

Малиновский В.Н., Шалобыта Н.Н., Холодарь Б.Г.

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ ПОЛОГО ОТОГНУТОЙ АРМАТУРЫ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

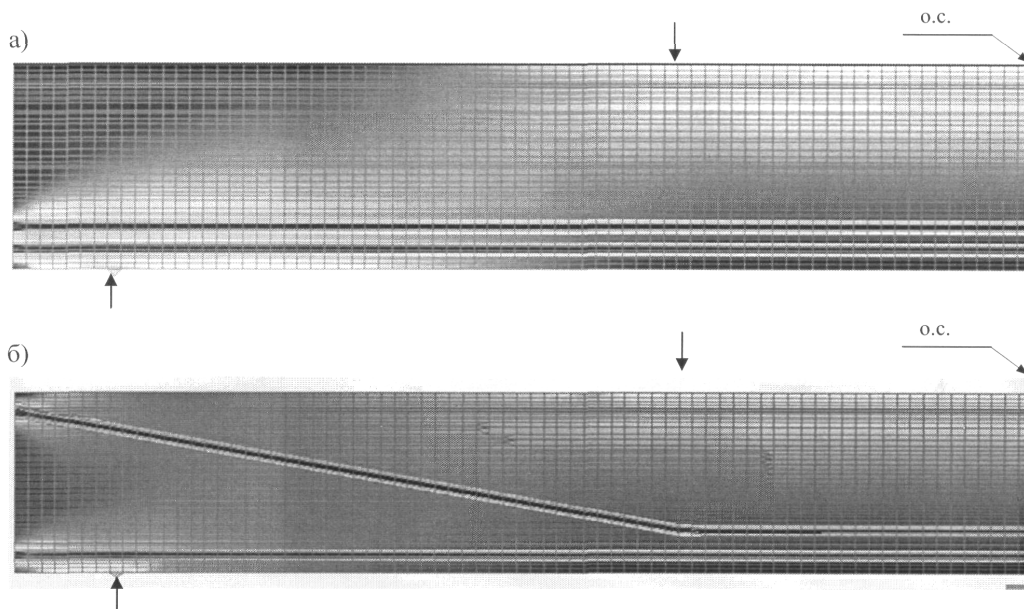


Рис. 1. Численная конечно-элементная модель балок с прямолинейной (а) и отогнутой (б) арматурой

Введение. Принципам экономичного проектирования железобетонных конструкций во многом отвечают выполнения требований распределения арматуры по направлениям внутренних усилий, возникающих от действия внешних нагрузок. Одним из возможных решений в этом направлении является использование в балках отгиба продольной арматуры из нижней зоны в пролете в верхнюю на опорах. Отгиб преднапряженной арматуры решает и другие важные вопросы и в первую очередь сопротивление бетона образованию наклонных трещин и увеличивает прочность наклонных сечений действию поперечных сил [1, 2, 4]. В отечественных нормах отгибы отнесены к одному из видов поперечного армирования, однако имеющиеся взгляды на их роль в повышении сопротивления действию внешних нагрузок неоднозначны и в некоторой степени даже противоречивы. С этим, в частности, связано отсутствие в отечественных нормах [3] для практического применения методики оценки несущей способности наклонных сечений для реальных балочных конструкций при малых углах отгиба, имеющих место в традиционно применяемых балках с соотношением высоты сечения к длине пролета $H/L=1/8 \div 1/20$. Исследования в этом направлении немногочисленны, но подчеркивают наличие изменений в картине напряженно-деформированного состояния бетона сравнительно с балками с прямолинейной арматурой. В этой связи изучение особенностей напряженно-деформированного состояния балок с полого отогнутой арматурой представляется важным для разработки методики расчета прочности наклонных сечений.

Численное моделирование балки. Материал железобетонных балок, армированных отогнутой арматурой, находится в сложном напряженном состоянии. Экспериментальное определение особенностей напряженно-деформированного состояния как бетона, так и арматуры по длине балки требует больших трудо- и материальных

затрат, поэтому целесообразным в их изучении является численное моделирование, в частности, с использованием конечно-элементных моделей. Авторами рассматривались плоская, объемная и пространственная модель балки, и на основании анализа установлено, что плоская модель удобна для предварительного анализа, отражая достаточно широкий круг сторон поведения рассматриваемой системы. Более сложные пространственные модели целесообразно использовать для описания работы той части бетона, которая находится вблизи арматурных стержней, в зонах опорных реакций и в местах приложения внешней нагрузки.

Исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) проводилось на первом этапе сравнением параметров НДС балок с прямолинейной (БП) и отогнутой (БО) арматурой. В качестве метода решения задачи выбрано конечно-элементное моделирование с использованием вычислительного комплекса «MSC.visualNastran for Windows». Сравнительный анализ проводится на железобетонных балках длиной 300 см с расчетным пролетом 270 см. Рабочая арматура (четыре напрягаемых стержня диаметром 14 мм класса S600) размещается в два ряда с рабочей высотой сечения $d=25$ см. В балках с отогнутой арматурой (БО) стержни верхнего ряда в третях пролета переведены из нижней зоны к верхней грани опорного сечения под углом 12° . В балках с прямолинейной арматурой (БП) все четыре стержня имеют прямолинейную траекторию. В сжатой зоне балок БО и БП устанавливались два ненапрягаемых стержня диаметром 12 мм класса S400. Результаты расчетов анализировались на предмет выявления отличительных особенностей, присущих каждой балке. В расчетах определялись компоненты напряжений и деформаций, главные напряжения и деформации, углы их наклона относительно продольной оси балки. При этом все расчеты проводились в предположении упругой работы материала. Конечно-элементная расчетная модель балки представлена на рис. 1.

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

Холодарь Борис Григорьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов БрГТУ.

Шалобыта Николай Николаевич, старший преподаватель кафедры строительных конструкций БрГТУ.

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

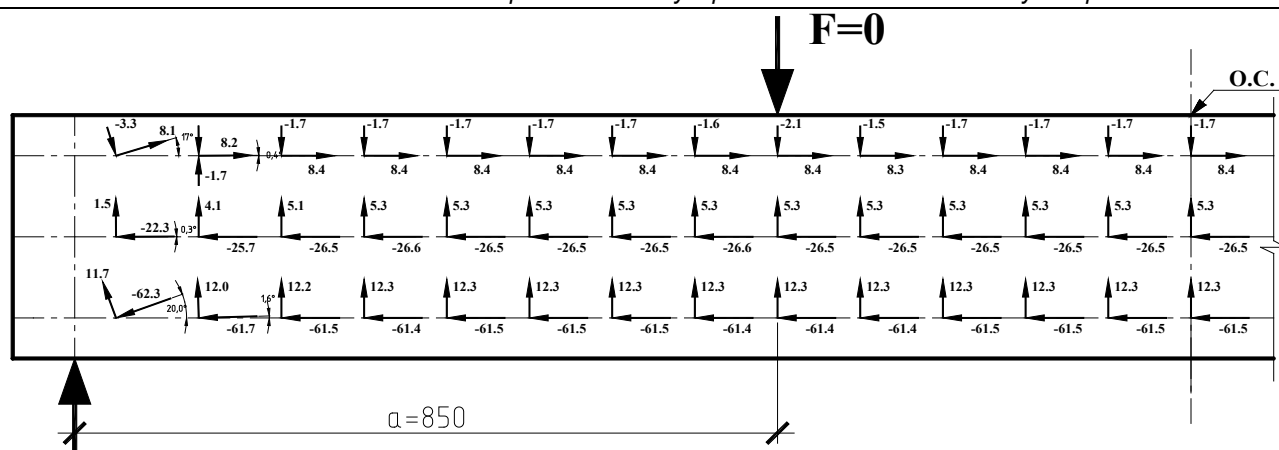


Рис. 2. Направление и величины главных деформаций ($\epsilon_c \cdot 10^{-5}$) в балке БП на стадии предварительного обжатия бетона

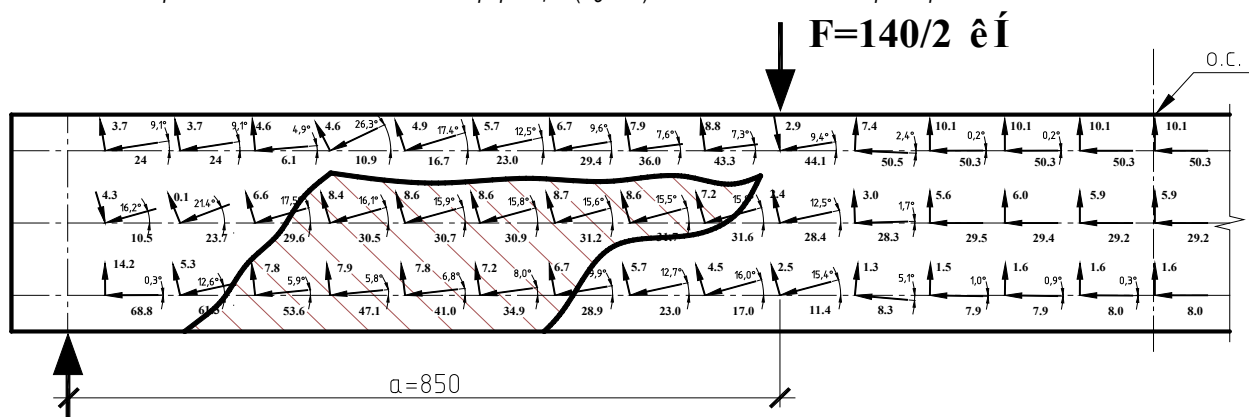


Рис. 3. Направление и величины главных деформаций ($\epsilon_c \cdot 10^{-5}$) в балке БП на стадии загрузки при совместном действии сил обжатия бетона и внешней нагрузки

Задание в расчетах предварительного напряжения в балках обеспечивается путем введения отрицательной разности температуры материалов арматуры и бетона. Необходимый уровень температуры подбирался с использованием экспериментальных данных [4] по максимальным выгибам моделируемой балки после создания в ней преднапряжения. Полученные при таком подходе расчетные напряжения в бетоне и арматуре хорошо согласуются с опытными.

С учетом имеющегося преднапряжения проведены расчеты расматриваемых балок с прямолинейной и отогнутой арматурой при действии на них внешней нагрузки, состоящей из двух сосредоточенных сил, приложенных симметрично относительно середины пролета однопролетной балки. Сравнение расчетных данных с экспериментальными, полученными в работе [4], показывает их высокое совпадение, что дает основание для возможности использования конечно-элементной модели для анализа напряженно-деформированного состояния подобного рода конструкции с целью выявления особенностей, которые вносятся наличием отгиба арматурных стержней. Этот анализ проведен с использованием плоских моделей, как более простых и наглядных и наиболее близко соответствующих общепринятому «сопроматовскому» подходу.

Анализ результатов численного расчета напряженно-деформированного состояния балок. Для анализа напряженно-деформированного состояния балок принято сопоставление главных деформаций, полученных по данным расчёта, так как такой подход имеет более достоверный характер по сравнению с сопоставлением главных напряжений. Определение величин главных напряжений связано с необходимостью использования зависимости между напряжениями и деформациями (диаграммы деформирования) в продольном и поперечном направлениях, которые, как известно, не являются однозначными функциями и зависят от напряженного состояния, на которое существенное влияние оказывает боковая составляющая усилий в отогнутой арматуре.

На рисунках 2 – 5 приведены величины и направления главных деформаций для балок с прямолинейной (БП) и отогнутой (БО) арматурой на двух этапах загрузки: после окончания обжатия $2F=0$ и при нагрузке $2F=140$ кН, при которой происходит образование первых нормальных трещин в балках БП и БО.

Из рисунка 2 следует, что при обжатии бетона в нижней и средней частях сечения по всей длине балки БП с предварительно напряжённой прямолинейной арматурой векторы главных деформаций укорочения имеют одинаковую величину и направлены горизонтально. В верхней зоне сечения по всей длине балки величины главных деформаций удлинения преобладают над деформациями укорочения.

С приложением внешней нагрузки (рис. 3) изменения напряженно-деформированного состояния, по данным расчёта, соответствуют общим представлениям о работе балки: в нижней части сечения горизонтальные главные деформации укорочения, вызванные усилиями предварительного обжатия, уменьшаются и переходят в деформации удлинения, а в верхней – главные деформации удлинения сменяются деформациями укорочения, значения которых возрастают; одновременно, соответственно, перпендикулярные им главные деформации удлинения – внизу уменьшаются и переходят в деформации укорочения, а деформации укорочения – сверху изменяются незначительно. В средней же части сечения пропорциональной зоны балки (на рис. 3 эта зона выделена) с ростом внешней нагрузки величины главных деформаций укорочения изменяются (увеличиваются) незначительно, однако направления их принимают вполне определённую ориентацию – «опора – пролётный груз», а угол наклона к продольной оси составляет $15,5^\circ - 16^\circ$. Значения главных деформаций удлинения в этих точках увеличиваются с ростом нагрузки и, достигая предельных значений, создают условия для образования наклонных трещин, начинающихся в средней трети высоты сечения, так как величины главных деформаций удлинения в средней трети высоты сечения преобладают над одноимёнными деформациями нижней зоны.

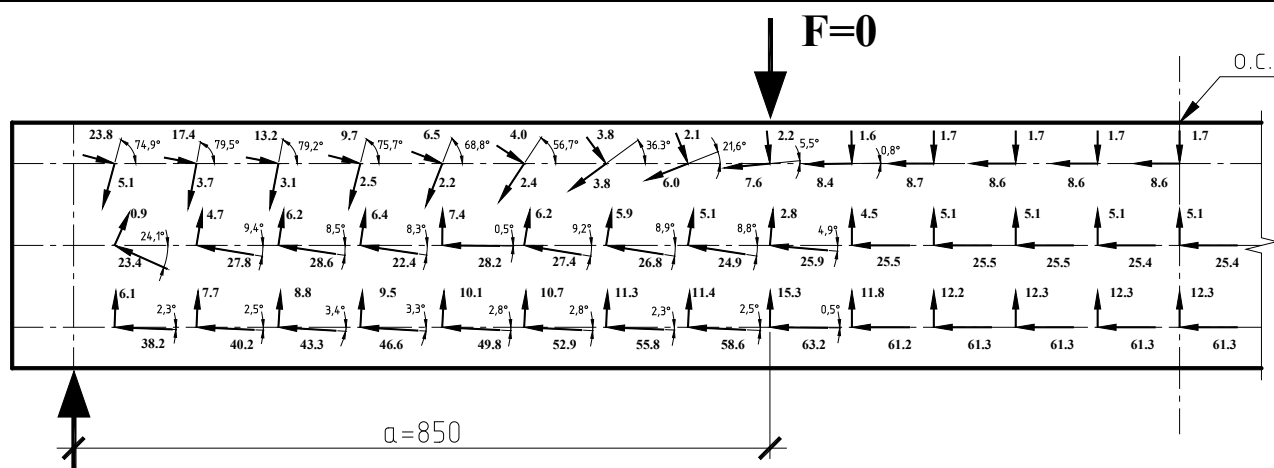


Рис. 4. Направление и величины главных деформаций ($\epsilon_c \cdot 10^{-5}$) в балке БО-1 на стадии предварительного обжатия бетона

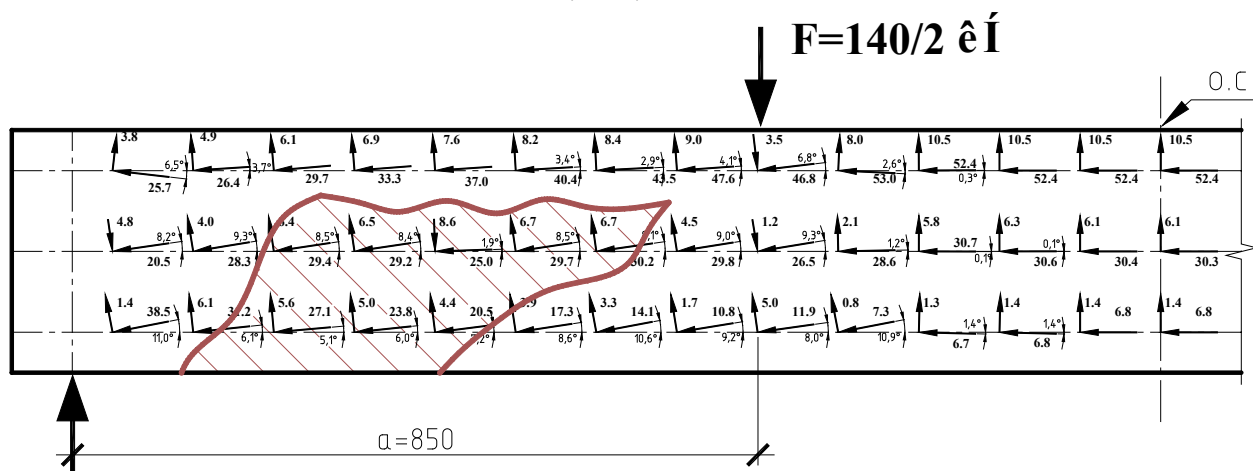


Рис. 5. Направление и величины главных деформаций ($\epsilon_c \cdot 10^{-5}$) в балке БО-1 на стадии загрузки при совместном действии сил обжатия бетона и внешней нагрузки

В балках БО (рис. 4) наличие преднапряжённой отогнутой арматуры изменило характер напряжённо-деформированного состояния при предварительном обжатии и отразилось на работе балки при действии внешней нагрузки. Если у нижней грани балки после окончания обжатия векторы главных деформаций укорочения направлены почти горизонтально, то в средней трети высоты сечения опорной зоны векторы сжатия имеют направление к точке приложения усилия в отогнутой арматуре и угол наклона к продольной оси балки составляет $-8^\circ \div -9^\circ$. На верхней грани балки на большей части приопорной зоны (зоны расположения отгиба) главные деформации укорочения преобладают над деформациями удлинения, а в средней зоне пролёта балки, где направление арматуры прямолинейное, и на незначительном удалении к опоре от сечения с отгибом, деформации удлинения преобладают над деформациями укорочения (исключение составляет точка, расположенная на траектории отогнутой арматуры). С приложением внешней нагрузки в зоне максимальных изгибающих моментов в средней трети высоты сечения величины главных деформаций укорочения незначительно увеличиваются, в такой же степени изменяются и перпендикулярные им деформации удлинения, не изменяя своей ориентации (рис. 5). В приопорной зоне в середине высоты сечения с приложением нагрузки главные деформации укорочения и удлинения практически не изменили своих значений. Данное обстоятельство значительно уменьшает возможность образования наклонных трещин, начинающихся в средней трети высоты сечения. С приложением внешней нагрузки происходит поворот главных площадок против часовой стрелки. Угол наклона к продольной оси деформаций укорочения при действии нагрузки в зоне возможного появления магистральной наклонной трещины (на рисунке 5 данная зона выделена) составляет только 8.5° . Тем не менее, общий поворот главных площадок в средней трети высоты

сечения опорной зоны в балках с отогнутой арматурой практически соответствует углу поворота площадок с прямолинейной арматурой, направление вектора главных деформаций укорочения более пологое к продольной оси элемента, чем в балка БП. Последнее объясняется исходным (при создании преднапряжения бетона) отличием напряжённо-деформированного состояния балок с отогнутой арматурой в сравнении с прямолинейной.

Уменьшение в балках БО степени обжатия бетона в балках с отогнутой напрягаемой арматурой не повлияло на направление главных деформаций укорочения и удлинения, а сказалось лишь на их величинах. Погашение сжимающих деформаций, возникающих от обжатия предварительно напряженной арматурой, и достижение предельных деформаций удлинения на нижней грани сечения происходит в этих балках при меньших внешних нагрузках, что приводит к более раннему образованию нормальных трещин. Кроме того, в балках с небольшой степенью предварительного напряжения отогнутой арматуры имеются возможности для достижения главными деформациями удлинения в средней части высоты сечения пропорной зоны своих предельных значений, что вызовет здесь образование наклонных трещин. Зона возможного образования наклонных трещин расширяется к опоре с уменьшением степени обжатия.

Уменьшение или увеличение пролёта среза в балках БО влияет только на величину нагрузок (моментов) появления нормальных трещин и не оказывает существенного влияния на общую картину напряжённо-деформированного состояния независимо от того расположен отгиб в зоне чистого изгиба или приопорной зоне.

Выводы

1. Моделирование предварительно-напряженных балок с помощью метода конечных элементов, в котором предварительное

- напряжение как в бетоне так и арматуре задаются коэффициентами линейного расширения материалов, позволяет создать заданное преднапряжение бетонного блока по объему и получить результаты близкие к экспериментальным.
2. На основании полученных результатов численного анализа можно утверждать, что:
 - при обжатии бетона в балках с полого отогнутой арматурой векторы главных деформаций сжатия в средней части высоты сечения зоны отгиба направленных к точке приложения усилий в отогнутой арматуре;
 - с приложением внешней нагрузки векторы главных деформаций сжатия бетона балок с отогнутой арматурой наклонены к продольной оси в меньшей степени, чем в балках с прямолинейной арматурой;
 - в стадии загрузки в балках с отогнутой арматурой образование магистральной наклонной трещины ожидается с нижней зоны сечения;

- проекция наклонной трещины на продольную ось в балках с отогнутой арматурой имеет большую величину, чем в балках с прямолинейной арматурой.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Техничко-экономические показатели стропильных балок с отогнутой арматурой. /Цыганков И.И., Дмитриев Ю. В., Сасонко Л.В. и др. //Промышленное строительство. –1970. –№10. –с.21–22.
2. Евграфов Г.К., Иосилевский П.И., Чирков В.П. Эффективность применения полигональной и верхней напрягаемой арматуры //Транспортное строительство. –1959. –№4. –с.10–16.
3. СНБ 5.03.01–02 “Бетонные и железобетонные конструкции”. Стройтехнорм, 2002 – с. 274.
4. Малиновский В.Н. Сопротивление предварительно напряжённых 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–с.24.

Материал поступил в редакцию 03.01.08

MALINOVSKI V.N., CHOLODAR B.G., SHALOBYTA N.N. Influence previously intense flat bent of the fixture on is intense - is deformed a condition of ferro-concrete beams

There are the results and analysis of calculations of the intense-deformed condition of beams with the rectilinear and bent armature at the stage of creation preliminary grasping of concrete and at the stage of the action of the external load. It is established that the presence of the preintense bent armature changes the character of the intense-deformed condition at preliminary grasping of concrete and the given circumstance is reflected in work of a beam at the stage of loading (stuffing). On the basis of the analysis of the intense-deformed condition nearby the beam zone it is proved that in beams with rectilinear strained armature there are conditions for formation (along the middle of height of section) of the main inclined crack, but in beams with the bent preintense armature the main crack is formed as a continuation of normal cracks formed on the bottom side of a beam and has more flat character. The conclusion is that in such beams the basic sites can not have orthogonal cross-section armature, and the projection of inclined cracks to a longitudinal axis of a beam has the great size.

УДК 624.94:69.057.122

Драган В.И., Луговской М.А., Мухин А.В.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ЖЕСТКИМ ВНЕШНИМ АРМИРОВАНИЕМ С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ АНКЕРНЫХ УСТРОЙСТВ

Введение. Развитие железобетонных конструкций характеризуется поиском новых видов сочетаний стали и бетона для обеспечения их рациональной совместной работы. Традиционные железобетонные конструкции имеют ряд недостатков. Основные из них – трудоемкость изготовления, а также использование дорогостоящей и, как правило, нерационально используемой опалубки. Недостаток стальных конструкций – возможность потери общей или местной устойчивости, крайне низкая огнестойкость, необходимость защиты от коррозии.

В сталежелезобетонных конструкциях внешнее армирование, которое одновременно выполняет силовые, защитные, изоляционные функции, позволяет не только в значительной степени устранить эти недостатки, но и увеличить прочность бетона за счет его работы в обойме и несущую способность всей конструкции в целом.

Были проведены экспериментально исследования изгибаемых сталежелезобетонных элементов с жестким внешним армированием и тремя видами анкерных устройств. Испытания проводились в балочном испытателе в лабораторных условиях.

Целью исследований являлось:

- определение характера предельного состояния изгибаемых сталежелезобетонных элементов с жестким внешним армированием с тремя видами анкерных устройств;
- исследование напряженно-деформированного состояния изгибаемых сталежелезобетонных элементов с жестким внешним армированием.

Методика проведения испытаний. Исследования напряженно-деформированного состояния изгибаемых сталежелезобетонных

элементов с жестким внешним армированием выполнены на образцах трех типов, отличающихся по виду анкерных устройств, используемых для обеспечения совместной работы железобетонного ядра и внешнего жесткого армирования. Сталежелезобетонное сечение элементов состоит из двух прокатных швеллеров №20 по ГОСТ 8240 из стали класса С245 по ГОСТ 27772, пространство между которыми заполнено бетоном, имеющим среднюю кубиковую прочность 34,44 МПа, армированным двумя стержнями Ø10 мм класса S400 (А-III), расположенными в растянутой зоне.

Совместная работа внешнего жесткого армирования и железобетонного ядра обеспечивается при помощи различных анкерных устройств. Во всех элементах присутствуют гибкие анкерные устройства из арматурных стержней Ø10 мм класса S400 (А-III), приваренных к стенкам швеллеров в сжатой и растянутой зоне бетона. В элементах типа 1 также применены анкерные устройства из прокатных равнополочных уголков L25x4 по ГОСТ 8509 из стали класса С245 по ГОСТ 27772, которые расположены перпендикулярно к продольной оси элементов. В элементах типа 2 применены анкерные устройства из прокатных равнополочных уголков L25x4 по ГОСТ 8509, которые расположены наклонно к продольной оси элементов под углом 45°. В элементах типа 3 анкерные устройства из прокатных уголков отсутствуют (рис. 2, а, б, в).

Конструктивное решение опытных образцов типа 1 приведено на рис. 1.

Опытную конструкцию при помощи траверсы загружали двумя сосредоточенными силами для создания области чистого момента. Нагружение осуществлялось гидравлическим домкратом ДГ-50 гру-

Драган Вячеслав Игнатьевич, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета (БрГТУ).

Луговской Михаил Анатольевич, младший научный сотрудник НИЧ БрГТУ.

Мухин Анатолий Викторович, кандидат технических наук, профессор кафедры строительных конструкций БрГТУ.

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