

Вертикальные смещения испытываемых панелей (прогибы) измерялись четырьмя прогибомерами БПАО и индикатором часовым ИЧ-10. Схема расстановки измерительных приборов показана на рисунке 5.

Прижим панелей к крайней левой опоре при испытаниях по схеме 1 обеспечивался стальной балкой и натяжением анкерных болтов (см. рисунок 6а).

Прижим панелей к промежуточной опоре при испытаниях по схеме 2 обеспечивался приложением дополнительной полосовой нагрузки по линии этой опоры (см. рисунок 7а).

Прижим панелей к крайней правой опоре при испытаниях по схеме 3 обеспечивался приложением дополнительной полосовой нагрузки по линии этой опоры, а к крайней левой опоре – стальной балкой и натяжением анкерных болтов (см. рисунок 8а).

Прогнозируемые (определенные расчетом) и экспериментальные (полученные при проведении испытаний) разрушающие нагрузки, характер разрушения панелей при испытаниях и иная информация об испытаниях сведены в таблицу.

Характер разрушения всех испытанных панелей (см. рисунки 6–9) совпал с прогнозируемым характером разрушения конструкций. Разрушение панелей при испытаниях произошло при величинах нормальных напряжений в сжатых обшивках, равных критическим напряжениям, за исключением испытания 2 по схеме 3, при котором произошло разрушение панели от сдвига материала среднего слоя на промежуточной опоре.

Заключение

1. Деформации панелей при испытаниях соответствовали полученным расчетным путем величинам.
2. Характер разрушения испытанных панелей соответствовал прогнозируемому.
3. Проведенный эксперимент подтвердил, что расчет металлических трехслойных панелей с утеплителем по сложным расчетным схемам в ограждениях может быть выполнен численными методами с достаточной точностью.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Self-supporting double skin metal faced insulating panels - Factory made products – Specifications: EN 14509/ CEN. – Brussels: 2006. – 145 p.
2. Рекомендации по расчету трехслойных панелей с металлическими обшивками и заполнителем из пенопласта. – М.: ЦНИИСК им. Кучеренко, 1976. – 26 с.
3. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85 / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 35 с.
4. Левчук, А.А. Расчетная модель металлических трехслойных панелей с утеплителем из минераловатных плит и пенопласта. Вестник БрГТУ. – 2008. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 97–102.

Материал поступил в редакцию 18.11.10

DRAGAN V.I., LEVCHUK A.A. Strength and elasticity of double skinned metal faced panels

The article devoted to convergence verification of calculation results, derived with numerical method (FEM), with experimental data. Authors made experimental researches, which revealed high convergence with numerical computation.

УДК 624.014.2

Малиновский В.Н., Кривицкий П.В., Седляр Т.Н.

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ОТОГНУТЫМ АРМИРОВАНИЕМ

Введение. В связи с развитием предварительно напряженных конструкций возник ряд новых в области расчета и конструирования вопросов, многие из которых нашли освещение в трудах крупных специалистов зарубежных стран, обобщивших опыт проектирования и строительства железобетонных конструкций (Фрейсине, Леонгарда, Мерше, Ринальди, Маньеля, Гийона, Лина, Честелли-Гуйди, Кани, Михайлова, Николаева, Бердичевского). Один из таких – применение предварительно напряженных железобетонных конструкций с отогнутым армированием. Данная статья посвящена вопросу целесообразности применения и экономическим преимуществам использования конструкций с предварительно напряженным полого отогнутым армированием.

Развитие конструктивных решений. В 1916 г. В. Вильсон впервые приводит в своем английском патенте криволинейные элементы предварительно напряженной арматуры, которые бетонизируются в напряженном состоянии. Однако точное статическое действие этих предварительно напряженных элементов, очевидно, не было вполне ясно Вильсону [1, 2]. На протяжении последующих двадцати лет продолжается развитие в области конструирования предварительно напряженных конструкций, результатом проделанной работы стало использование способа укладки стальных стержней в бетоне, обеспечивающего возможность их натяжения со скольжением после затвердевания бетона (элемент без сцепления

арматуры с бетоном). Сцеплению проволоки с бетоном препятствовало покрытие парафином. Однако только в 1938 г. фирма «Вайсс и Фрейтаг», получив лицензию на применение методов Фрейсине, впервые сооружают путепровод пролетом 33м из четырех предварительно напряженных балок со сцеплением проволоки с бетоном. Выполненная работа и полученные ценные результаты дают толчок по внедрению предварительно напряженных железобетонных конструкций со сцеплением арматуры с бетоном [2, 3].

В 1949 г. Ф. Леонгард разработал со своим сотрудником Бауром способ Баура-Леонгарда [3], который характеризуется совмещением элементов натягиваемой арматуры в некоторых каналах с многорядным горизонтальным расположением проволок или прядей и одновременным натяжением всей арматуры сооружения. По этому способу ими возводятся неразрезные конструкции со сквозными арматурными элементами. Ф. Леонгард выполняет, в связи с разработкой этой конструкции, лабораторные испытания по изучению потерь от трения элементов при натяжении арматуры и предлагает мероприятия для уменьшения этих потерь. Использование этих мероприятий делает возможным осуществлять натяжение сквозной арматуры неразрезной конструкции с пятью или более пролетами.

Последующее развитие предварительно напряженных конструкций велось интенсивнее, однако отличалось главным образом разработкой способов анкеровки арматуры. Параллельно при этом изучаются вопросы выбора очертания натягаемой арматуры в кон-

Малиновский Василий Николаевич, кандидат технических наук, профессор кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Кривицкий Павел Васильевич, магистрант кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Седляр Т.Н., инженер ОАО «Стройтрест №2», г. Пинск.

струкции и связанные с ним вопросы правильного определения мест начала отгибов, углов отгиба и количества отгибаемой арматуры по отношению к общему количеству арматуры в сечении. Ряд исследователей [4, 5] для этих целей предлагают графический метод определения зоны сечения конструкций, в которой должна находиться напрягаемая арматура, из критерия недопущения образования растягивающих напряжений или ограничения их величины в условиях эксплуатации конструкции. Границы искомой зоны (ядра сечения) определяются откладыванием вниз соответственно от верхней и нижней линии ядровых областей (которые в конструкциях с переменным по длине сечением могут являться криволинейными) эксцентриситетов приложения равнодействующих внешних сил и усилий в напрягаемой арматуре при изготовлении, транспортировке и монтаже (рисунок 1). Указанный способ может быть распространен и на конструкции с переменной площадью поперечного сечения напрягаемой арматуры при условии использования соответствующей величины предварительного натяжения при вычислении положения ограничивающей зоны.

Выбор очертания напрягаемой арматуры оказывает существенное влияние на трещиностойкость нормальных и наклонных сечений раз-

кость нормальных сечений в пределах трассировки отгиба может оказаться недостаточной. На торцах балочных конструкций отгиб напрягаемой арматуры может существенно уменьшить вероятность образования продольных трещин при отпуске натяжения. Рациональное очертание напрягаемой арматуры может обеспечить передачу усилий в ней по центру тяжести опорных сечений и благоприятно сказаться на трещиностойкости верхних зон конструкции в пределах отгиба. Решение перечисленных вопросов, а также другие вопросы, связанные с отгибом арматуры, рассматриваются в работах [6, 7].

Научные исследования. Проведенные в НИИЖБе исследования [8] позволили сделать вывод о том, что отгиб напрягаемой арматуры, то есть уменьшение обжатия нижних волокон на приопорных участках и эксцентриситета приложения усилий во всей напрягаемой арматуре, приводит к уменьшению вероятности образования трещин в растянутой зоне при обжатии, к отдалению мест образования первых верхних трещин от торцов конструкции и уменьшению их развития по высоте.

Вышеуказанный вариант армирования балочных конструкций снижает также вероятность скалывания опорных частей вследствие объединения при значительных поперечных силах верхних трещин с

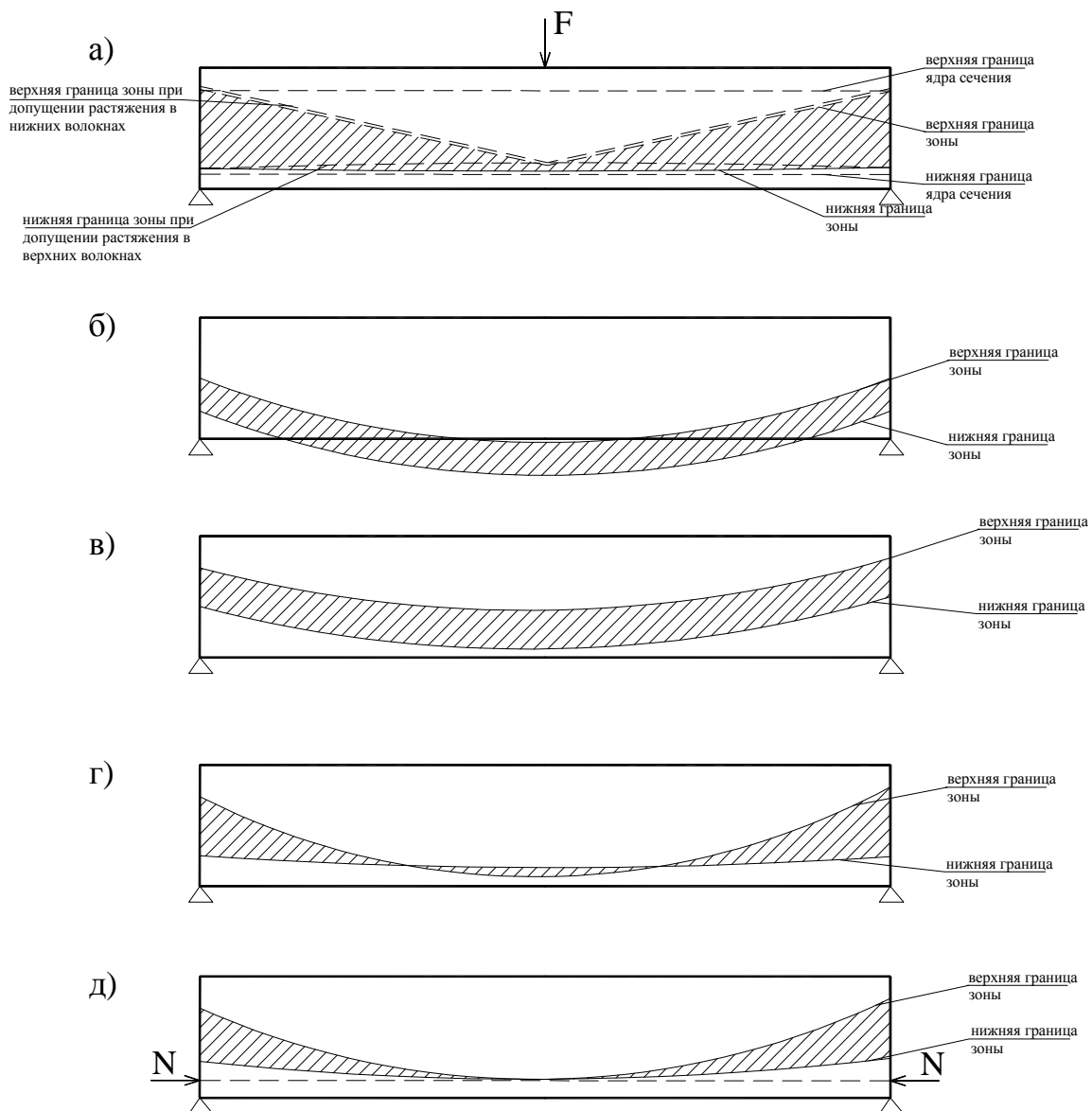


Рис. 1. Зона оптимального расположения центра тяжести напрягаемой арматуры
 а) схема к построению зоны; б), в), г), д) примеры расположения зон

личных зон конструкции. Отгибы напрягаемой арматуры повышают трещиностойкость наклонных сечений, в то же время трещиностой-

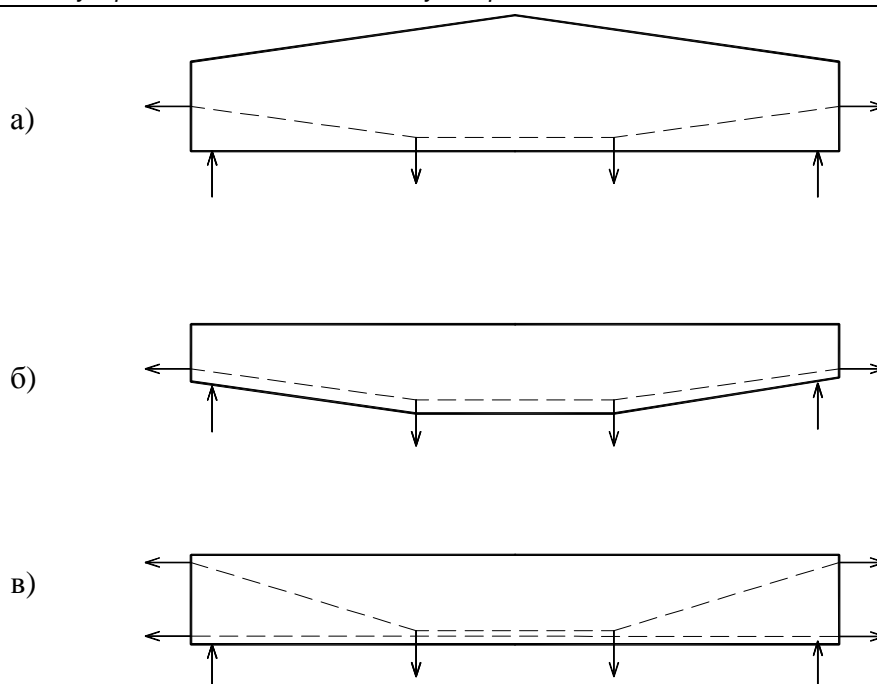


Рис. 2. Схемы армирования отогнутой напряженной арматурой

а) балка с наклонным верхним поясом; б) балка с криволинейным нижним поясом; в) балка с прямой и отогнутой арматурой

трещинами в недостаточно обжатых нижних волокнах на длине зоны анкеровки [8], что может быть особенно опасно для балочных конструкций, высота которых на опоре соизмерима с длиной зоны анкеровки арматуры. Исследования [8], выполненные при отпуске натяжения арматуры, показали, что фактическое распределение верхних трещин у концевых участков конструкций существенно отличается от теоретического, определенного в соответствии с формулами сопротивления материалов, за счет влияния местного приложения нагрузки (усилия обжатия бетона) к торцу конструкции. Напряжения по верхней кромке конструкции, определенные методом теории упругости, достаточно точно совпали с экспериментальными исследованиями, что позволило сделать вывод о влиянии точки приложения равнодействующей сил обжатия к торцу конструкции на местные напряжения в ней лишь на длине, примерно равной высоте опорного сечения. В остальной части длины балки распределение напряжений следует определять в соответствии с законом плоских сечений.

Авторами исследований глубины проникновения верхних трещин при передаче предварительных напряжений [9] предложена методика расчета влияния их на жесткость и трещиностойкость конструкций при работе на изгиб. Исследованиями [9] установлены предельные границы величины предварительного обжатия и его эксцентриситета, при которых увеличение количества нижней напрягаемой арматуры не повышает трещиностойкость конструкции, то есть приводит к образованию верхних трещин или увеличению их глубины, что в свою очередь снижает трещиностойкость нижней зоны. Глубина трещин может быть существенно уменьшена, или они могут быть исключены полностью за счет уменьшения эксцентриситета равнодействующей сил обжатия путем отгибания части нижней напрягаемой арматуры на концевых участках элементов. Увеличение же верхнего армирования с целью повышения трещиностойкости конструкции при обжатии приводит к увеличению расхода арматуры и является экономически нецелесообразным.

Исследования конструкций, в которых продольная напрягаемая арматура расположена группами в верхней и в нижней зонах сечения [4, 6], показывают, что путем постановки ненапрягаемой поперечной арматуры крайне трудно предотвратить образование продольных трещин на торцах конструкций, возможно лишь уменьшение ширины их раскрытия. Для предотвращения образования указанных трещин предлагается до передачи на бетон усилия в продольной арматуре создавать поперечное обжатие бетона концевых участков конструкции или рассредотачивать напрягаемую арматуру по высоте опорных сечений посредством отгиба ее из нижних зон в верхние.

В работе [10] отражены исследования влияния местных напряжений в зоне приложения сосредоточенных сил на величину главных растягивающих напряжений, влияния предварительно отогнутой арматуры на образование наклонных трещин. По результатам испытаний установлено, что наличие предварительно напряженных отгибов существенно отодвигает момент образования наклонных трещин, возникающих в средней части стенки. В то же время в работе обращается внимание на то, что трещины, начинающиеся с растянутой зоны и вызываемые главным образом моментом в наклонном сечении, могут образовываться раньше, чем трещины в средней части высоты сечения. При этом отогнутая напрягаемая арматура может оказать на появление этих трещин отрицательное влияние, вследствие снижения трещиностойкости нормальных сечений в зоне отгиба. Снизить указанное отрицательное влияние может применение пологого отгиба при переводе части предварительно напряженной арматуры из нижней зоны в пролете в верхнюю на опорах.

В.В. Михайлов [11] считает целесообразным выполнить изгибаемые конструкции с переменной высотой сечения и отогнутой напрягаемой арматурой, поскольку такая конструктивная форма благоприятствует возникновению на концевых участках главных сжимающих напряжений (рисунок 2).

На основании натурных испытаний предварительно напряженных балок длиной 11–33 м с отогнутой арматурой [7] было установлено, что напряжения в отгибаемой арматуре в предельной стадии не достигают расчетных сопротивлений по прочности, в связи с этим уменьшается вертикальная составляющая усилий в отогнутой арматуре и ее роль в восприятии поперечной силы. В то же время по исследованиям [12] установлено, что при отгибах $\alpha=12^\circ$ после появления наклонных трещин напряжения в отогнутой арматуре значительно увеличиваются и перед разрушением балок по наклонной трещине приближаются к предельным.

В качестве наиболее экономичной схемы армирования в работе [7] рекомендуется наклонные хомуты (стержни) принимать отогнутыми под углом 70° (угол наклона главных растягивающих напряжений). Такое конструктивное решение требует устройства анкеровки арматуры по верхнему поясу балки, что затруднительно выполнено технически и нежелательно для бетона, верхней зоны балки (сжатой зоны при эксплуатации конструкции). Более эффективны и реально выполнимы в техническом отношении являются решения балок с отгибом части напрягаемой арматуры под углом наклона $12^\circ \div 20^\circ$ к продольной оси балки [12].

По результатам исследований железобетонных балок с отогнутой преднапряженной арматурой [13] установлено, что отгибание от четверти до половины напрягаемой арматуры по отношению ко всей напрягаемой не приводит к снижению прочности образцов по моменту в наклонном сечении в сравнении с балками с прямолинейной предварительно напряженной арматурой. При этом количество поперечной ненапрягаемой арматуры в образцах с отогнутой арматурой было уменьшено (шаг хомутов был увеличен от 150 до 300 мм).

Экономическая эффективность. На основании натуральных испытаний преднапряженных плит размером 3x12 м с постоянной и переменной высотой продольных ребер с отогнутой арматурой [6,12] было установлено, что образование наклонных трещин в зонах отгиба арматуры происходит менее интенсивно, чем с прямолинейной арматурой. Анализ технико-экономических показателей плит размером 3x12 м как с постоянной, так и переменной высотой продольных ребер с отогнутой арматурой показал, что отгибание четверти или трети продольной напрягаемой арматуры в третях пролета позволяет повысить трещиностойкость приопорных сечений и сэкономить в плитах с постоянной высотой продольных ребер 6÷9% стали и снизить себестоимость на 6,7%; в плитах с переменной высотой продольных ребер экономия бетона и стали по сравнению с типовыми плитами составляет при стержневом армировании соответственно 9÷10% и 6÷13%, трудоемкость и стоимость изготовления плит снижается соответственно на 11,6% и 14,7%, за счет сокращения расхода поперечной арматуры и напрягаемой арматуры, сжатой при эксплуатации зоны плиты.

Применение отгиба около трети или половины напрягаемой арматуры на расстоянии 1/4÷1/5 пролета в двускатных балках [9] обеспечивает экономию до 10% бетона и до 17% стали, трудоемкость и себестоимость снижаются соответственно на 4 и 12% по сравнению с типовыми решениями.

Заключение

1. Благодаря отгибу части продольной арматуры не только повышается трещиностойкость наклонных сечений, но и увеличивается сопротивление элемента действию поперечных сил. При этом решаются и другие важные вопросы: рассредотачивается напрягаемая арматура по торцу балки, создается обжатие бетона опорных частей в вертикальном направлении и уменьшается вероятность образования горизонтальных трещин на концевых участках, улучшаются условия бетонирования зон передачи преднапряжений с арматуры на бетон.
2. Рекомендуется назначать предельные границы усилия предварительно обжатия и его эксцентриситет: в середине пролета напрягаемая арматура должна располагаться ближе к нижней границе ядра сечения, а в приопорной зоне – в пределах всего ядра сечения. Именно перевод части предварительно напряженной арматуры из нижней зоны в пролете в верхнюю на опорах способствует повышению трещиностойкости наклонных сечений в зоне отгиба. Наиболее эффективными, с точки зрения расположения анкеровки продольной арматуры по торцу балки, являются решения балок с отгибом части напрягаемой арматуры под углом наклона $12^\circ \pm 20^\circ$ к продольной оси балки.
3. Согласно полученным натурным испытаниям в плитах рекомендуется отгибать от четверти до трети продольной напрягаемой арматуры, а в балках – до половины напрягаемой арматуры.
4. Благодаря вертикальной составляющей от усилия обжатия бетона, сокращается расход поперечной арматуры; поднятие центра тяжести напрягаемой арматуры в зоне отгиба обеспечивает сокращение расхода арматуры (в том числе и предварительно напряженной), расположенной в зоне, растянутой в процессе от-

пуска натяжения арматуры. Кроме этого, в плитах и балках отгиб напрягаемой продольной арматуры целесообразно выполнять на расстоянии 1/3÷1/5 пролета.

5. Отгибание арматуры создает также условия для экономии бетона и сокращения веса конструкции за счет придания им целесообразных форм; возникает возможность применения конструкций с ломанным нижним поясом, а также без утолщения ширины у опор.
6. В то же время следует указать на необходимость дополнительного исследования напряженно-деформированного состояния предварительно напряженных железобетонных конструкций с отогнутым армированием и на его основе спрогнозировать методику расчета прочности нормальных и наклонных сечений.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Честелли-Гуиди, К. Предварительно напряженный железобетон. – М.: Госстройиздат, 1960.
2. Леонгардт, Ф. Предварительно напряженный железобетон. – М.: Стройиздат, 1983.
3. Кани, Г. Предварительно напряженный железобетон. – М.: Автотрансиздат, 1958.
4. Митрофанов, В.П. Напряженно-деформированное состояние, прочность и трещиностойкость железобетонных элементов при поперечном изгибе: автореф. дис. на соиск. учёной степени канд. техн. наук. – М.: Стройиздат, 1982.
5. Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций. / А.А. Гвоздев, С.А. Дмитриев, Ю.П. Гуца [и др.]. – М.: Стройиздат, 1978.
6. Междупэтажные перекрытия переменной высоты тепловых и атомных станций / В.Ф. Старостин, Ю.К. Тритчер, Л.В. Сасонко [и др.] / Бетон и железобетон. – 1986. – № 1 – С. 8–10.
7. Чупак, Н.М. Работа железобетонных балок с отогнутой преднапрягаемой арматурой / Совершенствование строительных конструкций и строительного производства. – Кишинев: Штинца, 1984. – С. 76–81.
8. Бердичевский, Г.И. Исследование предварительно напряженных железобетонных балок горизонтального изготовления для покрытия промышленных зданий: труды НИИЖБ / Г.И. Бердичевский, К.В. Михайлов, В.А. Якушин – М.: Госстройиздат, 1961. – Вып. 24. – С. 5–59.
9. Техничко-экономические показатели стропильных балок с отогнутой продольной арматурой / Н.Н. Цыганков, Ю.В. Дмитриев, Л.В. Сасонко [и др.] / Промышленное строительство. – 1970. – № 10 – С. 21–22.
10. Боришанский, М.С. Образование косых трещин в стенках предварительно напряженных балок и влияние предварительного напряжения на прочность под действием поперечных сил / М.С. Боришанский, Ю.К. Николаев // Прочность и жесткость железобетонных конструкций. – М., 1968. – С. 5–56.
11. Михайлов, В.В. Предварительно напряженные конструкции: (Теория, расчет и подбор сечений). – 2-е изд., перераб., и доп. – М.: Стройиздат, 1978.
12. Сасонко, Л.В. Исследование предварительно напряженных железобетонных конструкций с отогнутой арматурой: дис... канд. техн. наук: 005.23.01 – Защищена 15.05.75. К 161457 – М., 1974. – 146 с.
13. Малиновский, В.Н. Сопротивление предварительно напряженных железобетонных балок из высокопрочного бетона с отогнутой стержневой арматурой при изгибе с поперечной силой: автореф. дис. на соиск. учёной степени канд. техн. наук. – Л., 1988.

Материал поступил в редакцию 02.03.11

MALINOVSKY V.N., KRIVITSKY P.V., SEDLYAR T.N. Expediency of application of prestressed reinforced concrete designs with the unbent reinforcing

In article the questions devoted to stages of development of prestressed reinforced concrete designs with unbent reinforcing, to the received constructive decisions and scientific researches in the given direction are considered.

Increasing a crack resistance oblique sections, increasing in resistance of an element to action of cross-section forces, creation compression of concrete of basic parts in a vertical direction and reduction of probability of formation of horizontal cracks by end parts testifies to expediency of application of prestressed reinforced concrete designs with the unbent reinforcing.