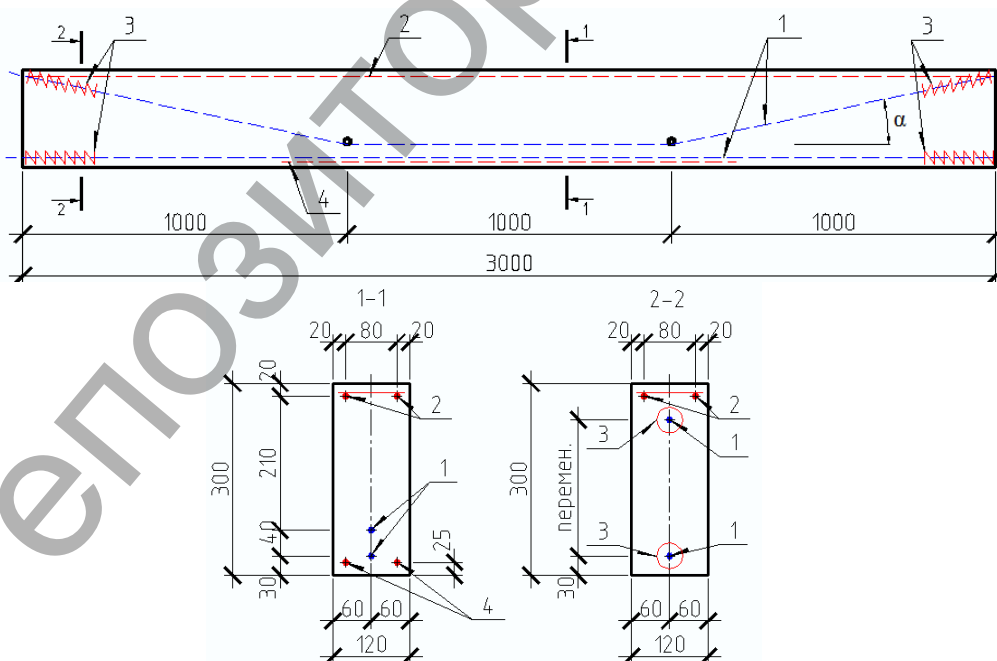


ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРЕДНАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С КАНАТНОЙ ОТОГНУТОЙ АРМАТУРОЙ ИЗГИБУ С ПОПЕРЕЧНОЙ СИЛОЙ

Введение. В мировой практике строительства особое место занимают железобетонные балочные конструкции с отгибом части продольной предварительно напрягаемой арматуры из нижней зоны в пролете в верхнюю на опорах. Их внедрение является обоснованно целесообразным и обусловлено неоспоримой экономичностью и эксплуатационной эффективностью. Но основным препятствием для широкого использования подверженных изгибу железобетонных конструкций с полого отогнутой преднапряженной арматурой является недостаточная изученность сопротивления таких элементов изгибу с поперечной силой, а применяемые методики расчета прочности сечений, наклонных к продольной оси, требуют уточнений. Еще менее изученными являются вопросы, связанные с работой сечений в зоне среза изгибаемых элементов с отгибами преднапряженных канатов, являющихся наиболее эффективным видом армирования на современном этапе. Установлено, что на прочность сечений, наклонных к продольной оси элементов с прямолинейной продольной преднапряженной арматурой, оказывают влияние такие факторы, как прочность бетона, высота сечения элемента, пролет среза, сила обжатия бетона. Очевидно, что напряженно-деформированное состояние в зоне среза балок при нагружении зависит от начального напряженно-деформированного состояния, отличающегося в зависимости от того, как произведено обжатие – прямолинейной или отогнутой арматурой. Для определения влияния основных факторов с целью получения равнопрочности нормальных и наклонных сечений изгибаемых элементов не менее важным остается учет зоны анкеровки и передачи усилия обжатия бетона арматурными канатами. Исследование отличительных особенностей напряженно-деформированного состояния и

сопротивления внешним воздействиям железобетонных балок с полого отогнутой предварительно напрягаемой канатной арматурой рассматривается в данной работе.

Характеристика опытных образцов. Для выявления отличительных особенностей в напряженно-деформированном состоянии железобетонных балок с полого отогнутой преднапряженной арматурой, в сравнении с балками с прямолинейной арматурой, были выполнены экспериментальные исследования и сопоставительный анализ процессов трещинообразования и разрушения балок с отогнутой и прямолинейной напрягаемой арматурой. В качестве опытных образцов применялись предварительно напряженные балки прямоугольного поперечного сечения с размерами $b \times h = 120 \times 300$ мм длиной 3,0 м (расчетный пролет 2,6 м), выполненные из бетона средней кубиковой прочностью, варьирующейся в пределах 26–58 МПа. Армировались балки в растянутой зоне двумя канатами диаметром 9 мм ($A_{sr} = 1,0$ см²) или 12,5 мм ($A_{sr} = 1,86$ см²), расположенные один над другим (верхний и нижний канат) в плоскости изгиба. Коэффициент армирования составлял 0,33% и 0,62% соответственно. В опытных балках применялись канаты с временным сопротивлением $f_{pk} = 1890$ и 1830 МПа и согласно нормам [1] соответствует классу Y1860S7. Для усиления прочности нормальных сечений в зоне чистого изгиба дополнительно принималась ненапрягаемая арматура $\varnothing 16$ S500 с $A_{sr} = 4,02$ см² у нижней и $\varnothing 12$ S500 с $A_{sr} = 2,26$ см² у верхней граней опытных балок. Конструктивные данные опытных балок отражены на рисунке 1 и в таблице 1.



1 – семипроволочные канаты диаметром 9 (12,5) мм; 2 – стержневая арматура $\varnothing 12$ S500; 3 – спирали косвенного армирования; 4 – стержневая арматура $\varnothing 16$ S500

Рис. 1. Армирование опытных образцов

Малиновский Василий Николаевич, к.т.н., доцент, профессор кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Кривицкий Павел Васильевич, аспирант кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Таблица 1. Основные конструктивные характеристики опытных балок

Серия	Марка балок	Диаметр напрягаемого каната, мм	Угол отгиба напрягаемого каната, град	Величина преднапряжения нижних канатов, МПа	Величина преднапряжения верхних канатов, МПа	Пролет среза, см
БО-I	БО-I-1	12,5	9,0	946	928	80
	БО-I-2	12,5	9,0	941	920	80
	БО-I-3*	12,5	9,0	934	915	80
	БО-I-4	12,5	9,0	958	921	62,5
	БО-I-5	12,5	9,0	947	930	80
	БО-I-6	12,5	9,0	796	780	80
БО-II	БО-II-1	12,5	9,0	940	924	80
	БО-II-2	12,5	9,0	1233	1190	80
БО-III	БО-III-1	12,5	12,0	1240	1205	80
	БО-III-2	12,5	12,0	1231	1196	80
БО-IV	БО-IV-1	12,5	12,0	937	912	80
	БО-IV-2*	12,5	9,0	945	920	80
БО-V	БО-V-1	9,0	12,0	1285	1263	80
	БО-V-2	9,0	9,0	1276	1256	62,5
БО-VI	БО-VI-1	12,5	18,0	954	940	80
	БО-VI-2*	12,5	18,0	968	931	80
БП	БП-1*	12,5	-	972	980	80
	БП-2	12,5	-	981	975	80

Конструктивное решение опытных балок с полого отогнутой преднапряженной канатной арматурой характеризовалось отсутствием поперечного армирования. В образцах группы БП предусматривалось поперечное армирование количеством больше и меньше минимального $\rho_{sw,min}$. Данная группа применялась для выявления отличий в напряженно-деформированном состоянии балок с отогнутой и прямолинейной канатной арматурой, а также для оценки вклада нагельного эффекта ненапрягаемой стержневой продольной арматуры и поперечного армирования в сопротивлении срезу.

В балках группы БО преднапрягаемые верхние канаты в третях пролета отгибались из нижней зоны в пролете в верхнюю на опорах. Угол наклона отгиба составил 9° , 12° и 18° . В зависимости от прочности бетона, угла наклона отогнутых канатов, уровня натяжения и диаметра канатов балки первой группы разделены на 6 серий (таблица 1).

Балки серий БО-I, БО-II отличались прочностью бетона. Образцы БО-I изготавливались из бетона средней кубиковой прочности $f_{cm,cube}^{C50}=51\div 57$ МПа, образцы серии БО-II имели прочность $f_{cm,cube}^{C40}=26\div 28$ МПа.

В балках серий БО-I, БО-II относительное усилие натяжения канатов с учетом потерь составляло $\sigma_{sp}/f_{p0,1k}=0,58\div 0,59$.

На опытных образцах балок серии БО-III, БО-IV рассматривалось влияние уровня относительного предварительного натяжения отогнутых и прямолинейных канатов. В балках серии БО-IV уровень относительного предварительного натяжения с учетом потерь составлял $\sigma_{sp}/f_{p0,1k}=0,55\div 0,57$, в БО-III – $\sigma_{sp}/f_{p0,1k}=0,74\div 0,77$. Образцы серий БО-III, БО-IV имели прочность $f_{cm,cube}^{C40}=26\div 28$ МПа.

Влияние диаметра каната на сопротивление срезу изучалось на балках серии БО-V, где в качестве прямолинейной и отогнутой арматуры приняты канаты $\varnothing 9$ мм при относительном усилии натяжения с учетом потерь $\sigma_{sp}/f_{p0,1k}=0,8$.

На опытных балках БО-IV-1, БО-IV-2 и БО-VI-1 изучалось влияние угла наклона отогнутого каната при практически постоянном усилии натяжения канатов – $\sigma_{sp}/f_{p0,1k}=0,55\div 0,59$.

В образцах БО-I-3 и БО-IV-2 (в таблице 1 балки помечены знаком «*») на концевых участках прямолинейных и отогнутых канатов, а в балке БО-VI-2 в теле бетона опорных зон предусматривалась дополнительная анкеровка напрягаемой арматуры. При этом в образце БО-VI-2 отсутствовало косвенное спиральное армирование.

Балки группы БП имели два напрягаемых каната, расположенных прямолинейно, и армировались пространственным каркасом КП-I, содержащим продольную ненапрягаемую арматуру и поперечные ортогональные замкнутые хомуты из проволоки $\varnothing 3$ и 5 мм с пределом текучести 542 и 555 МПа. Расположена в опорной зоне поперечная арматура с шагом $s=100$ мм.

В образце БП-1 в теле бетона в опорных зонах балок предусматривалась анкеровка напрягаемой арматуры при помощи инвентарных зажимов. В балках БП-2 инвентарные зажимы отсутствовали.

Испытывались опытные балки, за исключением балок БО-I-4 и БО-V-2, при относительном пролете среза $a/h=2,67$ по схеме балка на двух опорах, нагруженная двумя сосредоточенными силами. В образцах БО-I-4 и БО-V-2 относительный пролет среза составлял $2,08$.

Процесс трещинообразования и характер разрушения опытных балок. В балках серии БО-I прочность бетона составляла $f_{cm,cube}^{C50}=51\div 57$ МПа и верхний ряд предварительно напряженных канатов в третях пролета отогнут к продольной оси элемента под углом $\alpha=9^\circ$. Усилие натяжения канатов с учетом потерь для балках БО-I-1, БО-I-2 и БО-I-5 принято $\sigma_{sp}/f_{p0,1k}=0,59$. В балке БО-I-6 относительное усилие натяжения канатов с учетом потерь – $\sigma_{sp}/f_{p0,1k}=0,49$. В образце БО-I-3, в отличие от вышеупомянутых балок, на концевых участках прямолинейных и отогнутых канатов дополнительно устанавливались инвентарные анкера. Испытывались данные балки при относительном пролете среза $a/h=2,67$. Испытание балки БО-I-4 осуществлялось при относительном пролете среза $a/h=2,08$.

При нагружении балок серии БО-I, несмотря на разные пролеты среза, усилие обжатия бетона и дополнительную анкеровку напрягаемой арматуры, первыми образовывались при нагрузке $2F_{exp}=60\div 70$ кН по всей длине зоны «чистого» изгиба нормальные к продольной оси элемента трещины. Шаг трещин составлял $S_{cr}=80\div 120$ мм, ширина раскрытия их достигала $W_k=0,05$ мм. При дальнейшем увеличении нагружения образовывались с таким же шагом и раскрытием нормальные трещины и в сечениях непосредственно или вблизи приложения пролетной силы со стороны отгиба арматуры, однако, дойдя до уровня отогнутых канатов, их развитие приостанавливалось.

При последующем возрастании внешней нагрузки ($2F_{exp}=90\div 110$ кН) с удалением от точки перегиба каната в сторону опоры на длине $120\div 220$ мм ($d/2\div d$) образовывались новые нормальные трещины, которые при дальнейшем увеличении нагрузки «переходили» в слабонаклонные к вертикали, и их развитие, дойдя до уровня отогнутого каната, вначале приостанавливалось, а затем в месте пересечения трассировки отогнутого каната изменяли направление на более пологое. В зоне пересечения с трассировкой отогнутых канатов данные трещины приобретали «z-образную» траекторию. Данное обстоятельство наблюдалось и ранее при испытаниях балок с предварительно напряженной стержневой [2] и канатной [3] отогнутой арматурой, проводимых в НИИЖБе и БрГТУ.

За несколько ступеней нагружения, предшествовавших исчерпанию несущей способности балок ($2F_{exp}=115\div 120$ кН), в опорных зонах ранее и вновь образовавшиеся наклонные трещины развивались как к верхней, так и к нижней граням, образуя явно выра-

женные диагональные трещины. Ширина раскрытия их в уровне трансировки отогнутого каната достигала $W_k=0,1$ мм, выше – 0,15 мм и ниже – 0,4 мм. По одной из диагональных трещин (магистральной) происходило разрушение балок с раздроблением сжатого бетона в конце магистральной наклонной трещины в балках БО-I-1, БО-I-2 или срезом бетона сжатой зоны в балках БО-I-3÷БО-I-6. Угол наклона магистральной трещины в зоне пересечения с отогнутым канатом составлял $26\div38^\circ$.

Уменьшение относительного пролета среза для образца БО-I-4 повысило нагрузку трещинообразования, а уменьшение усилия обжатия бетона в балке БО-I-6 привело к более раннему появлению нормальных трещин, однако данные обстоятельства не повлияли на качественную картину расположения трещин и характер разрушения опытных балок.

Таким образом, исчерпание несущей способности опытных балок серии БО-I характеризовалось разрушением по диагональной трещине со сдвигом двух частей балок.

В опытных образцах серии БО-II, в отличие от балок серии БО-I, был принят бетон меньшей прочности ($f_{cm,cube}=26\div28$ МПа). Данное обстоятельство сказалось на более раннем образовании ($2F_{exp}=35\div50$ кН) и на меньшем количестве, но с большей шириной раскрытия ($W_k=0,1\div0,2$ мм), трещин, как в зоне максимальных изгибающих моментов, так и в зоне совместного действия изгибающих моментов и поперечных сил. Следует отметить, что после образования первых наклонных трещин в опорной зоне балок серии БО-II с ростом нагрузки развитие происходило как в сторону пролетного груза, так и в сторону опорной реакции под более пологим углом наклона магистральной трещины. Разрушение опытных балок происходило по наклонной трещине с раздроблением бетона сжатой зоны.

В образцах серии БО-III, по сравнению с образцами серии БО-II, увеличено усилие предварительного обжатия бетона до величины $(0,74\div0,77)f_{p0,1k}$ при использовании бетона прочностью $f_{cm,cube}=38\div45$ МПа. Изменение двух факторов, влияющих на сопротивление элемента одновременно, было вызвано изучением влияния уровня преднапряжения при традиционно применяемой прочности бетона балочных конструкций. Отличительной особенностью процесса трещинообразования образцов серии БО-III является резкое изменение угла наклона диагональных трещин в уровне середины высоты балок и в месте пересечения с отогнутым канатом. Ширина раскрытия трещин балок серии БО-III имела меньшее значение, чем выше по ее траектории. Кроме этого, в образце БО-III-1 наблюдалось втягивание прямолинейных канатов, что в дальнейшем повлияло на траекторию магистральной трещины. Разрушение балок БО-III произошло по диагональной трещине в результате раздробления или среза сжатого бетона в конце наклонных трещин.

Уменьшение усилия преднапряжения канатов до $0,65f_{p0,1k}$ в серии образцов БО-IV, в отличие от серии БО-III, способствовало более раннему появлению нормальных трещин непосредственно под грузом. Трещинообразование в зоне «чистого» изгиба происходило более интенсивно, чем в балках БО-III. Появление слабонаклонных трещин, формирующихся от продолжения нормальных, происходило практически мгновенно, и начальная ширина раскрытия составляла $W_k\approx 1,0\div1,5$ мм. В данный момент наблюдалось втягивание прямолинейных и отогнутых канатов на торце балки БО-IV-1. Разрушение данной балки произошло в результате поворота двух блоков, сформированных наклонной трещиной, относительно центра сжатой зоны и причиной разрушения явилось втягивание канатов у торцов балки. Постановка анкеров по торцам балки БО-IV-2 «сместила» ближе к опоре место формирования магистральных наклонных трещин, по сравнению с балками серии БО-III-2, и повлияло на процесс разрушения балки, характеризующийся раздроблением бетона сжатой зоны.

В балках БО-V, по сравнению с балками серии БО-IV, для прямолинейной и отогнутого армирования использовались канаты $\varnothing 9$ мм при том же уровне предварительного обжатия бетона балок. Уровень преднапряжения канатов данных балок составлял $0,8f_{p0,1k}$. Несмотря на разницу диаметров армирования при одинаковом уровне обжатия бетона, характер и последовательность трещинообразования опытных образцов подобны балкам серии БО-IV. Более высокий уровень преднапряжения канатов в балках БО-V оказал влияние на увеличение длины зоны передачи усилия преднапряжения балок и этим способствовал более раннему появлению наклон-

ных трещин по сравнению с балками серии БО-IV. Балки данной серии, независимо от пролета среза, разрушались практически сразу после формирования трещины типа «изгиб-сдвиг» с растянутой грани балки, в результате взаимного поворота частей балок относительно мгновенного центра вращения.

В отличие от балок серии БО-IV, в образцах серии БО-VI верхний канат отгибался под углом 18° к продольной оси элемента. На первых этапах загрузки в балках БО-VI наблюдалось незначительное снижение, в сравнении с балками серии БО-IV, нагрузки трещинообразования нормальных трещин с растянутой зоны в сечениях под пролетным грузом. Данное обстоятельство вызвано, видимо, увеличением растягивающих напряжений в зоне перегиба каната при угле отгиба 18° . Однако при дальнейшем увеличении нагрузки трещины развивались равномерно на всей длине участка между силами. Увеличение угла отгиба верхнего каната до 18° способствовало уменьшению угла наклона магистральной диагональной трещины в точке пересечения с канатом по сравнению с балками БО-IV. Разрушение образцов серии БО-VI произошло по наклонному сечению в результате раздробления бетона над диагональной трещиной (образец БО-VI-1) и взаимного поворота частей балки относительно мгновенного центра вращения (образец БО-VI-2).

Основные результаты экспериментальных исследований опытных балок представлены в таблице 2. На рисунке 2 показан процесс развития трещин и характер разрушения опытных балок серии БО после их испытания.

В балках группы БП канаты располагались прямолинейно по длине пролета. Первые нормальные трещины в данных балках с шириной раскрытия $W_k<0,05$ мм формировались при суммарной нагрузке $2F_{exp}=70\div85$ кН под пролетным грузом или в непосредственной близости от него в зоне действия изгибающих моментов. При последующем нагружении трещины равномерно появлялись на всем участке между грузами с минимальным шагом $S_{cr}=50\div100$ мм. В зоне одновременного действия изгибающих моментов и поперечных сил, при последующем возрастании нагрузки, вблизи пролетной сосредоточенной силы (на длине ~ 150 мм от отгиба к опоре), зафиксированы нормальные трещины, переходящие в слабонаклонные к вертикали. Получив сразу определенное развитие, дальнейшее распространение указанных трещин происходило с ростом нагрузки.

При нагрузке $2F_{exp}=110\div125$ кН в балках БП в средней трети высоты сечения над верхним предварительно напряженным канатом образовывались наклонные трещины с шириной раскрытия, не превышающей $W_k=0,05$ мм. Такой характер трещинообразования имеет место в балках с прямолинейным расположением преднапряженной арматуры, в которых по причине непогашения преднапряжения бетона внешним нагружением на значительном участке обжатого бетона приопорной зоны не создаются условия к формированию наклонных трещин с нижней грани [2].

В балке БП-1 при последующем нагружении после образования первых наклонных трещин формировались с шириной раскрытия до $W_k=0,05$ мм новые наклонные трещины с меньшим углом наклона к продольной оси, а раскрытие имевшихся трещин приостанавливалось. При нагрузке $2F_{exp}=170$ кН появилась и сразу получила значительное развитие магистральная трещина над верхним канатом. Однако при подходе к нижнему продольному канату ее дальнейшее развитие приостанавливалось. По всей видимости, на раскрытии данной трещины сказались наличие поперечной и продольной арматуры в балке. Даже ее минимальное количество ($\rho_{sw}<\rho_{sw,min}$) повысило трещиностойкость балки. За несколько этапов до разрушения ($2F_{exp}=200$ кН) на концевых участках, несмотря на наличие анкеровки напрягаемой арматуры гильзовыми зажимами было зафиксировано втягивание канатов относительно торца балки, которое возрастало при дальнейшем увеличении нагружения. Наличие продольной ненапрягаемой конструктивной арматуры нижней зоны повысило несущую способность балки, вследствие включения в работу на восприятие растягивающих и перерезывающих усилий за счет нагельного эффекта. Сказалось на несущую способность также работа, образованной пространственным вязанным каркасом, «силовой обоймы», препятствующей эффекту «расплетания» канатов [4], что наблюдалось во всех образцах серий БО. В момент разрушения угол наклона магистральной диагональной трещины составлял $\theta=34^\circ$ (рис. 3).

Таблица 2. Основные результаты экспериментальных исследований

Серия	Марка балок	Появление нормальных трещин $2F_{exp,cr}$, кН	Появление наклонных трещин в зоне «среза» $2F_{exp,cr}$, кН	Общая разрушающая нагрузка $2F_{exp}$, кН	Характер разрушения
I	БО-I-1	70	120	154	По наклонной трещине с раздроблением бетона над трещиной
	БО-I-2	60	120	148	
	БО-I-3	65	115	145	
	БО-I-4	70	130	158	По наклонной трещине со срезом бетона сжатой зоны
	БО-I-5	65	120	148	
	БО-I-6	45	115	132	
II	БО-II-1	40	60	69	По наклонной трещине с раздроблением бетона над трещиной
	БО-II-2	35	65	67	
III	БО-III-1	60	80	90	По наклонной трещине со срезом бетона сжатой зоны
	БО-III-2	55	75	85	
IV	БО-IV-1	40	75	75	По наклонной трещине с продергиванием прямолинейного каната
	БО-IV-2	40	73	75	По наклонной трещине со срезом бетона сжатой зоны
V	БО-V-1	50	65	68	По наклонной трещине с продергиванием прямолинейного каната
	БО-V-2	60	90	93	
VI	БО-VI-1	35	75	85	По наклонной трещине с продергиванием прямолинейного каната
	БО-VI-2	35	80	95	По наклонной трещине с раздроблением бетона над трещиной
VII	БП-1	85	125	230	По наклонной трещине со сдвигом обеих частей балки
	БП-2	70	115	270	По нормальному сечению с раздроблением бетона сжатой зоны

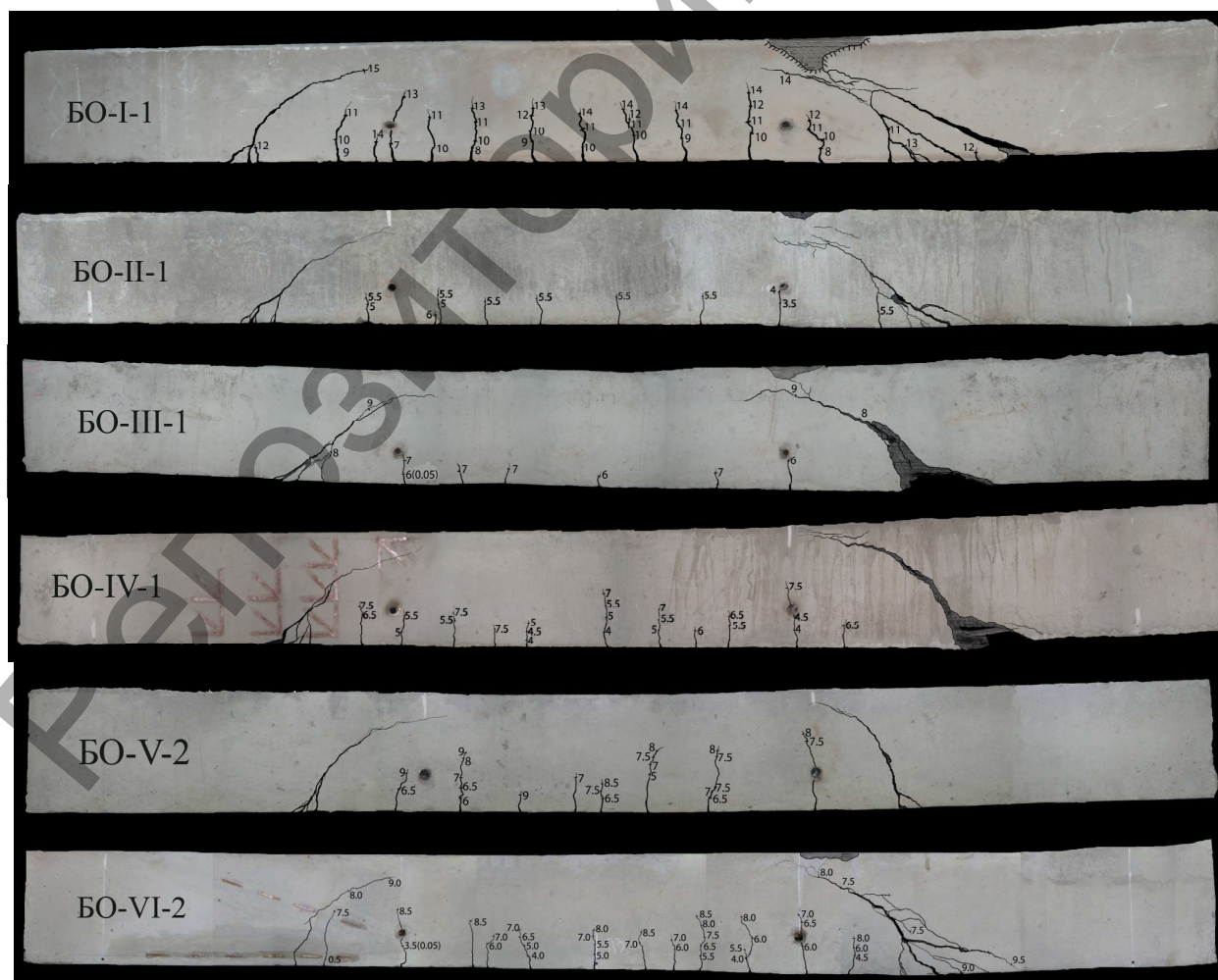


Рис. 2. Трещинообразование и разрушение опытных балок группы БО

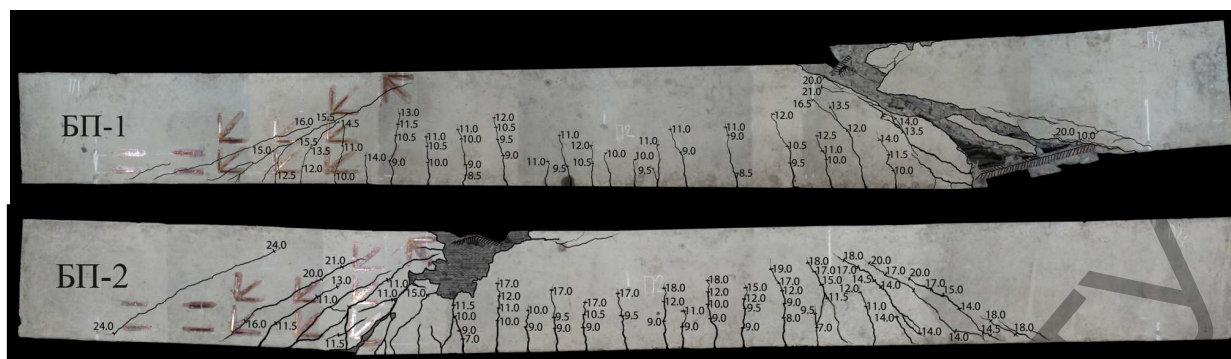


Рис. 3. Трещинообразование и разрушение опытных балок группы БП

В отличие от БП-1 в балке БП-2, в которой содержание поперечного армирования соответствует условию ($\rho_{sw} > \rho_{sw, min}$), сказалось в большей степени на трещиностойкость и несущую способность наклонных сечений, уменьшая при этом влияние нагельного эффекта. Образовавшиеся наклонные трещины на ступенях нагружения, предшествующих исчерпанию несущей способности, распространялись как в растянутую, так и в сжатую зоны с одновременным раскрытием их до $W_k = 1,2$ мм. Наличие в теле бетона на опорных участках спирального косвенного армирования в сочетании с арматурной обоймой, образованной пространственным каркасом (балка БП-2), предотвратило вытягивание канатов на всех этапах загрузки, несмотря на отсутствие гильзовых зажимов.

В балке БП-2 при суммарной нагрузке $2F_{exp} = 140 \div 170$ кН начали формироваться с шагом $S_{cr} = 50 \div 80$ мм и углом наклона $\theta = 35^\circ$ диагональные трещины в уровне верхнего продольного каната. При дальнейшем нагружении появилась диагональная трещина в направлении опора-пролетный груз с направлением, параллельным ранее образовавшимся трещинам (рис. 3), но ее развитие в дальнейшем не наблюдалось.

Разрушение образца БП-1 произошло по магистральной наклонной трещине со сдвигом обеих частей при суммарной нагрузке $F_{exp} = 230$ кН. Опытный образец БП-2 разрушился вследствие раздробления бетона сжатой зоны на участке между пролетными грузами при $F_{exp} = 270$ кН.

Заключение. Выполненные экспериментальные исследования совместно со сформированной базой более ранних опытов по изучению влияния отгиба на напряженно-деформированном состоянии приопорных участков балок с полого отогнутой арматурой позволили определить отличительные особенности влияния основных факторов на сопротивление элемента изгибу с поперечной силой:

1. Повышение прочности бетона сказывается как на процессе трещинообразования по всему пролету изгибаемого элемента, так и на формировании магистральных наклонных трещин, что в свою очередь влияет на характер разрушения. В железобетонных балках с бетоном высокой прочности, варьируя уровнем усилия предварительного натяжения канатов можно достигнуть равнопрочности нормальных и наклонных сечений.

2. Увеличение усилия обжатия бетона отогнутой арматурой повышает прочность наклонных сечений элемента. Изменение уровня обжатия бетона путем обеспечения соответствующей анкеровки прямолинейной и отогнутой арматуры влияет на места формирования и угол наклона магистральной диагональной трещины, что сказывается на сопротивлении балок срезу.
3. Увеличение угла отгиба канатной арматуры способствует уменьшению угла наклона магистральной диагональной трещины. Сопротивление балок срезу при условии надежной анкеровки напрягаемой арматуры повышается при увеличении угла отгиба отогнутой арматуры.
4. Наличие на всей приопорной зоне преднапряженной отгиба продольной канатной арматуры обеспечивает необходимую трещиностойкость наклонных сечений, но создает условия к формированию наклонных трещин с растянутой зоны. В балках с прямолинейной арматурой в силу сосредоточения действия усилия обжатия бетона создаются условия для образования магистральной наклонной трещины в средней трети высоты сечения.
5. С целью повышения сопротивляемости железобетонных балок с отогнутой преднапряженной арматурой рекомендуется необходимую анкеровку канатной арматуры обеспечивать постановкой дополнительных приспособлений и устройств.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Арматура напрягаемая канатная для железобетонных конструкций. Технические условия: СТБ EN 10138-3-2009. – Введ. 16.09.2009. – Минск: М-во архит. и строит. РБ, 2009. – 13 с.
2. Малиновский, В.Н. Сопротивление предварительно напряженных балок из высокопрочного бетона с отогнутой стержневой арматурой при изгибе с поперечной силой: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / В.Н. Малиновский; Ленинградский инж.-стр. инст. – Ленинград, 1988. – 24 с.
3. Сасонко, Л.В. Исследование изгибаемых предварительно напряженных железобетонных конструкций с отогнутой арматурой: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Л.В. Сасонко; НИИЖБ. – М, 1974 – 22 с.
4. Соловьёв, Б.В. Исследование работы косвенной арматуры в бетоне на участке анкеровки каната КЗх7(3): дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Б.В. Соловьёв; Челябинский техн. ун-т. – Челябинск, 1973 – 258 с.

Материал поступил в редакцию 04.02.16

KRIVITSKIY P.V., MALINOVSKY V.N. Influence of major factors on resistance of prestressed reinforced concrete beams with rope bent-up reinforcement to a bend with shear force

In article major factors and their influence on resistance of prestressed reinforced concrete beam-type elements with flat bent-up rope reinforcement to a bend with shear force are considered.

The executed experimental researches and the contrastive analysis of processes cracks formation destructions of beams with the unbent and rectangular prestressed reinforcement have allowed to define features mode of deformation of their near support regions.