_{\Sigma} = M_q - M_{\text{выг}}, \quad (9)$$

где M_q – изгибающий момент от внешней постоянной и длительно действующей нагрузки;

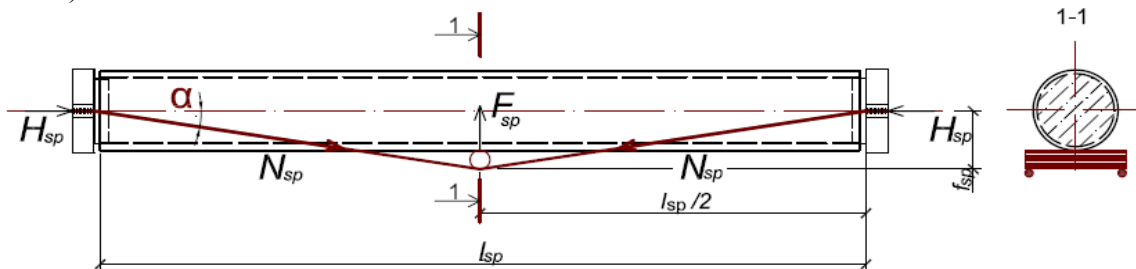
$M_{\text{выг}}$ – изгибающий момент от усилия обжатия.

При увеличении поперечной нагрузки q меняются усилия в шпренгельном подкреплении, то есть реакция в упоре R_q (средней опоре двухпролетной балки) и распор H_q – усилие обжатия. Их величины зависят от величины внешней нагрузки, таким образом, чем больше действующая нагрузка, тем сильнее будет обжата железобетонная балка по всей длине пролета и момент выгиба, тем самым, будет расти.

Из изложенного видно, что саморегуляция приводит к уменьшению доли изгиба в напряженном состоянии конструкции. Обеспечиваются высокие трещиностойкость и жесткость.

В качестве балочной части можно использовать не только железобетонные, но и другие типы конструкций, в частности, эффективным может оказаться применение трубобетона, обладающего весьма высокой прочностью благодаря работе бетона в условиях трехосного напряженного состояния. Хотя в качестве обычных изгибаемых элементов трубобетон применять не эффективно, в предлагаемой саморегулирующейся конструкции представляется возможным добиться и того, чтобы трубобетонная часть работала как внецентренно сжатая с небольшим эксцентриситетом, благодаря чему бетон находится в условиях, близких к равномерному трехосному сжатию, при котором прочность его достаточно высока. Другим примером предлагаемого типа саморегулирующихся конструкций является система, состоящая из трубобетонной балочной части и стального шпренгельного подкрепления. Общий вид предлагаемой конструкции представлен на рис. 4,а. Шпренгельная часть закрепляется по концам к трубобетонной, благодаря чему в центральной точке поперечного сечения возникает существенное центральное сжатие. Указанное обеспечивается именно тем, что равнодействующая прикладывается вдоль оси трубобетонной части. Однако возникает опасность потери устойчивости, что обуславливает необходимость выполнения соответствующих конструкторских решений. Чтобы уменьшить долю изгиба, по длине трубобетонной части устанавливается два упора, то есть балочная часть устраивается трехпролетной, благодаря чему представляется возможным уменьшить диаметр трубобетонной конструкции (рис. 4,б).

а)



б)

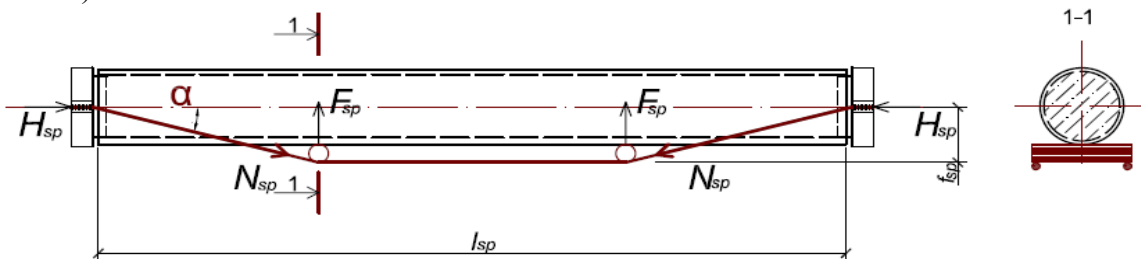


Рисунок 4 – Предварительно напряженная трубобетонная балка с шпренгельным подкреплением: а – одним упором; б – двумя упорами

Выводы. Представленная выше конструкция отличается высокой эффективностью и позволяет чистый изгиб трансформировать в центральное сжатие или сжатие с малым эксцентриситетом, что позволяет уменьшить размеры поперечного сечения и расширить возможности применения конструкций данного типа.

Литература

1. Михайлов, В.В. Предварительно напряженные железобетонные конструкции: теория, расчет и подбор сечений / В.В. Михайлов. – М.: Стройиздат, 1978.– 383 с.
2. Кришан, А.Л. Предварительно обжатые трубобетонные элементы кольцевого сечения / А.Л. Кришан, М.Ш. Гареев, И.А. Сагадатов // Бетон и железобетон.– 2008.– № 4. – С. 7–11.
3. Шагин, А.Л. Локальное предварительное напряжение железобетонных и сталежелезобетонных конструкций / А.Л. Шагин // Юбилейные научные чтения по проблемам теории железобетона. Наука, технологии, производство: сб.тр. – М.: МИКХиС, 2009. – С. 107–116.

Надійшла до редакції 08.11.12

© О.Л. Шагін, К.В. Спіранде, В.В. Виноградов

**О.Л. Шагін, д.т.н., професор, К.В. Спіранде, к.т.н., професор, В.В. Виноградов, магістр
Харківський національний університет будівництва та архітектури**

ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНІ КОНСТРУКЦІЇ ЗІ ШПРЕНГЕЛЬНИМ ПІДКРІПЛЕННЯМ, ЩО САМОРЕГУЛЮЮТЬСЯ

Розглянуто попередньо напружені залізобетонні та трубобетонні конструкції зі шпренгельним підкріпленням.

Ключові слова: попередні напруження, шпренгельне підкріплення, трубобетонні конструкції.

**A.L. Shagin, Doctor of Technical Sciences, professor, K.V. Spirande, Ph.D., professor,
V. V. Vinogradov, Master**

Kharkiv National University of Building and Architecture

SELF-REGULATING PRESTRESSED STRUCTURES WITH SUBDIAGONAL REINFORCEMENT

Self-regulating prestressed reinforced concrete and guncrete both with subdiagonal reinforcement structures are examined.

Keywords: prestress, subdiagonal, reinforcement, guncrete structures