

делить важные и необходимые при составлении расчетной схемы параметры – траекторию и место расположения магистральной наклонной трещины [3, 4, 5].

3. Из результатов экспериментальных и ранее проведенных исследований следует, что изменение пролета среза при нагружении балки с отогнутой преднапряженной арматурой влияет только на величину нагрузок (моментов) появления первых нормальных трещин и не оказывает существенного влияния на общую картину напряженно-деформированного состояния. Также, согласно численным исследованиям, установлено, что изменение степени обжатия бетона отогнутой арматурой не влияет на характер распределения главных деформаций сжатия и растяжения, а сказывается лишь на их величинах.

4. Согласно полученным экспериментальным данным, угол наклона главных площадок в зоне возможного появления наклонной трещины для балок принятой конструкции находится в пределах $21^\circ \div 23^\circ$, а магистральная наклонная трещина имеет более пологое направление к продольной оси балки в сравнении с балками с прямолинейной арматурой. Данное обстоятельство характеризует отличительные особенности деформирования балок с полого отогнутой предварительно напряженной арматурой в сравнении с балками, имеющими прямолинейное направление арматуры.

5. Наличие полого отгиба стержневой арматуры в пределах пролета среза (в опытах максимальное значение $a/h = 2,83$) исключает возможность разрушения элемента одновременно с образованием магистральной наклонной трещины. В опытах отгиб части продольной рабочей арматуры из нижней зоны в пролете в верхнюю на опорах предотвратил разрушение по наклонному сечению, несмотря на отсутствие поперечной арматуры. Достаточная несущая способность по поперечной силе таких балок достигается за счет эффективной работы отогнутых стержней.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Малиновский, В.Н. Сопротивление предварительно напряженных железобетонных балок из высокопрочного бетона с отогну-

той стержневой арматурой при изгибе с поперечной силой: автореф. дис. на соиск. учёной степени канд. техн. наук. – Л., 1988.

2. Малиновский, В.Н. Влияние предварительно напряженной полого отогнутой арматуры на напряженно-деформированное состояние железобетонных балок / В.Н. Малиновский, Н.Н. Шалобыта, Б.Г. Холодарь // Вестник БрГТУ. – 2008. – № 1(49): Строительство и архитектура. – С. 74–77.

3. Малиновский, В.Н. Исследование напряженно-деформированного состояния и разработка методики расчета в соответствии с СНБ 5.03.01-02 железобетонных балок с пологим отгибом части продольной предварительно-напряженной арматуры / В.Н. Малиновский, Н.Н. Шалобыта, Б.Г. Холодарь // Сборник научных трудов II международного научно-практического семинара по реализации задач ГПОФИ «Строительство и архитектура», Минск, 19-21 сентября 2007 г. – В 3 т. – 2008. – Т. 1.

4. Малиновский, В.Н. Численное исследование напряженно-деформированного состояния в железобетонных балках с предварительно напряженной полого отогнутой арматурой / В.Н. Малиновский, Н.Н. Шалобыта, П.В. Кривицкий // Вестник БрГТУ. – 2009. – № 1(55): Строительство и архитектура. – С. 64–68.

5. Малиновский, В.Н. Напряженно-деформированное состояние железобетонных балок с пологим отгибом части продольной предварительно напряженной арматуры / В.Н. Малиновский, Н.Н. Шалобыта, Б.Г. Холодарь // Сб. науч. трудов XVI международного научно-методич. семинара «Перспективы развития новых технологий в строит-ве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь», Брест, 28–30 мая 2009 г. – В 2 т. – 2009. – Т. 1. – С. 58–65.

6. Кривицкий, П.В. Влияние обжатия бетона предварительно напряженной полого отогнутой арматурой на напряженно-деформированное состояние железобетонных балок / П.В. Кривицкий, В.Н. Малиновский, Н.Н. Шалобыта // Сборник конкурсных работ студентов и магистров. БрГТУ, Брест. – 2009. – Ч. 1. – С. 36–39.

20.01.10

SHALOBYTA N.N., MALINOVSKY V.N., KRIVITSKY P.V. Experimental researches of the is intense-deformed condition of ferro-concrete beams with flat отгибом parts longitudinal preliminary the intense armature

In clause results of experimental researches by definition of the is intense-deformed condition in concrete preliminary strained ferro-concrete with prestained hollow the unbent armature are resulted.

624.014.2

• •

• •

• •

•

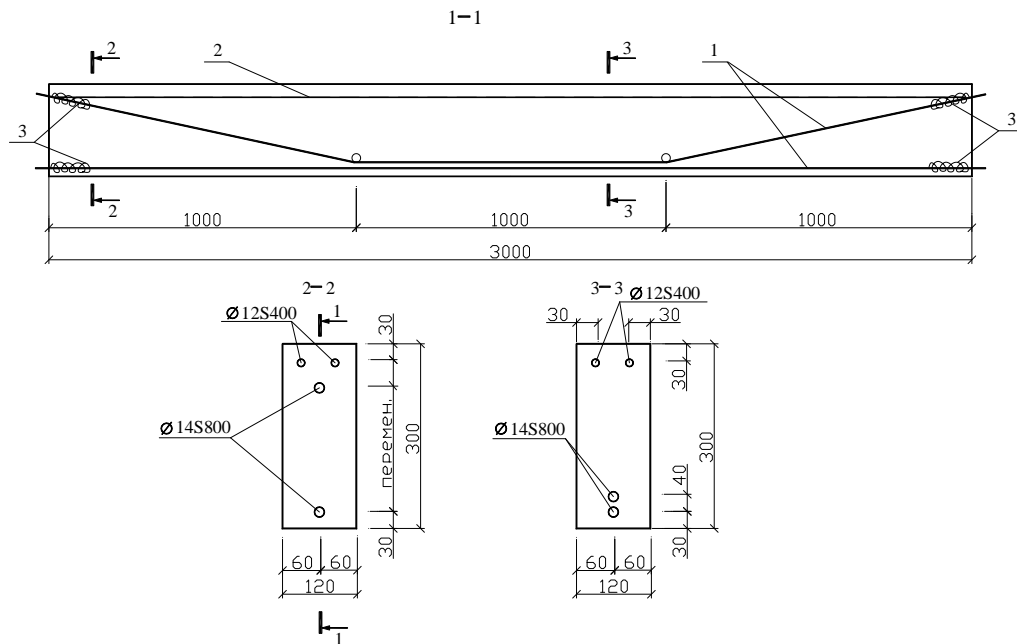
Введение. В ранее опубликованных авторами статьях [1, 2, 3, 4, 5] приводились методика моделирования и результаты исследований численными методами напряженно-деформированного состояния железобетонных балок с пологим отгибом части продольной рабочей арматуры в зонах возможного разрушения по наклонным сечениям. На основании сравнения расчетных данных, полученных по результатам расчета по вычислительному комплексу «MSC. visualNastran for Windows» и по разработанной программе, выявлены сходство и отличия в напряженно-деформированном состоянии балок с полого отогнутой преднапряженной арматурой. Общая картина по направлению и величинам главных деформаций в балке с отогнутой арматурой, полученная по результатам расчета по разработанной программе и по вычислительному комплексу «MSC. visualNastran for Windows*», как на стадии предварительного обжатия бетона, так и при загрузке внешней нагрузкой при совместном действии сил обжатия бетона, соответствуют общим принципам работы балки, но и имеются отличия, связанные, прежде всего, с особенностями принятой расчетной модели балок. Проведение экспериментальных исследований было вызвано необходимостью

уточнения данных по напряженно-деформированному состоянию железобетонных балок, полученных численными методами на ЭВМ – с помощью вычислительного комплекса «MSC. visual Nastran for Windows», не учитывающей податливость сцепления арматуры с бетоном, и по разработанной программе «BALKA», не позволяющей проследить изменение направлений и величин деформаций после появления нормальных и наклонных трещин в балке.

Конструкция опытных образцов и материалы. Экспериментальные исследования особенностей изменения напряженно-деформированного состояния бетона, а также прочности и трещиностойкости изгибаемых конструкций с отогнутой арматурой, выполнялись на образцах балочного типа длиной 3,0 м, прямоугольного поперечного сечения следующих размеров: высота 300 мм, ширина 120 мм (рис. 1). Образцы армировались преднапряженной арматурой, состоящей из двух стержней периодического профиля диаметром 14 мм, класса S800 (1), которые располагались в два ряда с рабочей высотой в средней части пролета балки, равной 250 мм. Стержень нижнего ряда располагался прямолинейно по всей длине балки, а верхний стержень – в третях пролета переводился из нижней зоны в пролете к верхней грани на опоре с выходом через торцевую грань. Угол наклона отгиба составлял 12° . В верхней зоне

* Использовалась демонстрационная версия программного комплекса.

а)



б)

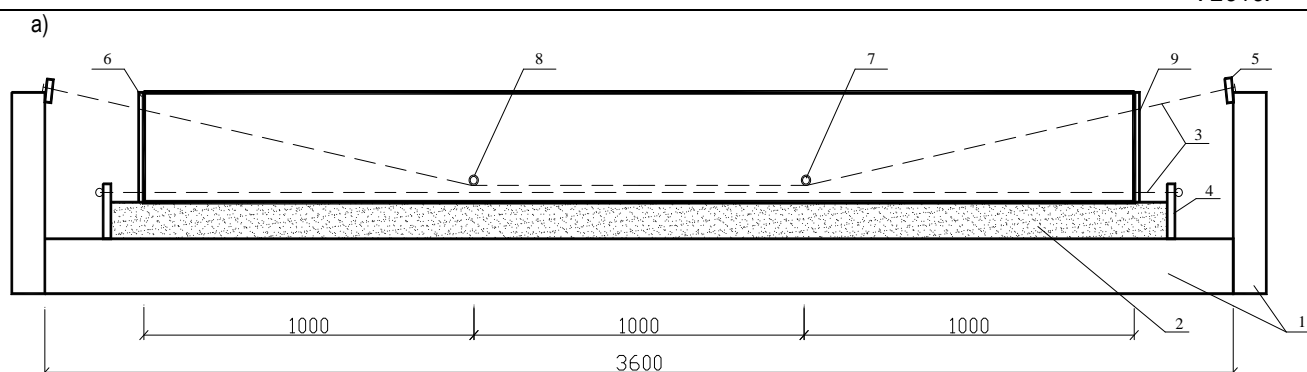


Рис. 1. Конструкция экспериментальной железобетонной балки с отогнутой предварительно напряженной арматурой
а) конструктивное решение, б) общий вид экспериментальной балки
1 – напрягаемая арматура; 2 – ненапрягаемая арматура; 3 – спирали косвенного армирования

балки (растянутой при создании преднапряжения и сжатой при нагружении) конструктивно горизонтально устанавливался плоский каркас из ненапрягаемой продольной арматуры класса S400 в количестве двух стержней диаметром 12 мм (2), соединенных поперечными стержнями диаметром 5 мм с шагом 150 мм. В экспериментальных балках зона передачи усилий предварительных напряжений с арматуры на бетон усиливалась косвенным армированием в виде спирали диаметром 50 мм и шагом завитки 30 мм из проволоки диаметром 3 мм (3). Особенностью конструктивного решения экспериментальных балок являлось отсутствие поперечного армирования по всей длине.

Экспериментальные балки изготавливались на специальном стенде, запроектированном авторами, с использованием специально дооборудованной силовой опалубки для изготовления типовых железобетонных прогонов марки ПРГ 36.1.4 серии 1.225-2 (рис. 2). Данная металлическая силовая форма (1) сборно-разборная с откидными боковыми и торцевыми бортами позволяла одновременно изготавливать две идентичные опытные балки.

Для изготовления в силовой форме экспериментальных балок требуемой высоты и длины, а также для возможности установки и натяжения прямолинейной предварительно напрягаемой арматуры (3) ее, предварительно, дооборудовали металлическим поддоном, состоящим из двух спаренных металлических балочек (2) двутаврового сечения высотой 100 мм и длиной 3,2 м, которые устанавливались в каждую секцию силовой формы. На торцы данных балочек приваривались электродуговой сваркой специальные упоры (4) для анкерки прямолинейного напрягаемого стержня. Торцевые борты силовой формы (6) поверху так же снабжались аналогичными упорами (5), наклоненными под углом 12° к горизонтали, необходимыми для анкерки отгибаемых стержней. Места перегиба стержней фиксировались при помощи извлекаемых силовых стержней (7), которые с целью исключения сцепления с бетоном располагались в металлических трубах (8), оставляемых в теле изделия. При данной конструкции вся вертикальная составляющая усилий в отгибаемых стержнях полностью воспринималась боковыми бортами силовой формы. На расстоянии 300 мм друг от друга в силовой форме



б)



Рис. 2. Конструктивное решение специального стенда для изготовления опытных балок
а) конструктивное решение, б) общий вид

1 – силовая опалубка ПРГ 36.1.4 серии 1.225-2, 2 – специальный поддон формы опытной балки, 3 – напрягаемая арматура, 4 – упор прямолинейной арматуры, 5 – упор отогнутой арматуры, 6 – торцевой борт силовой формы опытных балок, 7, 8 – специальный стержень и трубка, для создания отгиба арматуры, 9 – специальные торцевые пластины

устанавливались так же запроектированные пластины (9), имеющие специальные отверстия для пропуска и фиксации в проектном положении напрягаемой прямолинейной и отогнутой арматуры и являющиеся одновременно торцевыми элементами опалубки опытных балок. Образующиеся свободные концы арматуры за пределами длины опытной балки и торца силовой формы использовались для размещения проволочных тензодатчиков сопротивления с базой 20 мм, предназначенных для контроля усилия натяжения арматуры.

Физико-механические характеристики арматуры устанавливались стандартными методами испытаний [6]. Для изготовления опытных образцов применялся бетон повышенной прочности с использованием портландцемента марки 500 Волковического цементного завода, песка средней крупности Сморгоньского карьера с модулем крупности $=2,5-3$ и средней плотностью $\gamma = 1750 \text{ кг/м}^3$, щебня Микашевичского карьера с крупностью зерен $5 \div 20 \text{ мм}$. Прочностные и деформативные характеристики бетона определяли в соответствии со стандартными методиками [7]. Средняя прочность бетона на осевое сжатие (f_{cm}) составила 48,6 МПа.

Натяжение прямолинейной и отгибаемой арматуры осуществлялось электротермическим способом. При этом стержням верхнего ряда криволинейное очертание придавалось до натяжения арма-

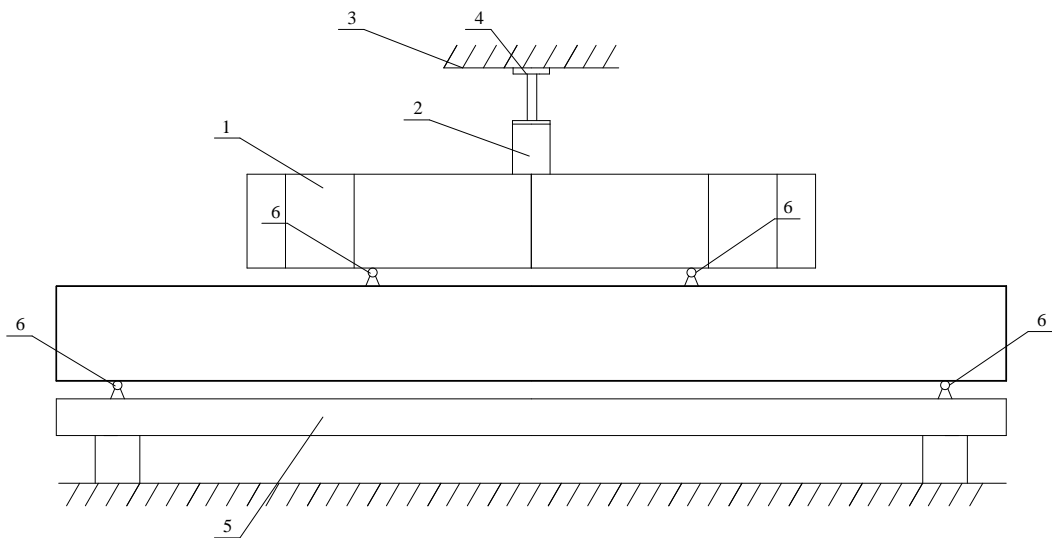
туры. Закрепление арматурных стержней в захватах (4) и (5) осуществлялось при помощи специально созданных по торцам напрягаемых арматурных стержней анкеров в виде высаженных головок (рис. 3). Равномерность загрузки стержней регулировалось комплектом цилиндрических и конических шайб, укладываемых между анкерами и щетками захвата. Расчетный уровень напряжений в арматуре каждой балки устанавливался с учетом потерь.

Методика испытаний опытных балок. Испытание опытных образцов осуществлялось на специальной силовой установке, имеющейся в цехе испытаний кафедры «Строительные конструкции» (рис. 4). Данная силовая установка состояла из гидравлического пресса ПСУ-250, станина которого была дооборудована удлиняющей траверсой (1), через которую происходит передача нагрузки в виде двух сосредоточенных симметрично приложенных относительно центра пролета балки. Сверху на траверсу устанавливался гидравлический домкрат марки ДГ-50 м (2) с упором в верхнюю пластину пресса (3) через контрольный динамометр (4). Экспериментальная балка помещалась на специальную станину (5), имеющую две шарнирные опоры (6) – одну подвижную и одну неподвижную, перемещением которых можно изменять расчетный пролет балки. Станина опиралась в силовой пол цеха испытаний.



Рис. 3. Конструкция анкеров и захватов напрягаемой арматуры

а)



б)



Рис. 4. Конструкция испытательной установки

а) конструктивное решение, б) общий вид

1 – удлиняющая траверса, 2 – домкрат, 3 – пластина пресса, 4 – динамометр, 5 – станина пресса, 6 – шарнирные опоры

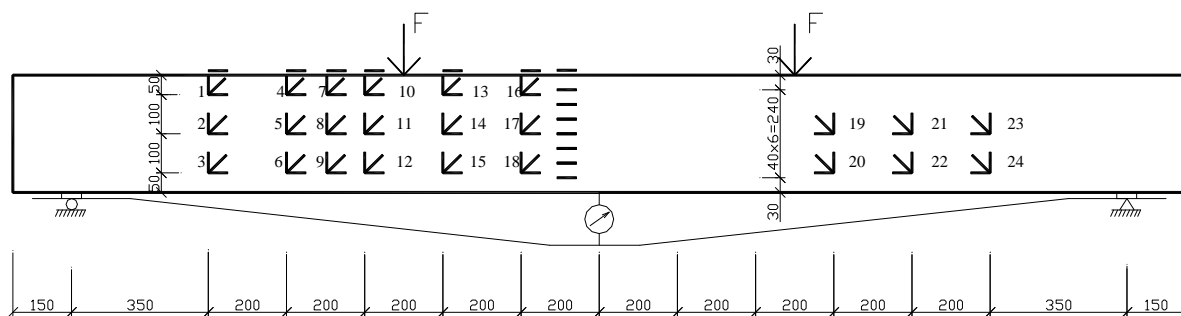


Рис. 5. Схема расположения измерительных приборов



Рис. 6. Общий вид измерительного комплекса «ТИССА-В-485/65»

Нагрузка прикладывалась с помощью насосной станции НСР-400 и контролировалась по показаниям манометра станции и установленного динамометра. Величина нагрузки на каждой ступени загрузки составляла примерно 1/5-1/8 от разрушающей. Выдержка на каждой ступени загрузки составляла около 10 минут. До начала испытаний балки подвергались предварительному пригрузу в 10 кН. После пятиминутной выдержки пригруз снимался, и осуществлялось рабочее нагружение. В период испытаний отсчеты по приборам и тензодатчикам брались дважды: сразу же после приложения нагрузки каждой ступени и в конце выдержки. Для изучения влияния такого фактора, как величина пролета среза, на напряженно-деформированное состояние балки в работе испытывались образцы балок, у которых величина пролета среза составляла 850 мм и 550 мм соответственно.

Для регистрации деформаций бетона на опытные балки были установлены розетки тензорезисторов типа ПКБ с базой 50 мм (рис. 5). Розетки тензорезисторов наклеивались по всей высоте с обеих сторон балок в приопорной зоне и в зоне чистого изгиба. Всего было установлено 86 тензодатчиков. Данная схема расположения регистрирующих приборов позволила полностью оценить напряженно-деформированное состояние приопорных зон предварительно напряженных балок с пологим отгибом части продольной арматуры.

Для регистрации показаний тензорезисторов в исследованиях был использован компьютерный измерительный комплекс «ТИССА-В-485/65» (рис. 6), который обеспечивал синхронное измерение сигналов от тензорезисторов по 64 измерительным каналам с частотой дискретизации сигнала в диапазоне от 1 до 10 Гц.

При использовании комплекса осуществлялось пошаговое измерение результатов на каждом этапе нагружения с записью их для каждого тензорезистора или для групп резисторов в виде диаграмм, описывающих изменение относительных деформаций для заданных уровней нагрузки или в текстовом формате с аналогичными показателями.

В процессе испытаний экспериментальных балок, помимо измерений относительных деформаций в бетоне, для каждой ступени нагружений производились также регистрация прогибов балки. Про-

гибы балок в плоскости действия сил определялись по прогибомумерам ПАО-7 с ценой деления 0.01 мм, установленных в средней зоне пролета балки.

Заключение. Разработаны и изготовлены специальные экспериментальные образцы железобетонных балок с пологим отгибом части предварительно-напряженной арматуры и отсутствием ортогонального армирования, и предложена методика экспериментального исследования их напряженно-деформированного состояния для изучения несущей способности по наклонным сечениям. Особенностью предлагаемой методики является то, что она позволяет на стадии проведения испытаний в режиме реального времени получать и оценивать картину напряженно-деформированного состояния в бетоне, максимально приближенную к реальной.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Малиновский, В.Н. Влияние предварительно напряженной полого отогнутой арматуры на напряженно-деформированное состояние железобетонных балок / В.Н. Малиновский, Н.Н. Шалобита, Б.Г. Холодарь // Вестник БрГТУ. – 2008. – № 1(49): Строительство и архитектура. – С. 74–77.
2. Малиновский, В.Н. Исследование напряженно-деформированного состояния и разработка методики расчета в соответствии с СНБ 5.03.01-02 железобетонных балок с пологим отгибом части продольной предварительно-напряженной арматуры / В.Н. Малиновский, Н.Н. Шалобита, Б.Г. Холодарь // Сборник научных трудов II международного научно-практического семинара по реализации задач ГПОФИ «Строительство и архитектура», Минск, 19–21 сентября 2007 г. – В 3 т. – 2008. – Т. 1.
3. Малиновский, В.Н. Численное исследование напряженно-деформированного состояния в железобетонных балках с предварительно напряженной полого отогнутой арматурой / В.Н. Малиновский, Н.Н. Шалобита, П.В. Кривицкий // Вестник БрГТУ. – 2009. – № 1(55): Строительство и архитектура. – С. 64–68.

4. Малиновский, В.Н. Напряженно-деформированное состояние железобетонных балок с пологим отгибом части продольной предварительно напряженной арматуры / В.Н. Малиновский, Н.Н. Шалобыта, Б.Г. Холодарь // Сб. науч. трудов XVI международного научно-методич. семинара «Перспективы развития новых технологий в строит-ве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь», Брест, 28–30 мая 2009 г. – В 2 т. – 2009. – Т. 1. – С. 58–65.
5. Кривицкий, П.В. Влияние обжатия бетона предварительно напряженной полого отогнутой арматурой на напряженно-деформированное состояние железобетонных балок / П.В. Кривицкий, В.Н. Малиновский, Н.Н. Шалобыта // Сборник конкурсных работ студентов и магистров. БрГТУ, Брест. – 2009 г. – Ч. 1. – С. 36–39.
6. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение: ГОСТ 120 04-81. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 12 с.
7. Бетоны. Методы определения прочности на сжатие и растяжение: ГОСТ 10180-90-90. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 45 с.

27.01.10

SHALOBYTA N.N., MALINOVSKY V.N., KRIVITSKIY P.V. Technique of experimental researches of the is intense-deformed condition of ferro-concrete beams with flat отгибом parts of the longitudinal preliminary-strained armature

In clause the design of pre-production models and a technique of experimental researches by definition of the is intense-deformed condition in concrete preliminary strained ferro-concrete with preliminary strained hollow the unbent armature are resulted.

624.012.36

.

-

Введение. Экспериментально-теоретические исследования, представленные в данной статье, выполнены с целью изучения напряженного состояния, возникающего при предварительном напряжении арматуры физико-химическим и комбинированным способом, и его влияния при действии нагрузок на работу наклонных сечений железобетонных изгибаемых элементов.

Ранее выполненные исследования [1] показывают, что при предварительном напряжении продольной арматуры наклонные трещины появляются на большем расстоянии от опоры с меньшим углом наклона или на уровне центра тяжести сечения, причем нагрузка трещинообразования увеличивается. В исследованиях Р.П. Чехавичуса [2] отмечается, что при предварительном напряжении продольной арматуры прочность наклонного сечения увеличилась в 1,5 раза; величина сжатой зоны сечения в зависимости от величины предварительного напряжения арматуры изменялась от 3,4 до 12,1 см. Причем с увеличением предварительного напряжения арматуры как прочность, так и выносливость повышаются в большей степени для наклонных, чем для нормальных сечений.

Повышение прочности наклонных сечений в большей степени, чем нормальных, отмечено и в работе Г.М. Мамедова и Р.Д. Алиева [3]. При увеличении предварительного напряжения арматуры нижней зоны (растянутой при нагружении) от 0 до 380 МПа в элементах без поперечной арматуры прочность наклонного сечения возросла в 2–3 раза, а увеличение предварительного напряжения верхней продольной арматуры от 0 до 365 МПа способствовало росту прочности наклонного сечения на 15%.

Комплексные исследования изгибаемых элементов с обжатием бетона при опорной зоне в двух направлениях, выполненные Ю.В. Дмитриевым, Н.Н. Коробейниковым под руководством Г.И. Бердичевского и В.В. Михайлова [1], позволили получить следующие результаты:

- обжатие бетона в поперечном направлении до 0,4 МПа отдалило появление наклонных трещин на 15..35%, а до 1,0 МПа – на 50–60%;
- деформации в предварительно напряженных хомутах зафиксированы до появления наклонных трещин, что свидетельствует об их активной работе при восприятии усилий;
- обжатие бетона влияет на характер разрушения: без предварительного напряжения арматуры – спокойный, с предварительным напряжением арматуры – хрупкий;
- предварительное напряжение хомутов и отгибов, наличие армирующих самонапряженных вкладышей способствует росту трещиностойкости и прочности наклонных сечений.

Таким образом, напряженное состояние, возникающее в опорной зоне при обжатии бетона в результате предварительного напряжения продольной арматуры, позволяет повысить прочность и трещиностойкость наклонного сечения.

Предварительное напряжение арматуры физико-химическим и комбинированным способом. На практике широко применяется механический способ предварительного напряжения арматуры, в результате которого обжатие бетона происходит по направлению одной оси. Очевидно, что предварительное напряжение арматуры по направлению двух взаимно перпендикулярных осей будет оказывать положительное влияние на прочность и трещиностойкость наклонного сечения. Однако обжатие бетона в двух направлениях на практике не нашло применения, т. к. натяжение поперечной арматуры механическим способом выполнить весьма трудоемко.

Решение данной задачи возможно без дополнительных затрат при использовании бетона на напрягающем цементе. Способ предварительного напряжения арматуры за счет энергии расширения напрягающего бетона получил название физико-химического способа. В данном случае осуществляется натяжение арматуры в конструктивном элементе, независимо от ее ориентации в пространстве. То есть возможно создание линейного, плоского и объемного напряженного состояния в элементе при замене портландцемента на напрягающий цемент. В настоящее время в наибольшей степени изучены закономерности расширения напрягающего бетона в условиях одноосного и двухосного ограничения. Следует отметить, что при одноосном и двухосном ограничении деформациям расширения существуют отличия. Согласно [4], при одноосном ограничении деформациям расширения существует предел степени ограничения, выраженный коэффициентом ограничивающей арматуры $\rho_l \leq 3\%$. При большем количестве ограничивающей арматуры преобладают поперечные деформации, и возникает опасность появления продольных трещин.

При наличии двухосного ограничения деформациям расширения минимальное количество армирования в поперечном направлении даже при коэффициенте продольного армирования $\rho_l > 3\%$ ведет к росту самонапряжения в бетоне. Согласно [4], при исследованиях плит, армированных в двух направлениях, даже минимальное количество поперечной арматуры $\rho_{l,\min} = 0,15\%$ оказывало влияние на величину самонапряжения в продольном направлении.

Санникова Ольга Геннадьевна, ассистент кафедры оснований и фундаментов, инженерной геологии и геодезии Брестского государственного технического университета.

Кондратчик Александр Аркадьевич, кандидат технических наук, профессор кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

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