

**И.С. Бондарь^{1*}, Салман Дауд Салман Аль-Дулайми²,
Д.Т. Алдекеева¹, Р.С. Имамбаева³, Т.Д. Абаканов³**

¹Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан

²Министерство высшего образования и научных исследований, Багдад, Ирак

³Международная образовательная корпорация (кампус КазГАСА), Алматы, Казахстан

Информация об авторах:

Бондарь Иван Сергеевич – кандидат технических наук (ВАК РФ), Ph.D (МОН РК), ассоциированный профессор, Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-7376-5643>, e-mail: ivan_sergeevich_08@mail.ru

Салман Дауд Салман Аль-Дулайми – кандидат технических наук (ВАК РФ), Министр, Министерство высшего образования и научных исследований, Ирак.

<https://orcid.org/0000-0001-6272-9567>, e-mail: salmoon-1985@mail.ru

Алдекеева Динара Танашбековна – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-7376-5643>, e-mail: aldekeeva69@mail.ru

Имамбаева Райхан Сальтаевна – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-0806-3308>, e-mail: rimambayeva@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК, АРМИРОВАННЫХ УГЛЕПЛАСТИКАМИ

Аннотация. В статье рассмотрены натурные исследования железобетонных балок, схемы разрушения и характер образования, развития трещин в железобетонных элементах. Моделирование напряженно-деформированного состояния железобетонных балок в программно-вычислительном комплексе ANSYS, сравнение результатов натурных и численных исследований. Предложен метод конечно-элементного моделирования балок, упрочненных волокнистыми пластиками (углепластиками). Приведено сравнение схем трещинообразования, полученных в результате численного моделирования.

Ключевые слова: натурные исследования железобетонных балок, метод конечно-элементного моделирования балок, усиление углепластиками.

Введение

Технология упрочнения бетонных конструкций волокнистыми армированными пластиками является относительно новой для Республики Казахстан. Первый опыт у сотрудников ИЛ «ИПиИС» КазАТК им. М. Тынышпаева был по оценке эффективности усиления конструкций углеродными лентами FibArmTape 230/300, железобетонного пролётного строения железнодорожного моста (1950 года постройки), расположенного на магистральной линии АО «НК «КТЖ» на 118 км ПК 6 Астана-Павлодар в 2015 году [1, 2].

С тех пор технология успешно применяется на других объектах на территории нашей страны. Усиление косых сечений осуществляется путем приклеивания внешней стеклопластиковой удерживающей арматуры к зоне опасного косоугольного сечения П-образных стремей. Отечественные методы оценки напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов кон-

струкций, упрочненных по наклонному сечению углеродными лентами из стеклопластика, в настоящее время разрабатываются, в то время как зарубежные методы, установленные нормативными документами, обеспечивают значительный запас прочности.

Материалы и методы

При исследовании железобетонных балок ставилась задача – определить характер образования и развития трещин, схем разрушения; описать и проанализировать характер напряженно-деформированного состояния железобетонных балок; выявить количественное и качественное влияние изучаемых факторов: пролета среза, схем армирования.

Программа натурных исследований железобетонных балок предусматривала решение следующих вопросов: определение прочности и трещиностойкости балок без распределенной арматуры с пролетом среза a/h_o от 0,25 до 1,5; определение влияния горизонтальных и вертикальных хомутов на прочность и трещиностойкость балок с пролетом среза a/h_o от 1 до 1,5; определение влияния пролета среза на характер образования трещин, вид разрушения в балках без поперечной арматуры и в балках, армированных равномерно распределенной арматурой.

Опытные образцы железобетонных балок проектировались прямоугольного сечения с размерами: длиной 2460 мм и сечением 120×220 (h) мм, длина образцов изменялась в соответствии с пролетом среза. Бетон принимался класса В 25, арматура класса А III. Несколько образцов армировались только продольной растянутой арматурой, исследуемым фактором являлся пролет среза $0,25 < a/h_o < 1,5$ армировались горизонтальными, некоторые – вертикальными хомутами, в этом случае исследуемым фактором являлся вид распределенного армирования при изменении a/h_o от 1 до 1,5. Все образцы железобетонных балок имели одинаковое количество растянутой продольной арматуры $\mu_s = 0,85$ %.

Для улучшения визуального наблюдения за образованием трещин подготовка к испытаниям производилась в следующем порядке. Выполнялась зачистка и побелка поверхности бетона образцов. Для измерения деформаций бетона на боковую грань образца наклеивались тензодатчики с базой 50 мм. Схема и общий вид установки для испытаний показаны на рисунке 1.

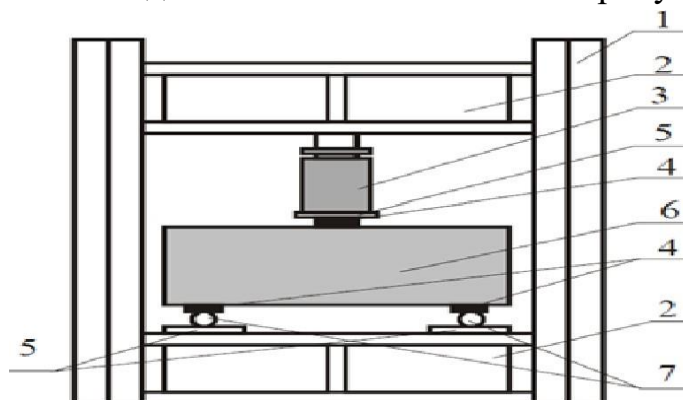


Рисунок 1 – Схема силовой установки испытания образцов-балок:

1 – металлическая рама; 2 – распределительная траверса; 3 – гидродомкрат;
4 – опорные площадки; 5 – жесткий штамп; 6 – испытываемый образец; 7 – катки

Нагружение балок производилось гидравлическим домкратом ДГ-200 через систему распределительных траверс поэтапно: по 2000 кг до образования исследуемых трещин и далее, до разрушения. Определение ширины раскрытия трещин в бетоне производилась с использованием трубки Брюнелля (МПБ-3).

Схемы разрушения и характер образования, развития трещин в железобетонных элементах

Все опытные образцы балок 1-й серии с пролетом среза от 0,25 до 1,5 разрушились по сжатой зоне. Опытные балки с пролетом среза 0,75...0,5 разрушились по наклонной трещине, проходящей внутри сжатого подкоса. Примечательно, что траектории этих трещин приближаются к диагонали наклонной полосы бетона, расположенной между грузовой и опорной площадками. При этом трещина имеет быстрый характер образования, определяющий момент разрушения. Важно отметить, что диагональная трещина пересекает серию прерывистых наклонных трещин, характерных при раздавливании бетона.

Момент разрушения в балках 1-й серии сопровождался выделением сжатой наклонной полосы наклонной трещины с внешней стороны у грузовой площадки, в балках 2-й серии – образованием серии наклонных прерывистых трещин, расположенных у опорной и грузовой площадок, характеризующих раздавливание бетона.

Разрушение балок 3-й серии с пролетом среза 0,75...1,5 происходит по наклонным трещинам, расположенным в сжатом подкосе (вблизи внутренней границы этого подкоса). Характерно, что изначально наклонные трещины образуются в нижней части балки у внутренней части опорной площадки, и в момент ее образования длина составляет 0,8 от высоты. Усилие образования этой трещины составляет 0,6-0,5 от разрушающей. С увеличением пролета среза увеличивается количество трещин, образующихся в бетоне растянутой зоны. В момент разрушения в третьей балке происходит слияние граничной трещины с трещиной, траектория которой приближается к диагонали условной сжатой полосы. Таким образом, граничные наклонные трещины, выделяющие сжатый подкос с внутренней стороны, переходит в диагональную трещину.

В балках 4-й серии с пролетом среза 1,25-1,5 разрушение сжатой полосы сопровождалось местным разрушением бетона под грузовой и опорными площадками, имеющим клинообразный характер. В момент разрушения зоны сжатия объединялись одной либо двумя близко расположенными наклонными трещинами. Длина этих трещин составляла примерно 0,7 от высоты балки, траектория трещины смещалась к внутренней грани сжатой полосы, то есть в сторону максимальных сжимающих напряжений.

В балках 5-й серии разрушение сжатой полосы характеризуется наличием прерывистых наклонных трещин, концентрирующихся у внутренней грани наклонной сжатой полосы, то есть в зоне максимальных напряжений внутри сжатой бетонной полосы. В балках 6-й серии с вертикальными хомутами и пролетом среза 1,5 разрушалась по сжатой бетонной полосе при активном развитии наклонной трещины с диагональной траекторией внутри сжатого подкоса. При этом в балках 5-й и 6-й серии разрушающая сила увеличилась в 1,65-1,6 раза по сравнению с балками без распределенного армирования.

В балках 7-й серии с пролетом среза $a/h_o = 1$ разрушение происходило почти одновременно по сжатой и растянутой зоне. Основной характеристикой вида разрушений является активное развитие наклонных и вертикальных трещин и увеличение их количества. Разрушающее усилие возросло в 1,4 раза. Разрушение балок 8-й серии произошло по растянутой зоне с активным раскрытием вертикальных трещин, выделяющих сжатую зону бетона. Разрушающее усилие увеличилось в 1,5 раза по сравнению с балками без распределенного армирования.

Выявлено четыре вида трещин:

- 1) вертикальные трещины Т – Р, расположенные в растянутой зоне балки;
- 2) наклонные трещины, названные граничными, – Т – Г. Характер расположения их меняется. Они могут выделять сжатую зону бетона как с внутренней, так и с внешней стороны, либо только с одной из сторон;
- 3) серия параллельных прерывистых наклонных трещин, расположенных в сжатой зоне бетона, - Σ Т – О;
- 4) магистральные наклонные трещины, расположенные внутри сжатой наклонной полосы, – Т – О [3, 4]. Схема расположения трещин показана на рисунке 2.

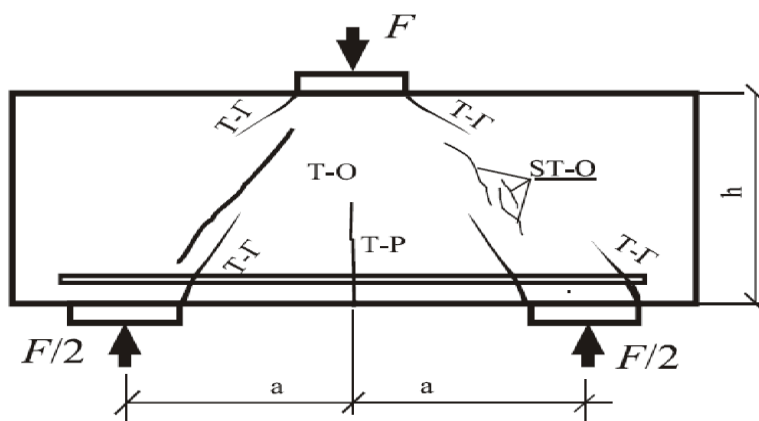


Рисунок 2 – Классификация трещин в железобетонных балках

Напряженно-деформированное состояние железобетонных балок

По показаниям тензодатчиков построена общая картина траекторий главных деформаций для балок с пролетом среза $0,25 < a/h_o < 1,5$. Выявлено, что в коротких балках главные сжимающие напряжения концентрируются в наклонных участках, расположенных между грузовой и опорными площадками. Главные растягивающие напряжения концентрируются в горизонтальных участках, расположенных вдоль нижней грани балки. Особенность характера изменения положения наклонных участков, в пределах которых концентрируются главные сжимающие напряжения при увеличении пролета среза от 0,25 до 1,5, заключается в том, что при увеличении пролета среза снижается угол наклона главных сжимающих напряжений, уменьшается ширина наклонного участка, в пределах которого происходит концентрация главных сжимающих напряжений. Кроме того, увеличивается значение главных сжимающих напряжений у внутренней

границы наклонного участка. Согласно картине напряженно-деформированного состояния коротких балок с a/h_0 от 1 до 1,5, поверхность бетона разделяется на характерные зоны. Первая зона представляет собой наклонную полосу, расположенную между грузовой и опорной площадками, в пределах которой концентрируются главные сжимающие напряжения. Вторая зона представляет собой горизонтальный участок в нижней части балки, в пределах которого концентрируются главные растягивающие напряжения. Третья и четвертая зоны располагаются с внутренней и с внешней стороны сжатого наклонного участка бетона и характеризуются малыми напряжениями [5, 6].

С увеличением пролета среза от 0,25 до 1,5 разрушающее усилие снижается в 1,6 раза, усилие образования трещин – в 2,3 раза, максимальная величина раскрытия трещин составляет 0,8 - 1,3 мм. С увеличением пролета среза от 1 до 1,5 в балках, армированных распределенной арматурой, разрушающее усилие снижается в 1,28 раза, усилие образования трещин – в 1,45 раза, максимальная величина раскрытия трещин составляет 0,6 – 1 мм. В балках, армированных распределенной арматурой в виде горизонтальных и вертикальных хомутов, разрушающее усилие увеличивается в 1,4 – 1,65 раза, усилие образования трещин увеличивается в 1,3 – 1,7 раза при изменении пролета среза от 1 до 1,5.

Моделирование в программно-вычислительном комплексе ANSYS

Для моделирования работы железобетонных элементов конструкции зданий и искусственных сооружений, упрочненных полимерными материалами по наклонному сечению, проведен численный эксперимент в программно-вычислительном комплексе ANSYS. В механическом модуле программирования ANSYS смоделированы несколько пролетных железобетонных балок длиной 2460 мм и сечением 120×220 (h) мм. Балки имеют одинаковое сечение пролетов (300 мм), но различное расстояние между стержнями конфайнментной арматуры в зоне центральной опоры (без конфайнментной арматуры, расстояние между стержнями 85 мм, расстояние между стержнями 110 мм). Каждая балка моделировалась в трех вариантах: 1) с упрочнением под углом 90° к осевой линии; 2) с упрочнением под углом α (в направлении главного растягивающего напряжения в неармированном образце); 3) без упрочнения.

Усиление в пролете сечения определялось П-образными стремениами, изготовленными из однонаправленного углерода холодного (на месте) затвердевания. Стремениа устанавливались шириной 50 мм и шагом 100 мм.

Для моделирования в рамках численного эксперимента напряженно-деформированного состояния железобетонная балка и композиционный материал усиления были разделены на объемные (для моделирования бетона), плоские (композиционный материал) и осевые элементы (для моделирования арматуры). Размер торцевого элемента принят в соответствии с рекомендациями разработчика программного блока для таких моделей и равен $10 \times 10 \times 10$ мм.

Бетон был смоделирован с использованием твердых конечных элементов solid65. В качестве критерия прочности мы выбрали модель Виллама-Варнке [7], которая является развитием древовидного инвариантного критерия прочности Гениева [8].

На первом этапе моделирования использовались диаграммы нелинейных деформаций материалов в соответствии с нормативными документами: трилинейная диаграмма для бетона и диаграмма Прандтля для стали в соответствии с проектно-строительными техническими условиями [9]. Затем были испытаны эталонные образцы: бетонные призмы на сжатие по [10] и образцы углепластика на растяжение по [11]. Для проведения второго этапа численных экспериментов были использованы реальные диаграммы деформаций, полученные в процессе физических испытаний. Затем были испытаны эталонные (неармированные) образцы балок и разработаны эксплуатационные коэффициенты бетона, в частности коэффициенты перехода нагрузки через трещины и глухие стыки, уровень напряжений и трещинообразования.

Технические характеристики FRP были введены как для всей системы армирования (армированная углеродным волокном пластиковая нить вместе со связующей нитью), принятой на первом этапе по данным отчета производителя, так и затем по образцам физических испытаний. Поведение армирующего материала обеспечивается только на упругой стадии.

Для расчета использовался «подразумеваемый» решатель дифференциальных уравнений. Поиск решения нелинейной задачи осуществлялся итерационным методом касательных (метод Ньютона-Рафсона) с автоматической оптимизацией интервала аппроксимации в процессе решения. Для интеграции решателя в ANSYS реализован метод обычных сопряженных градиентов. Контроль сходимости осуществлялся нагрузкой с точностью до 10%.

Результаты и обсуждение

В результате численного эксперимента получены основные изополя напряжений и соответствующие им деформации. На рисунке 3 приведены изображения косых трещин в реальных образцах и изополей деформаций, соответствующих основным растягивающим напряжениям во фрагменте модели, созданным с помощью ANSYS [12].

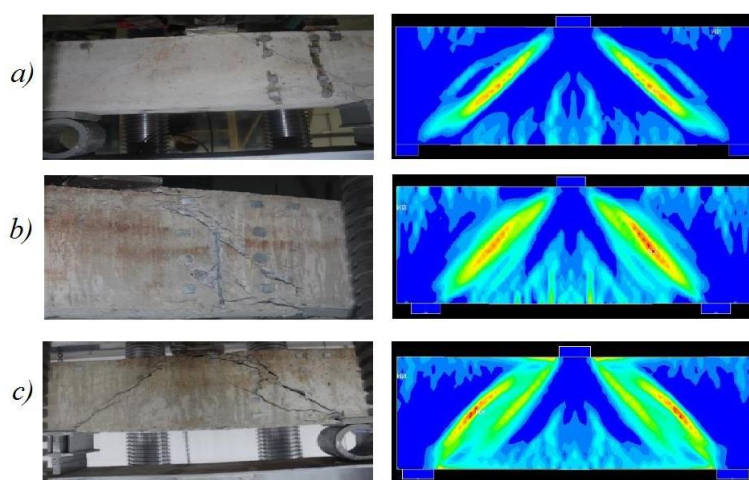


Рисунок 3 – Форма критической косой трещины в реальном образце и в конечно-элементной модели (неармированная балка): а) балка без удерживающей арматуры; б) балка с шагом стержня 110 мм; с) балка с шагом стержня 85 мм.

Как видно из рисунка 3, интенсификация конфейментного армирования увеличивает количество косых трещин и уменьшает ширину их раскрытия, что в целом согласуется. Сравнение изополей деформаций во фрагменте модели ANSYS с изображениями физических образцов показывает, что форма и количество косых трещин удовлетворительно совпадают.

В армированных образцах сначала открывается косая трещина между элементами армирования, что подтверждается как физическими экспериментами, так и моделями конечных элементов.

Траектория и угол трещины удовлетворительно доказаны путем проведения натуральных экспериментов. Наряду с максимальными деформациями в зоне образования косой трещины были обнаружены пики и на верхней стороне балки в зоне максимальных нормальных растягивающих напряжений (рис. 4). В ходе физических экспериментов разрушение балок сопровождалось вдавливанием бетонных конусов в верхнюю часть балки [12].

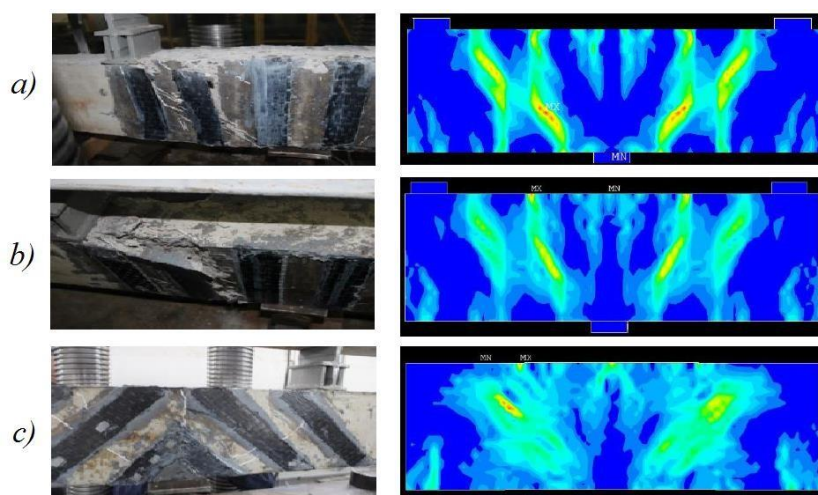


Рисунок 4 – Форма критической косой трещины в реальном образце и в конечно-элементной модели (армированная балка):

- а) балка без удерживающей арматуры, усиленная углепластиковыми стременами шириной 50 мм, расстоянием между стержнями равным 110 мм под углом 90° , б) балка с удерживающей арматурой, расстоянием между стержнями равным 110 мм и углепластиковыми стременами шириной 50 мм и расстоянием между стержнями равным 100 мм под углом 90° , в) балка с удерживающим арматурным стержнем шагом, равным 110 мм, и армированными углеродным волокном пластмассовыми стременами армирования шириной 50 мм и расстоянием между стержнями, 100 мм под углом α .

Заклучение

При проведении натуральных испытаний основную роль в сопротивлении железобетонных балок играют главные сжимающие и главные растягивающие напряжения. Особенностью напряженно-деформированного состояния железобетонных балок с a/h_0 от 1 до 1,5 является снижение угла наклона траекторий главных сжимающих напряжений: уменьшение ширины сжатой бетонной полосы и концентрация главных сжимающих напряжений у внутренней грани наклонной бетонной полосы. В балках с пролетом среза a/h_0 от 1 до 1,5, так же

как и в балках с $a/h_0 < 1$, выявлено два вида разрушения – разрушение по наклонной сжатой бетонной полосе и по растянутому арматурному поясу.

Проведенные эксперименты показали высокую эффективность программно-вычислительного комплекса ANSYS для анализа напряженно-деформированного состояния конструкций с учетом нелинейного характера деформации материалов. Результаты испытаний неармированных балок и образцов материалов способствовали разработке конечно-элементных моделей и прогнозированию дорогостоящих процедур испытаний армированных образцов. Предварительное моделирование армированных образцов позволило избежать некоторых ошибок при натурных испытаниях зданий и искусственных сооружений.

Литература:

1. Бондарь И.С., Квашинин М.Я., Рыстыгулов П.А., Кыстаубаев С.Б. Экспериментальные исследования конструкций железнодорожных мостов, усиливаемых композитным материалом. *Безопасность движения поездов*. – М., 2015, II, 43-47.
2. Бондарь И.С. Измерение деформаций балочных пролетных строений мостов. *Мир транспорта*. 2016, №14(6), 36-51.
3. Баранова Т.И., Снежкина О.В. Гармонизация методов расчета железобетонных балок с различным пролетом среза. *Вестник отделения строительных наук РААСН*. 1998, 2, 41-45.
4. Скачков Ю.П., Снежкина О.В., Кочеткова М.В., Корнюхин А.В. Определение схем разрушения и трещинообразования коротких железобетонных балок по экспериментальным данным. *Региональная архитектура и строительство*. 2013, 3, 74-82.
5. Снежкина О.В., Кочеткова М.В., Корнюхин А.В. Короткие балки. *Моделирование физической работы: монография*. Пенза: ПГУАС. 2011, 124 с.
6. Корнюхин А.В., Снежкина О. В., Кочеткова М.В. Экспериментально-теоретические исследования толстых плит: монография. 2013, 132с.
7. K.J. Willam, E.D. Warnke. Constitutive models for the triaxial behavior of concrete. In: *Proceedings, International Association for Bridge and Structural Engineering*. 1975, 1-30.
8. Генеев Г.А., Кисюк В.Н., Тюпин Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона. – М.: «Стройиздат». 1974, 316 с.
9. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Требования к проектированию (обновленная редакция СНиП 52-101-2003). Москва, государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт бетона и железобетона», Федеральное государственное унитарное предприятие «Центр конструкторской продукции», 2012.
10. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности с использованием эталонных образцов, 2012.
11. ГОСТ 25.601-80 Расчетные и прочностные испытания. Методы механических испытаний полимерных композиционных материалов. Испытание на растяжение плоских образцов при нормальных, повышенных и нормальных температурах, 1980.
12. ANSYS User Manual. Version 12.1, ANSYS Inc., Southpointe, 275 Technology Drive, Canonsburg, USA, 2011, 1382.

References:

1. Bondar' I.S., Kvashnin M.YA., Rystygulov P.A., Kystaubayev S.B. *Ekspерimental'nyye issledovaniya konstruksiy zheleznodorozhnykh mostov, usilivayemykh kompozitnym materialom [Experimental studies of railway bridge structures reinforced with composite material]. Bezopasnost' dvizheniya poyezdov= Train traffic safety. Moscow, 2015, II, 43-47. (in Russ.)*

2. Bondar' I.S., *Izmereniye deformatsiy balochnykh proletnykh stroyeniy mostov [Measurement of deformations of girder superstructures of bridges]. Mir transporta = The world of transport. 2016, 14 (6), 36-51. (in Russ.)*
3. Baranova T. I., Snezhkina O.V. *Garmonizatsiya metodov rascheta zhelezobetonnykh balok s razlichnym proletom sreza [Harmonization of methods for calculating reinforced concrete beams with different cross-section span]. Vestnik otdeleniya stroitel'nykh nauk RAASN= Bulletin of the Department of Construction Sciences of the RAASN. 1998, 2, 41-45. (in Russ.)*
4. Skachkov YU.P., Snezhkina O.V., Kochetkova M.V., Korniyukhin A.V. *Opredeleniye skhem razrusheniya i treshchinoobrazovaniya korotkikh zhelezobetonnykh balok po eksperimental'nym dannym [Determination of schemes of destruction and cracking of short reinforced concrete beams according to experimental data]. Regionalnaya arhitektura i stroitelstvo=Regional architecture and construction. 2013, 3, 74-82. (in Russ.)*
5. Snezhkina O.V., Kochetkova M.V., Korniyukhin A.V. *Korotkiye balki. Modelirovaniye fizicheskoy raboty: monografiya [Modeling of physical work: a monograph] Penza: PGUAS, Russia, 2011, 124. (in Russ.)*
6. Korniyukhin A.V., Snezhkina O.V., Kochetkova M.V. *Eksperimental'no-teoreticheskiye issledovaniya tolstykh plit: monografiya [Experimental and theoretical studies of thick plates: monograph] Penza: PGUAS, Russia, 2013, 132. (in Russ.)*
7. K.J. Willam, E.D. Warnke. *Constitutive models for the triaxial behavior of concrete. In: Proceedings, International Association for Bridge and Structural Engineering. 1975, 1-30.*
8. Geniyev G.A., Kisyuk V. N., Tyupin G. A. *Teoriya plastichnosti betona i zhelezobetona [Theory of plasticity of concrete and reinforced concrete]. Stroyizdat, Moscow, 1974, 316. (in Russ.)*
9. SP 63.13330.2012 *Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii. Trebovaniya k proyektirovaniyu» (obnovlennaya redaktsiya SNIp 52-101-2003) [SP 63.13330.2012 Concrete and reinforced concrete structures. Design requirements. (updated version of SNIp 52-101-2003)]. Moscow, State Unitary Enterprise «Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete», Federal State Unitary Enterprise "Center for Design Products, 2012. (in Russ.)*
10. GOST 10180-2012 *Betony. Metody opredeleniya prochnosti s ispol'zovaniyem etalonnykh obraztsov [GOST 10180-2012 Concrete. Methods for determining strength using reference samples], 2012. (in Russ.)*
11. GOST 25.601-80 *«Raschetnyye i prochnostnyye ispytaniya. Metody mekhanicheskikh ispytaniy polimernykh kompozitsionnykh materialov. Ispytaniye na rastyazheniye ploskikh obraztsov pri normal'nykh, povyshennykh i normal'nykh temperaturakh [SP 63.13330.2012 Concrete and reinforced concrete structures. Design requirements. (updated version of SNIp 52-101-2003)]. Moscow, State Unitary Enterprise "Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete", Federal State Unitary Enterprise "Center for Design Products, 1980. (in Russ.)*
12. ANSYS User Manual. Version 12.1, ANSYS Inc., Southpointe, 275 Technology Drive, Canonsburg, USA, 2011, 1382.

**И.С. Бондарь^{1*}, Салман Аль Дулайми Салман Давуд²,
Д.Т. Алдекеева¹, Р.С. Имамбаева³, Т.Д. Абаканов³**

¹ Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан,

² Жоғары білім және ғылыми зерттеулер министрлігі, Багдад, Ирак,

³ Халықаралық білім беру корпорациясы (ҚазБСҚА кампусы), Алматы, Қазақстан

Авторлар туралы мәліметтер:

Бондарь Иван Сергеевич – техника ғылымдарының кандидаты (РФ ЖАК), Ph.D (ҚР БҒМ), қауымдастырылған профессор, Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-7376-5643>, e-mail: ivan_sergeevich_08@mail.ru

Салман Дауд Салман Әл-Дулейми – техника ғылымдарының кандидаты (РФ ЖАК), министр, Жоғары білім және ғылыми зерттеулер министрлігі, Багдад, Ирак

<https://orcid.org/0000-0001-6272-9567>, e-mail: salmoon-1985@mail.ru

Алдекеева Динара Танашбекқызы – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-7376-5643>, e-mail: aldekeeva69@mail.ru

Имамбаева Райхан Салтайқызы – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Логистика және көлік академиясы, Халықаралық білім беру корпорациясы (ҚазБСҚА кампусы), Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-0806-3308>, e-mail: rimambayeva@mail.ru

КӨМІРПЛАСТИКТЕРМЕН АРМАТУРАЛАНҒАН ТЕМІРБЕТОН АРҚАЛЫҚТАРЫНЫҢ КЕРНЕУЛІ-ДЕФОРМАЦИЯЛАНҒАН КҮЙІН ЗЕРТТЕУ

Андатпа. Мақалада темірбетон арқалықтарының далалық зерттеулері, сыну сұлбалары және темірбетон элементтеріндегі сызаттардың пайда болу сипаты, дамуы қарастырылады. ANSYS бағдарламалық-есептеу кешенінде темірбетон арқалықтардың кернеулі-деформациялық күйін модельдеу, далалық және сандық зерттеулердің нәтижелерін салыстыру. Талшықты пластмассалармен (көміртекті талшықты арматураланған пластмассалар) күшейтілген арқалықтарды соңғы элементтерді модельдеу әдісі ұсынылған. Сандық модельдеу нәтижесінде алынған сыну сұлбаларын салыстыру ұсынылған.

Түйін сөздер: темірбетон арқалықтарын табиғи зерттеу, сәулелерді ақырлы элементтік модельдеу әдісі, көміртекті талшықтармен күшейту.

I.S. Bondar^{1*}, Salman Al Dulaimi Salman Dawood²,
D.T. Aldekeyeva¹, R.S. Imambaeva³, T.D. Abakanov³

¹Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan

²Ministry of Higher Education and Scientific Research, Baghdad, Iraq

³International Educational Corporation (KazGASA campus), Almaty, Kazakhstan

Information about the authors:

Bondar Ivan Sergeevich – Candidate of Technical Sciences (HAC RF), Ph.D (MES RK), Associate Professor ALiT, Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-7376-5643>, e-mail: ivan_sergeevich_08@mail.ru

Salman Daoud Salman Al-Dulaimi – Candidate of Technical Sciences Higher Attestation Commission of the Russian Federation, Minister, Ministry of Higher Education and Scientific Research, Bagdad, Iraq

<https://orcid.org/0000-0001-6272-9567>, e-mail: salmoon-1985@mail.ru

Aldekeyeva Dinara Tanashbekovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-7376-5643>, e-mail: aldekeeva69@mail.ru

Imambaeva Raikhan Saltaevna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, International Educational Corporation (campus KazGASA), Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-0806-3308>, e-mail: rimambayeva@mail.ru

STUDIES OF THE STRESS-STRAIN STATE OF REINFORCED CONCRETE BEAMS REINFORCED WITH CARBON FIBER

Annotation. The article examines field studies of reinforced concrete beams, fracture schemes and the nature of the formation, development of cracks in reinforced concrete elements. Modeling the stress-strain state of reinforced concrete beams in the ANSYS software and computational complex, comparing the results of field and numerical studies. A method of finite element modeling of beams reinforced with fiber plastics (carbon fiber reinforced plastics) is proposed. Comparison of fracturing schemes obtained as a result of numerical simulation is presented.

Keywords: Full-scale studies of reinforced concrete beams, method of finite element modeling of beams, carbon fiber reinforcement.