

УДК 691.328.5

**А. А. ДОЛМАТОВ, С. Н. МАШТАЛЕР, В. Е. НАЗАРОВ**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## **АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФИБРОБЕТОНА В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Аннотация.** В данной статье рассмотрен опыт применения фибробетона в зарубежном и отечественном строительстве, а также проведен анализ последних исследований и публикаций. В качестве примера приведена комплексная панель покрытия, выполненная из сталефибробетона. Изготовление комплексной панели с фиброкаркасным армированием позволяет снизить массу панели на 35 % по сравнению с железобетонным вариантом. Приведены виды и свойства армирующих волокон и их достоинства. По итогам статьи было выявлено, что использование фибробетона в современном строительстве является востребованным. Так как его применение снижает трудоемкость и энергоемкость, то это позволяет обеспечить снижение расхода бетона и стали, что в свою очередь влияет на технико-экономические показатели.

**Ключевые слова:** фибра, дисперсное армирование, композитные материалы.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Одним из направлений современного строительства является повышение эффективности производства, снижение стоимости и трудоёмкости технологических процессов, рациональное использование материальных и энергетических ресурсов, снижения массы строительных конструкций, а также освоения современных методов возведения зданий и сооружений с использованием высококачественных строительных материалов и изделий, в том числе композитных.

Одним из перспективных композитных материалов является дисперсноармированные бетоны.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

Отечественные исследования и разработки по созданию дисперсноармированных бетонов и конструкций с их применением основываются в значительной мере на фундаментальных исследованиях, относящихся к теории расчета, технологии изготовления и проектирования железобетонных конструкций. Большой вклад в развитие вышеуказанных исследований внесли известные ученые Ю. М. Баженов, В. Н. Байков, О. Я. Берг, В. М. Бондаренко, А. А. Гвоздев, Ю. В. Зайцев, Б. А. Крылов, К. В. Михайлов, А. В. Носарев, В. Б. Ратинов, Б. Г. Скрамтаев, М. М. Холмянский, А. Е. Шейкин и др. Большая заслуга в исследованиях сталефибробетонных конструкций принадлежит Г. И. Бердичевскому, А. П. Кричевскому, И. В. Волкову, Ф. А. Гофштейну, К. М. Королеву, О. В. Коротышевскому, Л. Г. Курбатову, И. А. Лобанову, В. П. Романову, К. В. Талантовой, Г. А. Шихунову, В. В. Шугаеву, Ф. Ц. Янкеловичу, Ю. В. Пухаренко и др. Результаты зарубежных исследований дисперсноармированных бетонов изложены в работах А. Келли, Г. Батсона, Г. Гравса, Г. С. Холистера, С. Т. Милейко, Дж. Купера.

### **ЦЕЛИ**

Обзор отечественного и зарубежного опыта применения фибробетона в современном строительстве.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Фибробетон – композитный строительный материал, получаемый путём добавления фибры/волокна в бетон. Фибра (от англ. Fiber – волокно) – материал, равномерно армирующий бетон во всех плоскостях, повышающий его прочность, ударостойкость и снижающий образование трещин в стадии твердения бетона и трещин, возникающих в стадии эксплуатации.

Фибробетон рекомендуется для конструкций, в которых наиболее эффективно могут быть использованы его технические преимущества по сравнению с обычным железобетоном, а именно:

- повышенные трещиностойкость, ударная вязкость, износо-, морозо- и огнестойкость, термодинамическая стойкость и др.;

- возможность использования более эффективных конструктивных решений, чем при обычной стержневой или проволочной стальной арматуре, например: тонкостенных конструкций, конструкций без стержневой или сетчатой распределительной и поперечной арматуры, тонкостенных конструкций со стержневой растянутой арматурой, не доводящейся до опоры, и др.;

- снижение трудозатрат на арматурные работы, повышение степени механизации и автоматизации производства железобетонных конструкций, например: в сборных тонкостенных оболочках, складках, ребристых плит покрытий и перекрытий, сборных колоннах и составных сваях, балках, монолитных днищах емкостных сооружений, дорожных и аэродромных покрытиях, монолитных полах промышленных зданий и др.;

- возможность применения новых, более производительных приемов формирования армированных конструкций, например: пневмонабрызг, метод погиба свежееотформованных листовых изделий, роликовое прессование и др. [4]. Экономический эффект применения фибробетона при более высокой стоимости его по сравнению с традиционным обеспечивается за счет уменьшения или полного сокращения применения стержневой и проволочной арматуры, сеток и каркасов из них, а главным образом – за счет более высокой долговечности, эксплуатационной пригодности, увеличения межремонтного ресурса и повышения безопасности зданий и сооружений при сейсмических воздействиях и пожарах [1].

В отечественных и зарубежных источниках указаны различные виды дисперсного армирования. На данный момент используются различные органические и неорганические волокна, такие как стекло, полипропилен, базальт, углеродные волокна. Наиболее широкое применение имеют стальные волокна. Основные виды и свойства используемых волокон приведены в таблице.

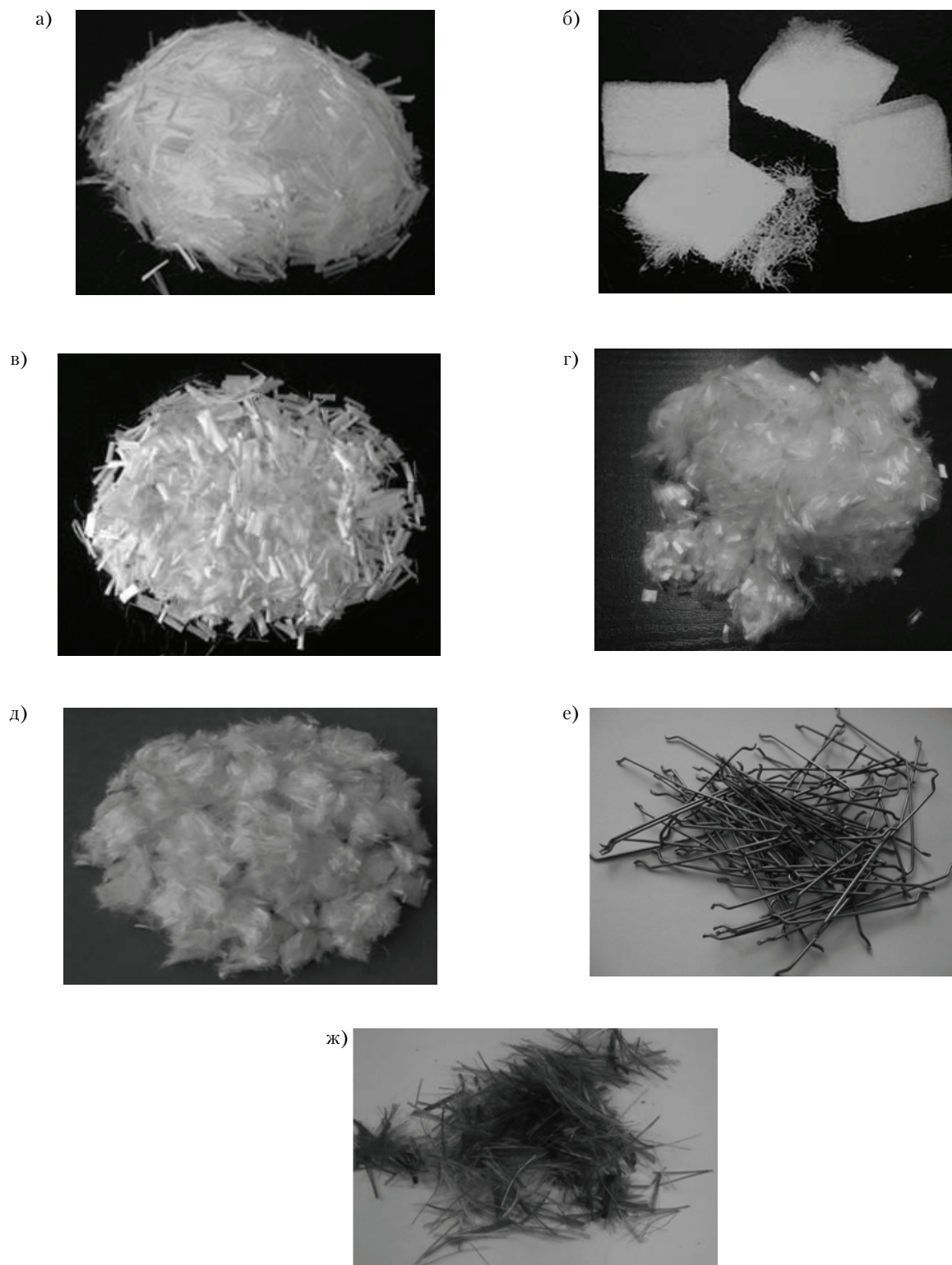
Таблица – Основные виды и свойства используемых волокон

Наименование волокна	Характеристика волокна					
	прочность на растяжение, МПа	модуль упругости, ГПа	диаметр, мм	длина, мм	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Деформация при разрыве, %
Стекло	3 500	71	14	6	2 680	2,0–3,5
Целлюлозное	600	60	15	3	1 500	–
Полиакрилонитрильное	300	8	37	6	1 180	–
Полипропиленовое	700	5	50	13	9 10	13–15
Из поливинилового спирта	1 900	41	14	2	1 300	–
Стальное	500–3 500	186–206	5–500	–	7,6–7,8	0,5–3,5
Базальтовое	1 600–3 200	100–130	–	12–20	2 600	1,4–3,6

На рис. 1 представлены изображения различных вариантов фибры.

Рассмотрим достоинства фибрового армирования в сравнении с традиционными бетонами.

**Прочность при сжатии.** Рост прочности фибробетона при сжатии прямо пропорционален классу бетона – матрицы, увеличению содержания фибры, уменьшению относительной длины и практически не зависит от их диаметра. При испытании коротких кубических образцов на сжатие наблюдается прирост прочности на 20...30 %. Прочность при сжатии является контрольной характеристикой при проектировании фибробетонных конструкций и может быть выбрана в соответствии с классом фибробетона по прочности на сжатие  $B_f$  или определена расчетом.



**Рисунок 1** – Варианты фибровых волокон: а) стеклянная фибра, б) целлюлозная фибра, в) полиакрилонитрильная фибра, г) полипропиленовая фибра, д) фибра из поливинилового спирта, е) стальная фибра, ж) базальтовая фибра.

**Прочность на растяжение** фибробетона растет прямо пропорционально увеличению содержания фибры и ее длины, а также при увеличении прочности сцепления фибры с матрицей. Прочность фибробетона при растяжении является одной из определяющих характеристик материала. Независимо от длины и объемного содержания фибры прочность фибробетона при осевом растяжении ( $R_{\text{фт}}$ )

иссыкает с появлением первой трещины. По данным специалистов  $R_{fbt}$  превышает прочность исходного бетона при растяжении  $R_{bt}$  до 5–6 раз.

**Прочность на растяжение при изгибе** является одним из важных показателей фибробетона, который зависит от содержания фибры и её длины, прочности её сцепления с бетонной матрицей, класса бетонной матрицы и превышает прочность исходного бетона в 3,5–5,0 раз. Так, например, характеристики сталефибробетона (СФБ), прочность СФБ при изгибе может быть выбрана в соответствии с классом СФБ по прочности на растяжение при изгибе  $V_{fb}$  или определена расчетом [7].

**Силовые деформации.** Показателем деформативности фибробетона является модуль деформации – непостоянная величина и существенно зависящая от стадийности работы. Начальный модуль упругости фибробетона зависит как от соответствующего показателя исходного бетона, так и от коэффициента фибрового армирования. Значение начального модуля упругости выше соответствующей характеристики бетона матрицы на 30...100 %.

Деформативность фибробетона характеризуется, помимо указанного выше, предельными деформациями сжатия  $e_{fc,u}$  и растяжения  $e_{ft,u}$ . Предельная сжимаемость фибробетона  $e_{fc,u}$  превышает сжимаемость бетона до трех раз и составляет в среднем  $12 \times 10^{-3}$  предельная растяжимость фибробетона  $e_{ft,u}$  существенно выше аналогичной характеристики бетона, по имеющимся данным она составляет  $6...8 \times 10^{-4}$ .

**Объемные деформации усадки.** Наличие фибры сдерживает деформации усадки бетона в фибробетоне и способствует их более равномерному протеканию. Снижение деформаций усадки фибробетона по отношению к неармированному бетону, по оценкам специалистов, составляет 30...60 %. При повышенных температурах усадка фибробетона ниже усадки исходного бетона на 10...23 %.

Применение дисперсноармированных бетонов дает возможность исключить из конструкций значительную часть традиционной стержневой арматуры и заменить ее фиброй, вводимой в бетон при его приготовлении в бетоносмесителе. Это позволяет значительно снизить трудоемкость работ при изготовлении сборных элементов на заводах ЖБК, а также непосредственно на строительных площадках при возведении монолитных конструкций. Применение дисперсноармированных бетонов позволяет в ряде случаев обеспечить снижение расхода бетона и стали.

Наиболее распространенным вариантом дисперсного армирования является использование стальной фибры. Сталефибробетон (СФБ) – это разновидность дисперсноармированного железобетона. Он изготавливается из мелко- или крупнозернистого тяжелого бетона, где в качестве арматуры применяется стальная фибра, равномерно распределенная по всему объему.

Опыт таких развитых стран, как США, Великобритания, Германия, Франция и Австралия, убедительно доказал технико-экономическую эффективность применения сталефибробетона в строительных конструкциях [5, 6]. В строительной практике США сталефибробетон широко применяют для монолитных полов промышленных зданий, покрытий в аэропортах, территориях и дорог с тяжелыми транспортными нагрузками [6].

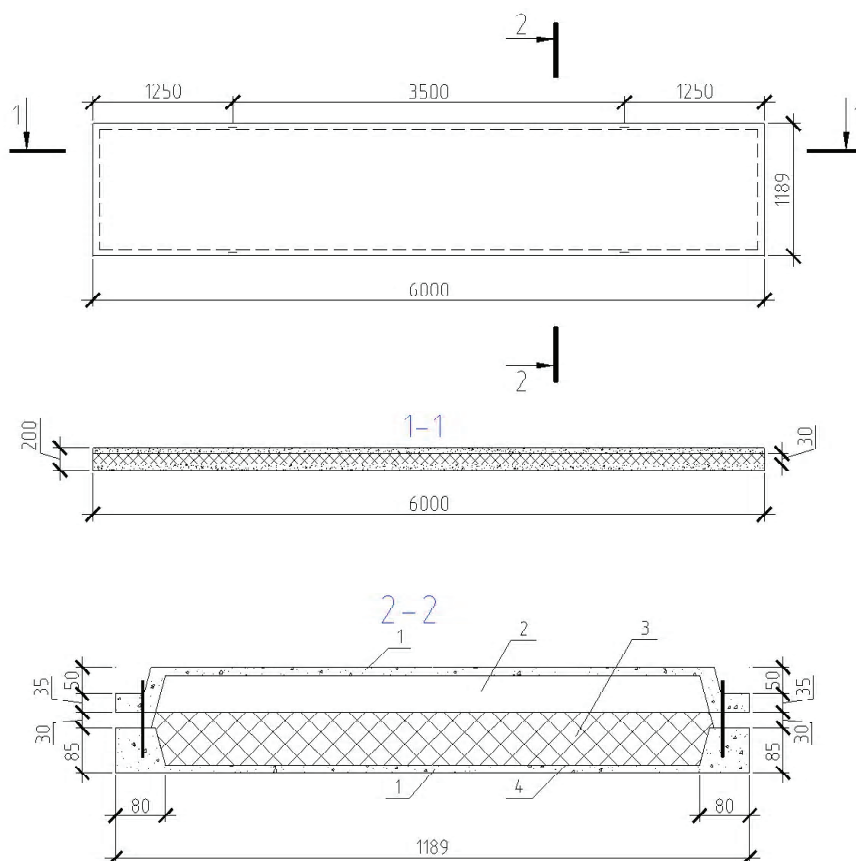
Использование стальной фибры при производстве сталефибробетона обуславливает резкое повышение устойчивости к образованию сколов, трещинообразованию. Удаётся уменьшить количество стыков и швов, существенно снизить период последующих ремонтов, а также их стоимость.

В дальнейшем были разработаны и исследованы центрифугированные колонны промзданий и инженерных сооружений. Применение сталефибробетона в этих конструкциях позволяет отказаться от колонн квадратного сечения с арматурным каркасом, заменив его стальной фиброй в количестве 0,5–1,0 % от объема бетонной смеси.

В области гражданского строительства разработаны и испытаны комплексные панели покрытий (рис. 2) [4].

Комплексная панель покрытия представляет собой коробчатую конструкцию размерами 5 990×1 189×200 мм. Панель состоит из двух ребристых плит. Верхняя и нижняя полки панели выполнены из сталефибробетона толщиной 15 мм, ребра – из железобетона. На нижнюю ребристую плиту укладывается слой теплоизоляции, верхняя устанавливается на нижнюю, образуя коробчатое сечение. Ребристые плиты соединены между собой с помощью закладных деталей, расположенных на расстоянии 1 м друг от друга. Зазор между ребрами заполняется теплоизоляционным материалом. Изготовление комплексной панели с фиброкаркасным армированием позволило снизить массу панели на 35 % по сравнению с железобетонным вариантом.

Перспективным и современным направлением является изучение технологии возведения зданий и сооружений с применением бетонов с улучшенными прочностными и деформативными характеристиками. Важное место в этих исследованиях уделено фибробетонам. Такие технологические



**Рисунок 2** – Комплексная панель покрытия из ребристых плит, армированных фиброкаркасами: 1 – сталефибробетонная плита толщиной 15 мм; 2 – воздушная прослойка; 3 – минеральная вата; 4 – пароизоляция.

характеристики данного вида бетонов, как удобоукладываемость, сокращение трудоемкости арматурных работ, применение бетононасосов, подвижных опалубок, повышение оборачиваемости опалубки, диктует дальнейшее изучение организационно-технологических решений работ звеньев и бригад при строительстве объектов.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом выполнен значительный объем исследовательских и проектных работ по технологии бетонирования с применением дисперсноармированных бетонов, многие из этих методов прошли апробацию в производственных условиях [2].

## ВЫВОДЫ

Таким образом, технология возведения зданий и сооружений с применением дисперсноармируемых бетонов является перспективным направлением научных исследований, а основной задачей при этом является дальнейшее изучение деформативно-прочностных и технологических свойств данного материала.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рахимов, Р. З. Фибробетон – строительный материал XXI-го века [Текст] / Р. З. Рахимов // Экспозиция, 2008. – № 54. – С. 5–8.
2. Рабинович, Ф. Н. Композиты на основе дисперсноармируемых бетонов [Текст] / Ф. Н. Рабинович. – 3-е изд., доп. – М. : АСВ, 2004. – 560 с.
4. Волков, И. В. Фибробетонные конструкции [Текст] : Обзорная информация / И. В. Волков // Строительство и архитектура. Серия: Строительные конструкции, 1988. – № 2. – С. 1–29.
5. Schmidt, M. Ultrahochfester Beton- und Fertigteil technik [Текст] / M. Schmidt, E. Fenling // Ultra-Hochfester Beton. – 2003. – Heft 11. Schriftenreihe Baustoffe und Massivbau. – P. 16–19.
6. Сычева, Л. И. Материалы, армированные волокном [Текст] / Л. И. Сычева, А. В. Воловик / Перевод изд. : Fibrereinforced materials. – М. : Стройиздат, 1982. – 180 с.

7. Исследование физико-механических свойств дисперсноармированных бетонов [Электронный ресурс] / Р. Ф. Серова, Г. М. Рахимова, Е. А. Стасилович, С. Ж. Айдарбекова // Эпоха науки, 2018. – № 14 : Технические науки. – С. 192–200. – Режим доступа : [http://eraofscience.com/EofS/Vypyski2018/14-iyun\\_2018/45.pdf](http://eraofscience.com/EofS/Vypyski2018/14-iyun_2018/45.pdf).

Получено 01.10.2018

А. О. ДОЛМАТОВ С. М. МАШТАЛЕР, В. Є. НАЗАРОВ  
АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ФІБРОБЕТОНУ В СУЧАСНОМУ  
БУДІВНИЦТВІ  
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** У даній статті розглянуто досвід застосування фибробетону в зарубіжному і вітчизняному будівництві, а також проведено аналіз останніх досліджень і публікацій. Як приклад наведена комплексна панель покриття, виконана з сталеві фибробетону. Виготовлення комплексної панелі з фиброкаркасным армуванням дозволяє знизити масу панелі на 35 % в порівнянні з залізобетонним варіантом. Наведено види та властивості армуючих волокон та їх достоїнств. За підсумками статті було виявлено, що використання фибробетону в сучасному будівництві є затребуваним. Так як його застосування знижує трудомісткість і енергоємність, то це дозволяє забезпечити зниження витрати бетону і сталі, що в свою чергу впливає на техніко-економічні показники.

**Ключові слова:** фибробетон, фибра, дисперсне армування, композитні матеріали.

ANDREY DOLMATOV, SERGII MASHTALER, VLADISLAV NAZAROV  
THE RELEVANCE OF THE USE OF FIBER-REINFORCED CONCRETE IN  
MODERN CONSTRUCTION  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** In this article, the experience of using fibrobeton in foreign and domestic construction, as well as an analysis of recent research and publications. As an example, a complex coating panel made of steel fiber concrete is presented. The manufacture of a complex panel with fiber-reinforced reinforcement allows you to reduce the weight of the panel by 35 % compared with the reinforced concrete option. The types and properties of reinforcing fibers, and their advantages. According to the results of the article, it was revealed that the use of fiber-reinforced concrete in modern construction is in sought-after. Since its use reduces the complexity and energy consumption, it allows to reduce the consumption of concrete and steel. Which in turn affects the technical and economic indicators.

**Keywords:** fiber concrete, fiber, dispersed reinforcement, composite material

**Долматов Андрей Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: технология возведения зданий и сооружений из монолитного железобетона с применением подвижных опалубочных систем.

**Машталер Сергей Николаевич** – ассистент кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: развитие методик определения характеристик напряженно-деформированного состояния железобетонных (сталеві фибробетонных) элементов при простых режимах силового и температурного воздействий, оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

**Назаров Владислав Евгеньевич** – магистрант кафедры технологии и организации строительства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: современные строительные материалы.

**Долматов Андрій Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології і організації будівництва ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: технологія зведення будівель і споруд з монолітного залізобетону з використанням рухомих опалубних систем.

**Машталер Сергій Миколайович** – асистент кафедри залізобетонних конструкцій ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розвиток методик визначення характеристик напружено-деформованого стану залізобетонних (сталеві фибробетонних) елементів при простих режимах силового і температурного впливів, оцінка технічного стану і проектування залізобетонних конструкцій.

**Назаров Владислав Євгенович** – магістрант кафедри технології і організації будівництва ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: сучасні будівельні матеріали.

**Dolmatov Andrey** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the technology of construction of buildings and structures of monolithic reinforced concrete using mobile formwork systems.

**Mashtaler Sergii** – Assistant, Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. 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.

**Nazarov Vladislav** – Master's student, Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: modern building material.