



## НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С КОСВЕННЫМ СЕТЧАТЫМ И ДИСПЕРСНЫМ АРМИРОВАНИЕМ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ СЖАТИИ

Сергей Николаевич Машталер<sup>1</sup>, Елизавета Андреевна Жильцова<sup>2</sup>,  
Сергей Анатольевич Кушнир<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия,

<sup>1</sup> s.n.mashtaler@donnasa.ru, <sup>2</sup> zhiltsova.e.a-pgs-75a@donnasa.ru, <sup>3</sup> kushnir.s.a@mail.ru

**Аннотация.** Представлен анализ применения сетчатого, фибрового и комбинированного армирования на примере образцов-призм с моделированием конструкций коротких колонн с продольным армированием. Приведены диаграммы деформирования, фотоиллюстрации и графики, характеризующие работу образцов под нагрузкой. В работе представлены данные экспериментальных исследований по оценке влияния традиционного косвенного и фибрового армирования на напряженно-деформированное состояние элементов из высокопрочного бетона при нагружении осевым сжатием. Разработаны аналитические выражения для оценки напряженно-деформированного состояния элементов с косвенным сетчатым и фибровым армированием. Проведено численное моделирование напряженно-деформированного состояния сжатых элементов с использованием метода конечных элементов (МКЭ) в среде ANSYS Workbench 14.5. Установлено, что учет фактора влияния физической нелинейности материалов на основе предложенных численных зависимостей обеспечивает более высокую точность определения несущей способности и значений деформаций сжатых железобетонных элементов с косвенным и фибровым армированием.

**Ключевые слова:** высокопрочный бетон, косвенное и дисперсное армирование, прочность, деформации, экспериментальные исследования, расчет

**Для цитирования:** Машталер С. Н., Жильцова Е. А., Кушнир С. А. Напряженно-деформированное состояние железобетонных элементов с косвенным сетчатым и дисперсным армированием при кратковременном сжатии // *Современное промышленное и гражданское строительство*. 2025. Т. 21, № 1. С. 27–41. doi: 10.71536/spgs.2025.v21n1.3. edn: fddvvu.

Original article

## STRESS-STRAIN STATE OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS WITH INDIRECT MESH AND DISPERSED REINFORCEMENT DURING SHORT-TERM COMPRESSION

Sergey N. Mashtaler<sup>1</sup>, Elizaveta A. Zhiltsova<sup>2</sup>, Sergey A. Kushnir<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia,

<sup>1</sup> s.n.mashtaler@donnasa.ru, <sup>2</sup> zhiltsova.e.a-pgs-75a@donnasa.ru, <sup>3</sup> kushnir.s.a@mail.ru

**Abstract.** An analysis of the use of mesh, fiber and combined reinforcement is presented using the example of prism samples with modeling of structures of short columns with longitudinal reinforcement. Deformation diagrams, photo illustrations, and graphs characterizing the operation of samples under load are presented. The paper presents data from experimental studies to assess the effect of traditional indirect and fiber reinforcement on the stress-strain state of elements made of high-strength concrete under axial compression



loading. Analytical expressions have been developed to evaluate the stress-strain state of elements with indirect mesh and fiber reinforcement. Numerical modeling of the stress-strain state of compressed elements using the finite element method (FEM) in the ANSYS Workbench 14.5 environment was carried out. It was found that taking into account the influence of physical nonlinearity of materials based on the proposed numerical dependencies provides higher accuracy in determining the bearing capacity and strain values of compressed reinforced concrete elements with indirect and fiber reinforcement.

**Keywords:** high-strength concrete, indirect and dispersed reinforcement, strength, deformation, experimental research, calculation

**For citation:** Mashtaler S. N., Zhiltsova E. A., Kushnir S. A. Stress-strain state of reinforced concrete elements with indirect mesh and dispersed reinforcement during short-term compression. *Modern Industrial and Civil Construction*. 2025;21(1):27–41. (In Russ.). doi: 10.71536/spgs.2025.v21n1.3. edn: fddvuu.

### Актуальность темы

В современном строительстве наблюдается повышенная востребованность бетонов с дисперсным (фибровым) армированием. Это обусловлено необходимостью компенсировать недостатки, характерные для традиционных бетонных и железобетонных конструкций, включая низкую предельную деформативность при растяжении, ограниченную прочность на растяжение, а также недостаточную трещиностойкость конструкций.

Косвенное армирование также является распространенным способом повышения прочности и деформативности бетона в конструкции. К особо эффективным способам относится косвенное армирование, которое при действии продольного сжимающего усилия способно создавать наиболее значительное сопротивление поперечным деформациям бетона.

Для современных высокопрочных бетонов проблема влияния различных видов армирования на напряженно-деформированное состояние элементов, работающих на осевое сжатие, остается недостаточно исследованным.

### Анализ последних исследований и публикаций

Одним из важных явлений при работе высокопрочного бетона является его хрупкость, которая увеличивается в том числе с ростом прочностных характеристик бетона. Указанное свойство материала сопровождается снижением величины пластической деформативности при кратковременных и длительных нагрузках, что, в свою очередь, приводит к быстрому практически неконтролируемому характеру разрушения материала при достижении им предельного состояния.

В исследованиях ряда авторов [5; 12; 16; 21; 22] установлено, что одним из эффективных методов повышения эксплуатационных характеристик бетона является его дисперсное армирование стальной фиброй. Данный подход способствует улучшению физико-механических свойств материала, повышению надежности конструкций, снижению удельного веса конструкций за счет уменьшения величин рабочих сечений элементов, а также снижению расхода материалов за счет увеличения несущей способности бетона.

Значение прочности при сжатии увеличивается прямо пропорционально проценту содержания фибры. Использование фибрового армирования увеличивает значение прочности на сжатие до 20 % [17]. Результаты исследований, представленные различными авторами, относительно влияния объемного содержания фибры на прочностные характеристики сталефибробетона, достаточно противоречивы. В работах [4; 19] отмечено значительное увеличение прочности сталефибробетона при уменьшении диаметра фибры, при этом оптимальным значением данного параметра определен диаметр 0,3 мм.

Ряд исследований свидетельствуют о низкой эффективности применения фибрового армирования диаметром 0,5 мм. Согласно [13], наиболее оптимальным диапазоном диаметра фибры является величина в пределах 0,2–0,4 мм. В работе [18] установлено, что характеристики прочности фибробетона не имеют существенной зависимости от геометрических параметров фибры.

Результаты исследований [3; 9] указывают на целесообразность применения фибр диаметром 1,1–1,3 мм в конструкциях, предельное состояние которых определяется несущей способностью.

Деформационные характеристики сталефибробетона находятся в прямой зависимости от объемного содержания фибры и в обратной зависимости от ее диаметра. Они определяются предельными деформациями сжатия  $\varepsilon_{fcb}$  и растяжения  $\varepsilon_{fcbt}$ , при этом соответствующие показатели для сталефибробетона превышают аналогичные характеристики обычного бетона на величину до  $12 \times 10^{-3}$  и  $6...8 \times 10^{-1}$  соответственно [12].

Исследованию физико-механических свойств сталефибробетонов, разработке составов дисперсно-армированных бетонов, а также теоретическим основам их расчета и проектирования посвящены работы таких ученых, как, А. А. Гвоздев, А. П. Кричевский, В. М. Бондаренко, О. Я. Берг, Г. П. Бердичевский, И. В. Волков, Л. Г. Курбатов, К. В. Михайлов, Б. А. Крылов, И. А. Лобанов, Ю. В. Пухаренко, Ф. П. Рабинович и др. [7; 10; 11].

Косвенное армирование представляет собой эффективный метод увеличения несущей способности сжатых колонн и участков конструкций при местном приложении нагрузки. В исследованиях [6; 14; 15; 20] проведен экспериментальный анализ влияния косвенного армирования на прочностные и деформационные характеристики внецентренно сжатых железобетонных элементов.

Установлено, что увеличение коэффициента косвенного армирования в условиях местного смятия способствует и увеличению прочности бетона за счет ограничения величин поперечных деформаций за счет использования арматуры и формирования в конструкции за счет сдерживающих связей объемного напряженного состояния, характеризующегося трехосным сжатием. В работах [6; 15] отмечено снижение эффективности косвенного армирования с увеличением прочности бетона.

Исследование влияния косвенного армирования на напряженно-деформированное состояние высокопрочных бетонов представлено в работе [8].

### Постановка задачи

В данной работе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов с применением косвенного сетчатого и фибрового армирования. Выполнены

анализ и сравнение влияния фибрового и косвенного сетчатого армирования на напряженно-деформированное состояние элементов из высокопрочного бетона при нагружении осевым сжатием в условиях нормальной температуры ( $t = 20^\circ\text{C}$ ) на призматических образцах с размерами поперечного сечения  $150 \times 150$  мм.

### Основной материал

Для анализа влияния косвенного сетчатого и фибрового армирования при сопоставимых показателях интенсивности косвенного армирования на прочностные и деформационные характеристики коротких железобетонных элементов при кратковременном осевом сжатии были изготовлены три серии основных образцов из высокопрочного модифицированного бетона с добавлением стальной фибры (табл.).

Исследуемый состав бетона получен с применением вторичного сырья промышленности Донбасса и модифицирован органоминеральным модификатором (ОММ), представленным в виде сухой смеси. Состав ОММ, выраженный в массовых долях, включает:

- золу-унос Зуевской ТЭС – 48 %,
- тонкомолотую золошлаковую смесь Угледорской ТЭС – 30 %,
- микрокремнезем в составе SicaFume – 20 %,
- суперпластификатор С-3 – 2 %.

Серия 1 включает в себя бетонные неармированные образцы-призмы размерами  $150 \times 150 \times 600$  мм с процентами фибрового армирования  $\mu_{xy} = 0$ ; 1 и 2,5 % (рис. 1). Серии 2 и 3 представлены экспериментальными образцами в виде железобетонных призм аналогичных размеров, моделирующих конструктивные элементы коротких колонн с продольным армированием из 4 стержней диаметром 10 мм класса А-500.

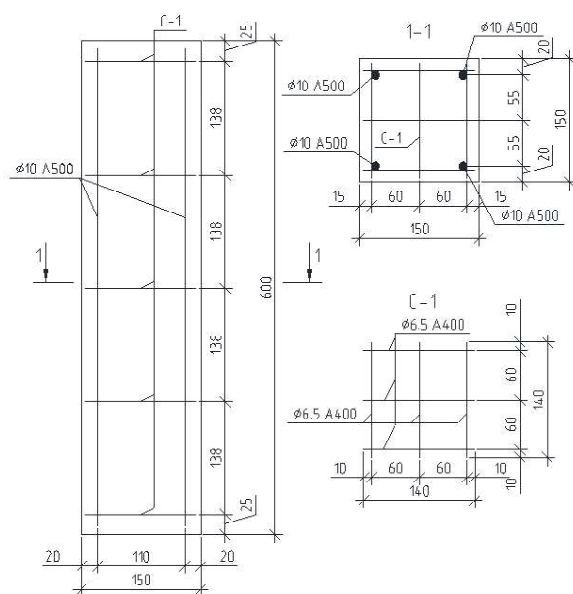
Для образцов 2 и 3 серий проценты косвенного сетчатого и фибрового армирования составили соответственно 1 и 2,5 % (рис. 2).

В образцах с процентом косвенного армирования  $\mu_{xy} = 1$  % применены сварные сетки из арматуры  $\varnothing 6,5$  мм класса А-400 с размером ячейки 60 мм, шаг сеток косвенного армирования составил 138 мм, в образцах с процентом косвенного армирования  $\mu_{xy} = 2,5$  % – сетки из арматуры  $\varnothing 8$  мм класса А-400 с размером ячейки 60 мм, шаг сеток косвенного армирования – 80 мм.

Таблица – Состав исследуемого высокопрочного сталефибробетона на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси

№ П/П	Наименование компонентов	Расход, кг(л)/м <sup>3</sup>
1.	Портландцемент М500 (Балаклейский цементный комбинат)	545
2.	Органоминеральный модификатор (ОММ)	190
3.	Песок крупнозернистый фракции 2÷2,5 мм (Краснополянский карьер)	660
4.	Щебень фракции 10÷20 мм (Караньский карьер)	870
5.	Вода	153 л
6.	Суперпластификатор SicaViscocrete-5-600	16,8 л
7.	Фибра стальная $l = 60$ мм, $d = 0,75$ мм	50...200
Объемный вес смеси		2 600

а)



б)

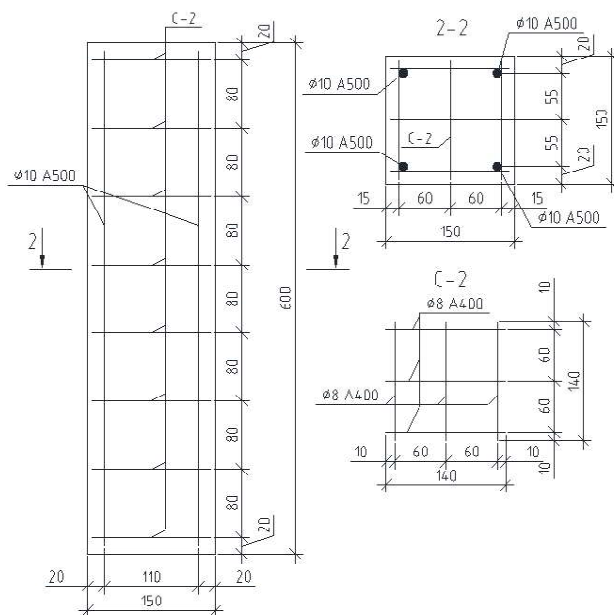
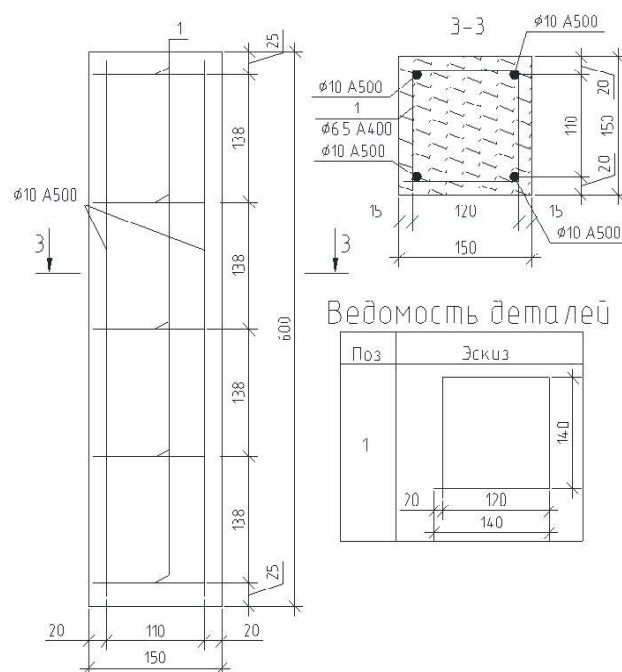


Рисунок 1 – Схемы расположения продольного и поперечного армирования призм с размерами 150×150×600 мм с:

а)  $\mu_{xy} = 1\%$ ; б)  $\mu_{xy} = 2,5\%$ .



**Рисунок 2** – Схемы расположения продольного и поперечного армирования призм с размерами  $150 \times 150 \times 600$  мм с  $\mu_{sfb} = 1\%$  и  $\mu_{xy} = 2,5\%$ .

Используемая фибра представляет собой стальные волокна с загнутыми концами. Основные характеристики фибры: длина  $l = 60,0 \pm 6,0$  мм,  $d = 0,75 \pm 0,07$  мм; параметры загнутого конца – длина  $l_1 = 5,0 \pm 1,0$  мм,  $h_1 = 2,9 \pm 0,5$  мм; временное сопротивление разрыву составляет  $1\,160 - 1\,290$  МПа.

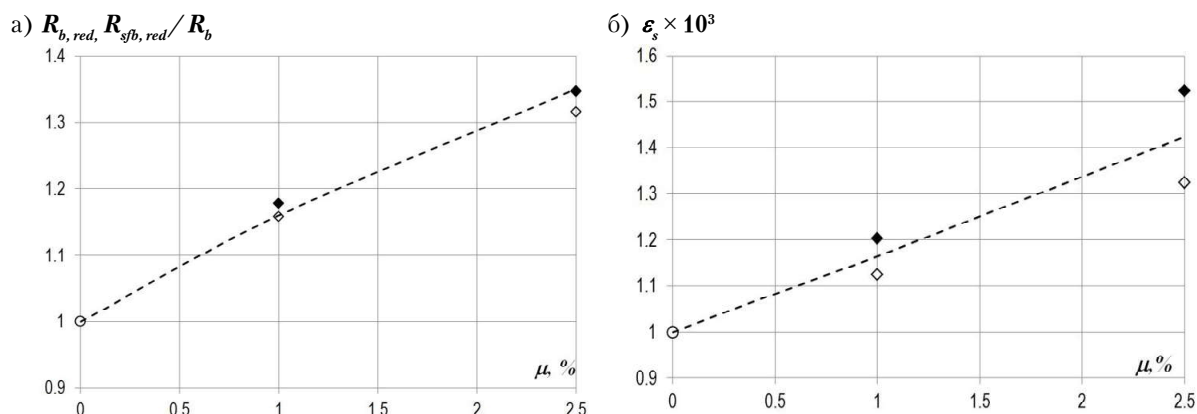
Исследования показали, что влияние косвенного и дисперсного армирования на напряженно-деформированное состояние образцов из высокопрочного бетона соответствует закономерностям, установленным для бетонов средней прочности. В частности, увеличение процента косвенного армирования способствует росту прочности и предельной деформации при сжатии по сравнению с неармированным бетоном. Для образцов с коэффициентами косвенного армирования  $\mu_{xy} = 1$  и  $2,5\%$  наблюдалось увеличение приведенной прочности  $R_{b, loc}$  и  $R_{sfb, loc}$  в среднем, в 1,15 и 1,32 раза соответственно, по сравнению с неармированным бетоном (рис. 3, а). Величина деформаций предельной сжимаемости  $\bar{\epsilon}_{sb}$  возросла в 1,2 и 1,52 раза для образцов с косвенным армированием и в 1,12 и 1,33 – для образцов с дисперсным армированием (рис. 3, б). Линейные относительные деформации арматуры сеток

косвенного армирования практически совпадали с поперечными деформациями удлинения бетона до нагружения, соответствующего  $0,9 \cdot R_{b,red}$  (рис. 4). При дальнейшем увеличении нагрузки отмечено опережающее развитие поперечных деформаций бетона относительно продольных деформаций арматуры сетчатого армирования.

Предельные деформации поперечного удлинения бетона непосредственно перед разрушением превысили соответствующие деформации удлинения стержней сетчатого армирования на 20–40 %.

С увеличением процента косвенного и дисперсного армирования характер разрушения образцов становился более пластичным, сопровождаясь значительным развитием пластических деформаций. Разрушение происходило с отслоением бетонных фрагментов («лешадек») за пределами контура сетчатого армирования, а также достижением предела текучести продольной арматурой с последующей потерей ее устойчивости.

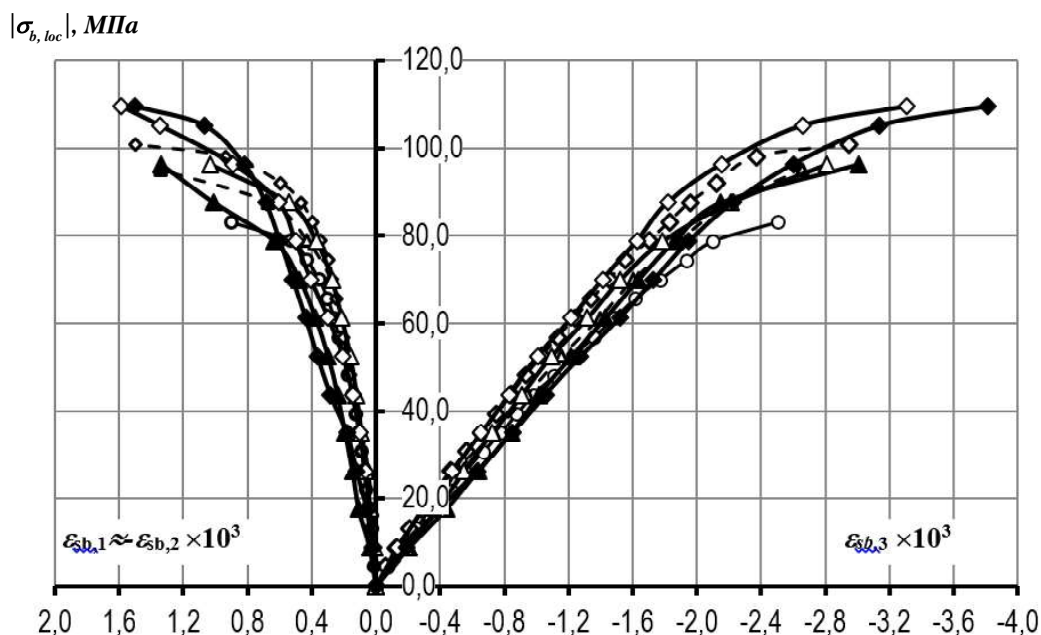
Экспериментальные данные, отражающие влияние косвенного и дисперсного армирования на прочность и предельные деформации железобетонных элементов, представлены на рисунках 3 и 4.



**Рисунок 3** – Влияние процента косвенного сетчатого и фибрового армирования на напряженно-деформированное состояние образцов-призм: а) приведенная прочность; б) предельные деформации укорочения высокопрочного бетона.

Условные обозначения соответственно видам армирования:

- – высокопрочный бетон ( $\mu = 0\%$ ;  $\mu_{xy} = 0\%$ );
- ◆ – косвенное сетчатое армирование  $\mu_{xy} = 1\%$ ; 2,5 %;
- ◇ – фибровое армирование  $\mu_{sfb} = 1\%$ ; 2,5 %.



**Рисунок 4** – Диаграммы деформирования железобетонных образцов-призм из высокопрочного бетона с косвенным сетчатым и фибровым армированием.

Условные обозначения соответственно видам армирования:

- – высокопрочный бетон ( $\mu = 0\%$ ;  $\mu_{xy} = 0\%$ );
- ◆ – косвенное сетчатое армирование  $\mu_{xy} = 1\%$ ; 2,5 %;
- ◇ – фибровое армирование  $\mu_{sfb} = 1\%$ ; 2,5 %.

При разрушении образцов, армированных сетками из стержней диаметром 6,5 мм класса А-400, наблюдались разрывы стержней арматуры сеток вследствие достижения ими предела текучести.

Для описания напряженно-деформированного состояния элементов установлена применимость формул (6.84 и 6.85) СП 360.1325800.2017 для расчета прочности элементов с косвенным сетчатым и фибровым армированием, выполненных из высокопрочного бетона классов В60–В80 (рис. 3, 4).

На основе анализа полученных экспериментальных данных предложены оптимизированные аналитические зависимости:

- для определения предельных деформаций сжимаемости  $\bar{\varepsilon}_{sb}$  элементов из высокопрочного бетона в зависимости от интенсивности косвенного армирования на основе [20]:

$$|\bar{\varepsilon}_{sb}| = (|\bar{\varepsilon}_b| + 18 \cdot \eta_\sigma) \times 10^{-3}, \quad (1)$$

- для описания диаграмм напряженно-деформированного состояния « $\sigma$ – $\varepsilon$ » элементов с косвенным армированием в виде полиномиальной зависимости третьего порядка на основе рекомендаций [14]:

$$\eta_\sigma = a_1 \cdot \eta_\varepsilon + a_2 \cdot \eta_\varepsilon^2 + a_3 \cdot \eta_\varepsilon^3, \quad (2)$$

где  $\eta_\sigma = \frac{|\sigma_{b,loc}|}{R_{b,loc}}$  – для случая с применением косвенного армирования;

$\eta_\sigma = \frac{|\sigma_{fb,loc}|}{R_{fb,loc}}$  – для случая с применением фибрового армирования;

$$\eta_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{sb}}{\varepsilon_b}; \quad a_1 = 3; a_2 = -3; a_3 = 1;$$

$R_{b,loc}$  – приведенная призмная прочность по формуле (8.81) – СП 63.13330.2018;

$R_{fb,loc}$  – расчетное сопротивление сталефибробетона сжатию при местном действии сжимающей силы по формуле (6.84 и 6.85) – СП 360.1325800.2017;

Предложенные выражения (1)–(2) обеспечивают достоверное описание диаграмм напряженно-деформированного состояния элементов с косвенным и фибровым армированием различной интенсивности (рис. 5).

В рамках теоретических исследований проведено численное моделирование напряженно-

деформированного состояния сжатых элементов с использованием косвенного и фибрового армирования. Численный анализ выполнен методом конечных элементов (МКЭ) с использованием программного комплекса «ANSYS Workbench 14.5».

Оценка достоверности моделирования осуществлялась путем сравнения экспериментально полученных деформаций бетона на гранях конструкций с расчетными значениями деформаций элементов, включая продольную и поперечную арматуру, а также со значениями предельных разрушающих нагрузок. Результаты анализа подтвердили удовлетворительную сходимость расчетных и экспериментальных данных (рис. 6–8).

## Выводы

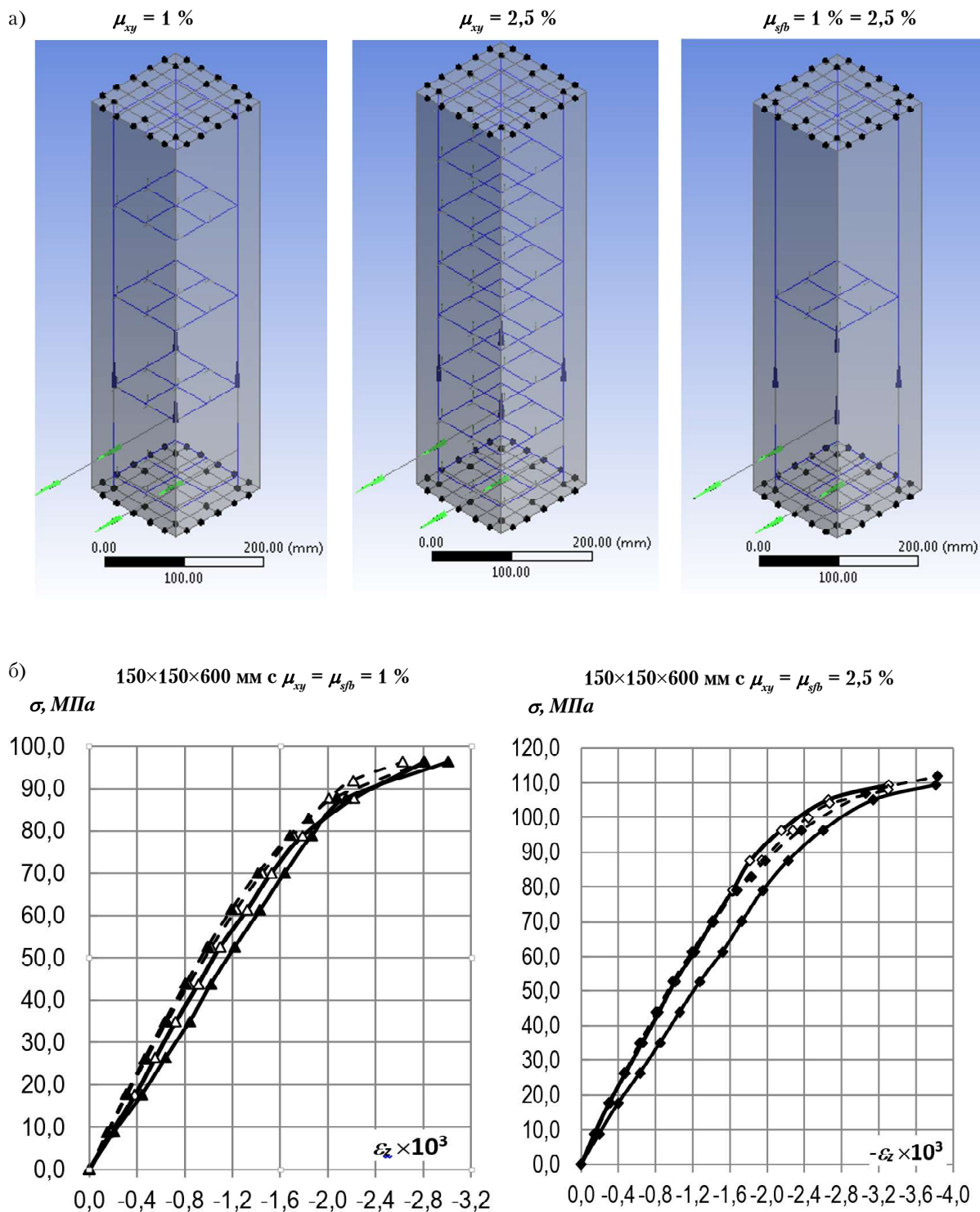
1. Применение косвенного сетчатого и дисперсного (фибрового) армирования является одним из эффективных методов повышения несущей способности сильно нагруженных колонн и участков конструкций, работающих в условиях местного смятия.
2. Дисперсное (фибровое) армирование способствует увеличению прочностных и деформационных характеристик бетона при сжатии и растяжении, а также повышает трещиностойкость и жесткость железобетонных конструкций, что особенно актуально для эксплуатации сильно нагруженных элементов зданий и сооружений.
3. Косвенное армирование обеспечивает увеличение несущей способности железобетонных колонн, работающих на значительные сжимающие нагрузки, а также повышает прочность участков конструкций, работающих в условиях местного смятия.
4. Введение в состав бетона косвенного и дисперсного армирования с коэффициентами  $\mu_{xy} = 1$  и 2,5 % способствует увеличению приведенной прочности высокопрочного бетона  $R_{b,loc}$  и сталефибробетона  $R_{fb,loc}$ , в среднем, в 1,15 и 1,32 раза по сравнению с неармированным бетоном. При этом величина предельной сжимаемости  $\varepsilon_{sb}$  возрастает в 1,2 и 1,52 раза для образцов с косвенным армированием, и в 1,12 и 1,33 – для образцов с дисперсным армированием.



Косвенное армирование  $\mu_{xy} = 1 \%$ Косвенное армирование  $\mu_{xy} = 2,5 \%$ Фибровое армирование  $\mu_{sfb} = 1 \%$ Фибровое армирование  $\mu_{sfb} = 2,5 \%$ 

Рисунок 5 – Фиксация характера разрушения образцов из высокопрочного модифицированного бетона с косвенным сетчатым и фибровым армированием.





**Рисунок 6** – Анализ напряженно-деформированного состояния элементов с косвенным сетчатым и фибровым армированием: а) расчетная схема элементов; б) диаграммы деформирования.

Условные обозначения:

----- результаты численного моделирования, выполненного с использованием программного комплекса «ANSYS Workbench 14.5».

————— опытные данные;

▲◆ – косвенное сетчатое армирование  $\mu_{xy} = 1 \%$ ;  $2,5 \%$ ;  
 △◇ – фибровое армирование  $\mu_{sfb} = 1 \%$ ;  $2,5 \%$ .

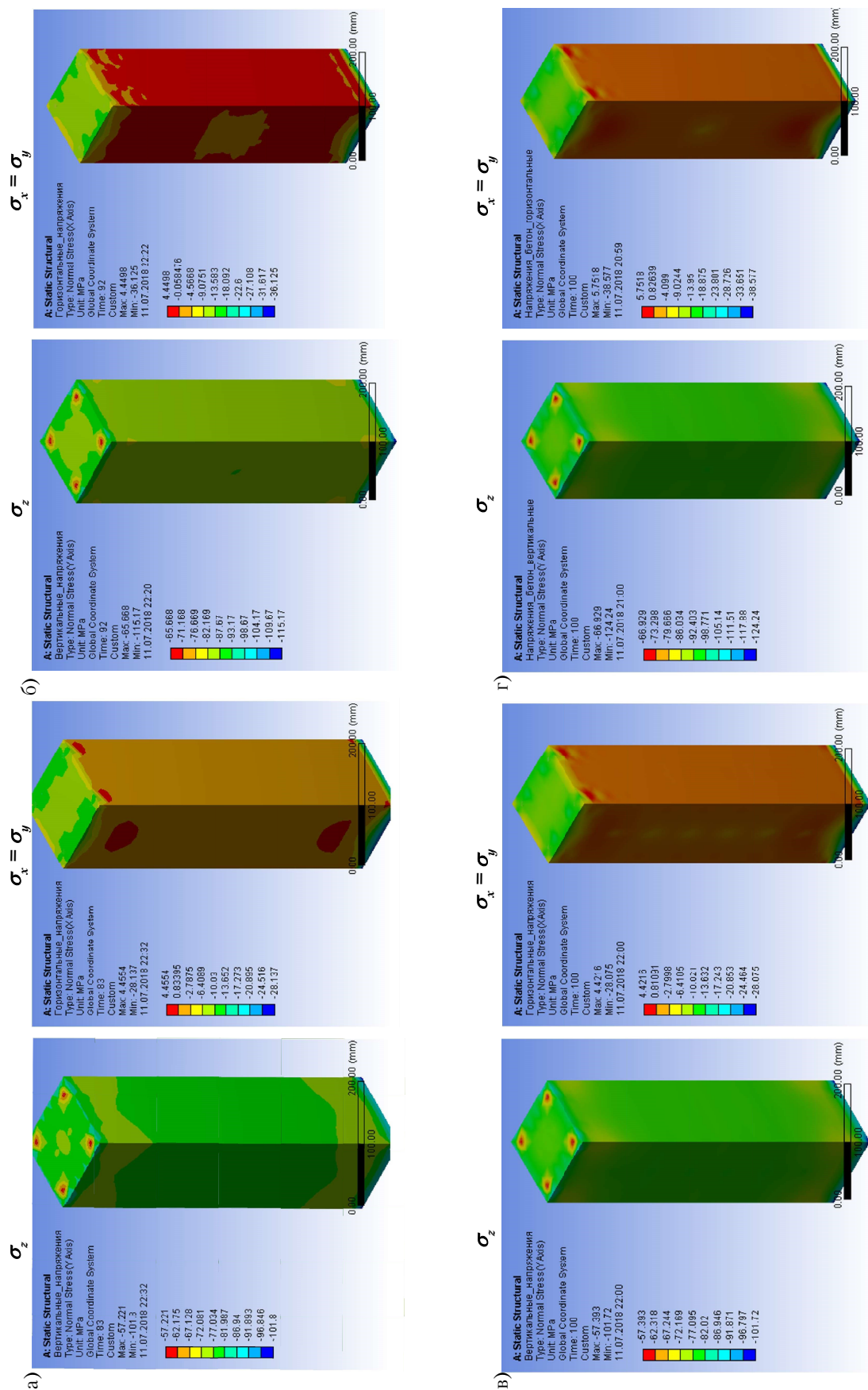


Рисунок 7 – Напряженное состояние железобетонных элементов с косвенным сетчатом и фибровым армированием: а) при  $\mu_{xy} = 1\%$ , б) при  $\mu_{xy} = 1\%$ , в) при  $\mu_{xy} = 2,5\%$ , г) при  $\mu_{xy} = 2,5\%$ .

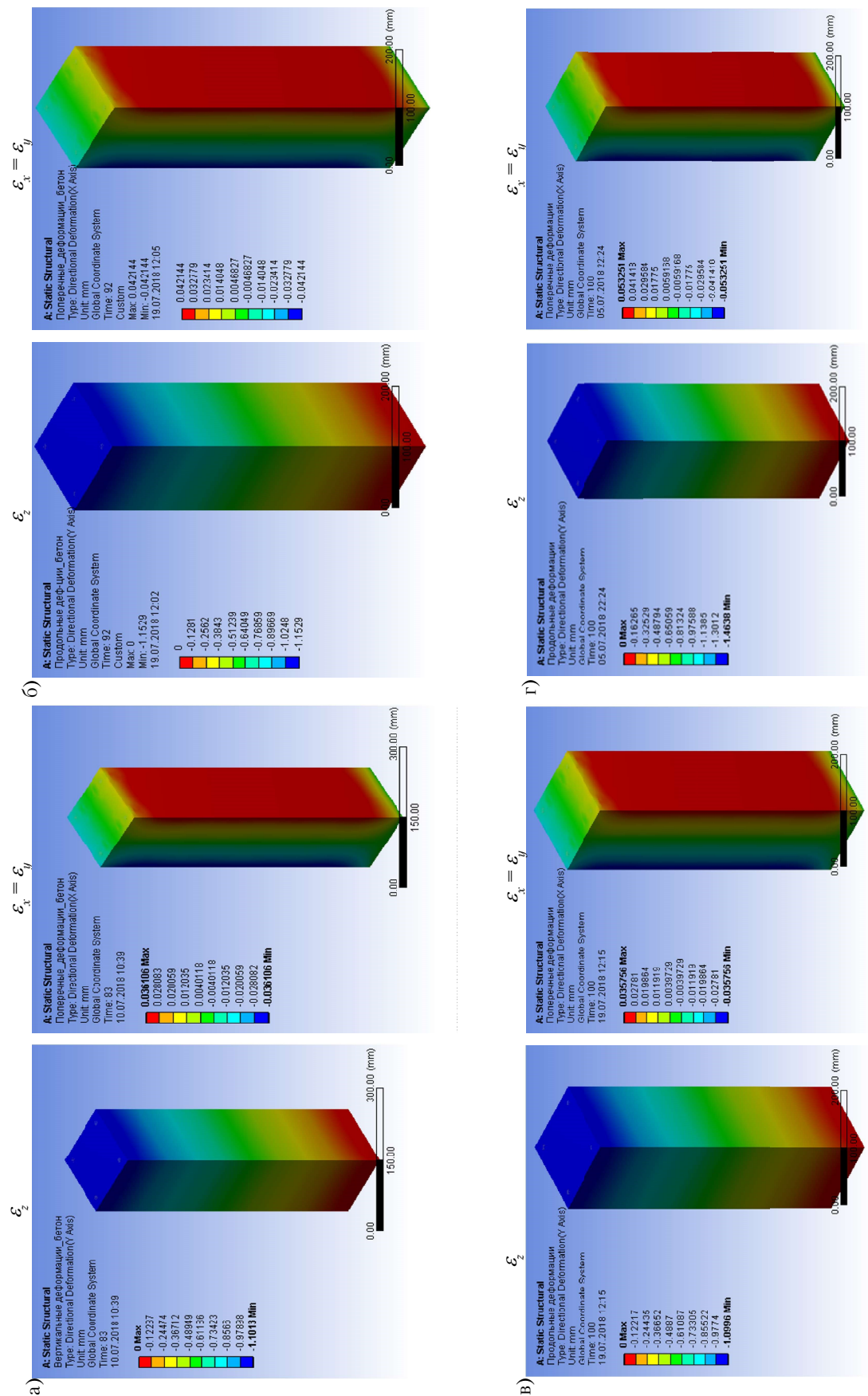


Рисунок 8 – Деформированное состояние железобетонных элементов с косвенным сетчатым и фибровым армированием: а) при  $\mu_{xy} = 1\%$ , б) при  $\mu_{xy} = 1\%$ , в) при  $\mu_{xy} = 2,5\%$ , г) при  $\mu_{xy} = 2,5\%$ .

5. Для определения величины приведенной призмочной прочности высокопрочных бетонов классов по прочности до В80 с высокой степенью точности могут быть использованы расчетные зависимости, приведенные в формулах (6.84) и (6.85) СП 360.1325800.2017, а также формула (8.81) СП 63.13330.2018.
6. Учет фактора физической нелинейности деформирования материалов с применением аналитических зависимостей (1)–(2) обеспечивает достоверную оценку несущей способности и деформационных характеристик сжатых железобетонных элементов, усиленных косвенным сетчатым и дисперсным армированием.

### Список источников

1. СП 360.1325800.2017. Конструкции сталефибробетонные. Правила проектирования. М.: Стандартинформ, 2017. 79 с.
2. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М.: Минстрой России, 2018. 152 с.
3. Аболиныш Д. С., Кравинскис В. К. Дисперсно хаотически армированный бетон как двухфазный материал и некоторые экспериментальные данные о его прочности при центральном сжатии и изгибе // Исследования по механике строительных материалов и конструкций. 1969. Вып. 4. С. 117-123.
4. Влияние некоторых характеристик отрезков стальной проволоки на свойства бетона, армированного этими отрезками / ЦИНИС // Строительство и архитектура: реф. информ. 1974. Вып. 17. Сер. 7 Строительные материалы и изделия. С. 6-8.
5. Влияние фибрового армирования и температуры нагрева на вязкость разрушения сталефибробетона / В. В. Жуков [и др.]. // Жаростойкие и обычные бетоны при действии повышенных и высоких температур: сб. тр. / под ред. В. В. Жукова. М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1988. С. 4-13.
6. Гвоздев А. А., Шубик А. В., Матков Н. Г. О полной диаграмме сжатия бетона, армированного поперечными сетками // Бетон и железобетон. 1988. N 4. С. 37-39. ISSN 0005-9889.
7. Копатский А. В., Курбатов Л. Г., Ефремова В. М. Структура бетонной составляющей зон сталефибробетона с повышенным содержанием крупных фибр // Технология изготовления и свойства новых композиционных строительных материалов: межвуз. сб. науч. тр. / Ленингр. инж.-строит. ин-т; под ред. И. А. Лобанова. М.: [б. и.], 1986. С. 44-49. (Труды ЛИСИ).
8. Корсун А. В. Напряженно-деформированное состояние сжатых железобетонных элементов из высокопрочных модифицированных бетонов, в том числе в условиях нагрева до +200 °С: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Макеевка, 2006. 20 с.

### References

1. Ministry of Construction and Housing and Municipal Services of the Russian Federation (2017), *SP 360.1325800.2017: Konstrukcii stalefibrobetonnye. Pravila proektirovaniya* [SP 360.1325800.2017 Steel fiber reinforced concrete structures. Design rules], Standartinform, Moscow, Russia.
2. Ministry of Construction and Housing and Municipal Services of the Russian Federation (2018), *SP 63.13330.2018: Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozheniya* [SP 63.13330.2018 Concrete and reinforced concrete structures. General provisions], Ministry of Construction of Russia, Moscow, Russia.
3. Abolinsh, D.S. and Kravinskis, V.K. (1969), "Dispersedly chaotically reinforced concrete as a two-phase material and some experimental data on its strength under central compression and bending", *Issledovaniya po mekhanike stroitelnykh materialov i konstrukcij*, issue 4, pp. 117-123.
4. Central Institute of Information and Translations on Construction (1974), "The influence of some characteristics of steel wire segments on the properties of concrete reinforced with these segments", *Stroitel'stvo i arhitektura: referativnaya informatsiya*, issue 17, series 7 Construction materials and products, pp. 6-8.
5. Zhukov, V.V., Shustova, E.N., Grigoryan, G.A. and Shevchenko, V.I. (1988), "Effect of fiber reinforcement and heating temperature on the fracture toughness of steel fiber reinforced concrete" in Zhukov, V.V. (ed.), *Zharostojkie i obychnye betony pri deystvii povyshennykh i vysokikh temperatur* [Heat-resistant and ordinary concretes under the influence of elevated and high temperatures], Research Institute of Reinforced Concrete of the USSR State Construction Committee, Moscow, Russia, pp. 4-13.
6. Gvozdev, A.A., Shubik, A.V. and Matkov, N.G. (1988), "On the complete compression diagram of concrete reinforced with transverse grids", *Beton i zhelezobeton*, no. 4, pp. 37-39. ISSN 0005-9889.
7. Kopatsky, A.V., Kurbatov, L.G. and Efremova, V.M. (1986), "Structure of the concrete component in zones of steel fiber reinforced concrete with increased content of coarse fibers", in Lobanov, I.A. (ed.),

9. Курбатов Л. Г. Некоторые вопросы технологии и технико-экономической эффективности сталефибробетона // Производство строительных изделий и конструкций: межвуз. сб. науч. тр. / Ленингр. инж.-строит. ин-т. М.: [б. и.], 1979. С. 38-42. (Труды ЛИСИ).
10. Лобанов И. А. Особенности структуры и свойства дисперсно-армированных бетонов // Технология изготовления и свойства новых композиционных строительных материалов: межвуз. сб. науч. тр. / Ленингр. инж.-строит. ин-т; под ред. И. А. Лобанова. М.: [б. и.], 1986. С. 5-10. (Труды ЛИСИ).
11. Обухов А. Н., Руденко И. Ф., Селиванова С. А. Повышение прочности сталефибробетона на ЕЦ при роликовом формовании // Бетон и железобетон. 1987. N 9. С. 20-21. ISSN 0005-9889.
12. Ольховая Л. И. Прочность и деформативность сталефибробетона и элементов конструкций с его использованием: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. М., 1989. 25 с.
13. Павленко В. И. Свойства фибробетона и перспективы его применения: аналит. обзор. Рига: ЛатНИИИТИ, 1978. 56 с.
14. Попов Н. Н., Матков Н. Г., Гончаров А. А. Внецентренно сжатые элементы с продольной высокопрочной арматурой при статическом и динамическом нагружении // Бетон и железобетон. 1990. N 10. С. 32-34. ISSN 0005-9889.
15. Попов Н. Н., Трекин Н. Н., Матков Н. Г. Влияние косвенного армирования на деформативность бетона // Бетон и железобетон. 1986. N 11. С. 33-34. ISSN 0005-9889.
16. Применение сталефибробетона для покрытия настилов мостов / ВНИИИТПИ // Строительство и архитектура: экспресс - информ. 1996. Вып. 5 Строительные конструкции и материалы. С. 53-60.
17. Рабинович Ф. Н. Дисперсно армированные бетоны. М.: Стройиздат, 1989. 177 с.
18. Рыбасов В. П. Исследование свойств бетона, армированного стальными волокнами // Новые материалы и изделия в строительстве. М.: НИИМосстрой, 1982. С. 36-38.
19. Свойства волокон и бетона, армированного волокнами / ЦИНИС // Строительство и архитектура: реф. информ. 1974. Вып. 14. Сер. 7. Строительные изделия и конструкции. С. 12-15.
20. Чистяков Е. А., Бакиров К. К. Высокопрочная арматура в сжатых элементах с косвенным армированием // Бетон и железобетон. 1976. N 9. С. 35-38.
21. Корсун В. И., Машталер С. Н. Влияние повышенных температур на прочность и деформации высокопрочного сталефибробетона при осевом сжатии и растяжении // Вестник Евразийской науки. 2023. Т. 15. N 6. URL: <https://esj.today/PDF/-76SAVN623.pdf> (дата обращения: 15.02.2025).
22. Машталер С. Н., Казак К. А. Прочность и деформации железобетонных элементов с косвенным армированием // Технология изготовления и свойства новых композиционных строительных материалов [Technology and Properties of New Composite Building Materials], Moscow, Russia, pp. 44-49. (Works of LISI).
8. Korsun, A. V. (2006), "Stress-Strain State of Compressed Reinforced Concrete Elements Made of High-Strength Modified Concretes, Including Under Heating Up to +200 °C", Abstract of Ph.D. dissertation, Building structures, buildings and constructions, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeevka, Russia.
9. Kurbatov, L.G. (1979), "Some issues of technology and technical-economic efficiency of steel fiber reinforced concrete", *Proizvodstvo stroitelnykh izdelij i konstrukcij* [Production of Building Products and Structures], Moscow, Russia, pp. 38-42. (Works of LISI).
10. Lobanov, I.A. (1986), "Features of the structure and properties of dispersely reinforced concretes", in Lobanov, I.A. (ed.), *Texnologiya izgotovleniya i svoystva novyx kompozicionnykh stroitelnykh materialov* [Technology and Properties of New Composite Building Materials], Moscow, Russia, pp. 5-10. (Works of LISI).
11. Obukhov, A.N., Rudenko, I.F. and Selivanova, S.A. (1987), "Increasing the strength of steel fiber reinforced concrete under roller forming", *Beton i zhelezobeton*, no. 9, pp. 20-21. ISSN 0005-9889.
12. Olkhovaya, L.I. (1989), "Strength and Deformability of Steel Fiber Reinforced Concrete and Structural Elements Using It", Abstract of Ph.D. dissertation, Building structures, buildings and constructions, Moscow Civil Engineering Institute named after V.V. Kuibyshev, Moscow, Russia.
13. Pavlenko, V.I. (1978), *Svoystva fibrobetona i perspektivy ego primeneniya: analit. obzor* [Properties of Fiber Reinforced Concrete and Prospects for Its Application], LatNIHINTI, Riga, Latvia.
14. Popov, N.N., Matkov, N.G. and Goncharov, A.A. (1990), "Eccentrically compressed elements with longitudinal high-strength reinforcement under static and dynamic loading", *Beton i zhelezobeton*, no. 10, pp. 32-34. ISSN 0005-9889.
15. Popov, N.N., Trekin, N.N. and Matkov, N.G. (1986), "The influence of indirect reinforcement on the deformability of concrete", *Beton i zhelezobeton*, no. 11, pp. 33-34. ISSN 0005-9889.
16. All-Russian Research Institute of Scientific and Technological Progress and Information in Construction (1996), "Application of steel fiber reinforced concrete for bridge deck coatings", *Stroitel'stvo i arhitektura: ekspress - informatsiya*, issue 5 Building structures and materials, pp. 53-60.
17. Rabinovich, F.N. (1989), *Dispersno armirovannyye betony* [Dispersely Reinforced Concretes], Stroyizdat, Moscow, Russia.
18. Rybakov, V.P. (1982), "Study of the properties of concrete reinforced with steel fibers", *Novye materialy i izdeliya v stroitel'stve* [New Materials and Products in Construction], NIIMosstroy, Moscow, Russia, pp. 36-38.

сетчатым и дисперсным армированием при кратковременном сжатии // Строитель Донбасса. 2024. Вып. 2-2024. С. 34-38. ISSN 2617-1848.

19. Central Institute of Information and Translations on Construction (1974), "Properties of fibers and fiber-reinforced concrete", *Stroitel'stvo i arhitektura: referativnaya informatsiya*, issue 14, series 7 Building products and structures, pp. 12-15.
20. Chistyakov, E.A. and Bakirov, K.K. (1976), "High-strength reinforcement in compressed elements with indirect reinforcement", *Beton i zhelezobeton*, no. 9, pp. 35-38.
21. Korsun, V.I. and Mashtaler, S.N. (2023), "The influence of elevated temperatures on the strength and deformations of high-strength steel fiber reinforced concrete under axial compression and tension", *Eurasian Scientific Bulletin*, vol. 15, no. 6, available at: <https://esj.today/PDF/76SAVN-623.pdf> (Accessed 15 February 2025).
22. Mashtaler, S.N. and Kazak, K.A. (2024), "Strength and deformations of reinforced concrete elements with indirect mesh and dispersed reinforcement under short-term compression", *The Builder of Donbass*, issue 2-2024, pp. 34-38. ISSN 2617-1848.

#### Информация об авторах

**Машталер Сергей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: развитие методик определения характеристик напряженно-деформированного состояния железобетонных (сталефибробетонных) элементов при простых режимах силового и температурного воздействий, оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

**Жильцова Елизавета Андреевна** – студентка 4-го курса группы ПГС-75а Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

**Кушнир Сергей Анатольевич** – старший преподаватель кафедры железобетонных конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

#### Information about the authors

**Mashtaler Sergey N.** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeyevka, Russia. Scientific interests: development of methods of estimation of characteristics of the stress-strain state of reinforced concrete (steel fiber concrete) elements under simple modes of power and temperature influences, estimation of technical state and design of reinforced concrete constructions.

**Zhiltsova Elizaveta A.** – student of the 4th year of the ICE-75a group, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeyevka, Russia. Scientific interests: assessment of the technical condition and design of reinforced concrete structures.

**Kushnir Sergey A.** – Senior Lecturer of Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeyevka, Russia. Scientific interests: assessment of the technical condition and design of reinforced concrete structures.



**Вклад авторов:**

**Машталер С. Н.** – идея; сбор материала; выполнение экспериментальных и теоретических исследований; обработка данных; научное редактирование текста.

**Жильцова Е. А.** – обработка данных; анализ литературных источников; написание статьи.

**Кушнир С. А.** – обработка данных; анализ литературных источников; написание статьи.

**Contribution of the authors:**

**Mashtaler S. N.** – idea; material collection; experimental and theoretical research; data processing; scientific text editing.

**Zhiltsova E. A.** – data processing; analysis of literary sources; writing an article.

**Kushnir S. A.** – data processing; analysis of literary sources; writing an article.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**The authors declare no conflicts of interests.**

*Статья поступила в редакцию 27.02.2025; одобрена после рецензирования 21.03.2025; принята к публикации 28.03.2025.*

*The article was submitted 27.02.2025; approved after reviewing 21.03.2025; accepted for publication 28.03.2025.*