

МРНТИ 67.11.29

Н.А. Шаншабаев<sup>1</sup> – основной автор, | ©  
И.И. Бекбасаров<sup>2</sup>, Е.И. Атепов<sup>3</sup>



<sup>1</sup>Докторант, <sup>2</sup>Д-р техн. наук, профессор, <sup>3</sup>PhD

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-3250-7853> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-4930-0488>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-2907-6610>



<sup>1,2,3</sup>Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати



г. Тараз, Казахстан



<sup>1</sup>[bekbasarov.isabai@mail.ru](mailto:bekbasarov.isabai@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/ZJNH4326>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ФИБРОБЕТОНОВ НА СТАТИЧЕСКУЮ СЖИМАЮЩУЮ НАГРУЗКУ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗАБИВНЫХ СВАЙ

**Аннотация.** Изложены результаты статических испытаний образцов фибробетона и образцов из неармированного бетона в лабораторных условиях. Испытанию сжимающей нагрузкой подвергались образцы, армированные стальными и нестальными фибрами.

Установлено, что вид фибр оказывает позитивное влияние на статическую сопротивляемость фибробетона. Наибольшая статическая сопротивляемость сжатию характерна для фибробетона, армированного стальными фибрами марки DRAMIX 3D. Незначительно уступает ему фибробетон, армированный базальтовыми фибрами.

Выявлено, что статическая сопротивляемость фибробетона, армированного стальными фибрами марки DRAMIX 3D, повышается с увеличением объемного содержания фибр и класса бетона по прочности на сжатие. Наибольший эффект при этом достигается при проценте армирования  $\mu = 2\%$ , и для бетона класса В25 по прочности на сжатие. Показано, что фибробетоны, армированные стружковыми и канатно-тросовыми стальными фибрами, по статической сопротивляемости уступают фибробетону со стальными фибрами марки DRAMIX 3D.

Установлено что, увеличение длины канатно-тросовых стальных фибр в 2-3 раза вызывает незначительное повышение прочности фибробетона. Получены корреляционные зависимости для прогнозирования прочностных параметров фибробетонов при их сравнительной оценке.

**Ключевые слова:** модель, призматическая свая, пирамидальная свая, пирамидально-призматическая свая, нагрузка.



Шаншабаев, Н.А. Исследование прочностных свойств различных видов фибробетонов на статическую сжимающую нагрузку для производства забивных свай [Текст] / Н.А. Шаншабаев, И.И. Бекбасаров, Е.И. Атепов // Механика и технологии / Научный журнал. – 2024. – №2(84). – С.175-189. <https://doi.org/10.55956/ZJNH4326>

**Введение.** Одним из прогрессивных видов бетонов, активно изучаемых специалистами и опытно внедряемых в строительную отрасль ряда стран,

несомненно, является фибробетон [1,2]. Научная и практическая привлекательность этого бетона обусловлена его повышенными физическими и механическими свойствами. Так прочность фибробетона на сжатие на 20-50% выше, чем у обычного бетона, модуль упругости – на 30-40%, а водопроницаемость – на 50% больше. К тому же для фибробетона характерна высокая трещиностойкость и значительная сопротивляемость ударным нагрузкам [4-6].

В качестве фибр в составе фибробетона используются стальные элементы (отрезки проволоки или троса, нарезки из стального листа, элементы в виде стальных иголок, нитей и др.) [1,3-7], стеклянные волокна [2,4,8,9], базальтовые волокна [9-13], углеродные нити [9,13], полимерные элементы (полипропиленовые волокна, капроновые и целлюлозные нити) [9,13,14] и др.

Многообразие вида, форм, размеров и свойств фибр и других составляющих компонентов фибробетона определяют актуальность проведения научных исследований для оценки возможности его применения для выпуска различных строительных конструкций и элементов. В настоящее время известен ряд работ, результаты которых подтверждают перспективность применения различных модификаций фибробетона для изготовления следующих строительных конструкций и элементов: оконных и дверных перемычек жилых и гражданских зданий [6]; полов промышленных помещений [14]; балок прямоугольного поперечного сечения [7]; облицовочных слоев железобетонных плотин [11]; покрытий автомобильных дорог [4]; арочных конструкций мостов [9].

Имеют место также исследования, посвященные изучению вопросов применения фибробетона для ремонта бетонных и железобетонных конструкций гидромелиоративных сооружений [13], а также для выпуска забивных железобетонных свай [14-21].

Касаясь исследований свойств фибробетона применительно к сваям, следует отметить, что они относятся к призматическим и пирамидальным сваям, сваям с круглым сплошным поперечным сечением и полым круглым сваям. Ниже представлен краткий анализ результатов этих исследований.

Опыт экспериментального изготовления свай из сталефибробетона и их использования при возведении строительных объектов рассматривается в работах [14,16]. Специалистами применялись призматические и пирамидальные сваи, которые целиком были изготовлены из сталефибробетона, а также сваи, изготовленные только со сталефибробетонной головой и острием. Для приготовления фибробетона свай использовались отрезки стальной проволоки диаметром 1,5-2,0 мм и отрезки из отработанных канатов. Длина призматических свай составляла 8-14 м, а размеры их поперечных сечений – 35×35 см. Пирамидальные сваи изготавливались длиной 6 м с размерами сечения сверху 40×40 см и внизу 20×20 см. В проведенных испытаниях имело место бездефектное погружение свай до проектных отметок. Кроме того наблюдалось сокращение продолжительности забивки свай до 50%, что обеспечивало высокую производительность сваебойных работ. Внедрение свай из сталефибробетона позволило сократить расходы материальных средств до 30%.

Результаты испытаний фибробетона, проведенных с целью оценки возможности изготовления из него свай для сейсмоопасных регионов изложены в работе [17]. Образцы из фибробетона и обычного железобетона подвергались воздействию постоянной осевой нагрузки и нагрузок,

вызывающих их переменный циклический и знакопеременный изгиб. В качестве фибр использовались двухконусные и двухзавитые стальные волокна. При этом расход фибр для изготовления образцов составил 40-50 кг/м<sup>3</sup>. Установлено, что стальные волокна при принятых нагрузках могут заменить традиционное армирование в сваях. При изгибных нагрузках на сваи без приложения к ним осевой нагрузки выявлена необходимость дополнительного устройства в их головной части простого каркаса из арматурных стержней.

О лучшей сопротивляемости свай из сталефибробетона при действии горизонтальной и вертикальной осевой нагрузок указывается в работе [18]. Исследования выполнялись с использованием моделей свай в песках средней плотности. Процент объемного армирования бетона моделей фибрами составил 1,0%. На основе результатов исследований определено, что применение стальных фибр для армирования бетона свай, позволит исключить установку в них поперечной арматуры.

Из работы [19] следует, что использование стальных фибр для изготовления свай круглого сплошного сечения приводит к повышению их трещиностойкости при действии вертикальной нагрузки. Сравнительным испытаниям подвергались модели свай из сталефибробетона и обычного бетона без армирования, оснащенные тензометрическими датчиками для измерения деформации сжатия их ствола. Выявлено, что деформации свай существенно снижаются при армировании их бетона стальными фибрами. Однако этот эффект оказался более значителен для моделей свай с диаметром 4,5 и 7 см, чем для моделей диаметром 8 см.

Таким образом, изложенные результаты исследований свидетельствуют о том, что применительно к забивным сваям специалистами, в основном, подробно изучались свойства фибробетона, в котором, использовались стальные фибры разной формы, размеров и содержания. Что же касается исследований фибробетона из синтетических фибр [22], то можно отметить их некоторую ограниченность, которая не позволяет детально и однозначно сравнивать разные виды синтетических фибр по статической и ударной прочности фибробетона на разных стадиях его деформирования. Востребованность такой сравнительной оценки состоит в том, что это позволило бы дифференцированно назначать вид фибробетона по уровню напряженно-деформированного состояния свай при забивке. Последнее в свою очередь, обеспечило бы подбирать оптимальные ударостойкие составы фибробетона для изготовления таких забивных свай, как сваи с уширениями ствола и пирамидально-призматических свай, которые обладают повышенной несущей способностью [23-26].

Учитывая представленные доводы, авторами выполнены экспериментальные исследования, посвященные изучению статической сопротивляемости фибробетонных образцов, изготовленных с использованием стальных, полипропиленовой, стекловолоконной и базальтовой фибр. При этом внимание уделялось установлению их сравнительной эффективности и выявлению закономерностей изменения показателей их сопротивляемости статической нагрузке. Принятый перечень разновидностей фибр обусловлен их доступностью в Казахстане в текущий период.

**Условия и методы исследования.** Исследования проведены в геотехнической лаборатории Таразского регионального университета имени М.Х. Дулати с применением образцов с размерами 10×10×10 см,

соответствующих требованиям ГОСТ 10180-2012 [27] и изготовленных из фибробетона и обычного неармированного бетона.

Для изготовления опытных образцов в качестве заполнителей их бетона использовались мелкий гранитный песок, соответствующий требованиям ГОСТ 8736-2014 [28] и гранитный щебень фракций 5-20 мм, соответствующий требованиям ГОСТ 8267-93 [29]. Заполнители бетона характеризовались следующими показателями:

1) песок: модулем крупности – 2,2; насыпной плотностью – 1480 кг/м<sup>3</sup>; водопотребностью – 6%; наличием пылевидных и глинистых частиц – 0,3%.

2) щебень: насыпной плотностью – 1480 кг/м<sup>3</sup>; водопоглощением – 0,17%; содержанием зерен пластинчатой и игольчатой форм – 12%.

В качестве вяжущего бетона применялся портландцемент марки М400, соответствующий требованиям ГОСТ 30515-2013 [30-32], и производимый фирмой «JambylCement» (ТОО «Жамбылская Цементная Производственная Компания») со следующими характеристиками: прочностью на сжатие в возрасте 2 суток – 24,3 МПа; прочностью на растяжение при изгибе в возрасте 2 суток – 4,6 МПа; удельной поверхностью по Блейну – 34 м<sup>2</sup>/кг; сроком начального схватывания – 215 мин; нормальной густотой цементного теста – 25,2%.

В роли армирующих элементов бетона образцов приняты (рис. 1):

1) стальная анкерная фибра марки DRAMIX 3D с изогнутыми краями заводского исполнения (рис. 1 (а));

2) стальная фибра, нарезанная из проволок канатного троса диаметром 1,05 мм и длиной 2, 4 и 6 см (рис. 1 (б));

3) стальная стружковая фибра, полученная из отходов токарного производства с размерами: диаметром стружка 5 мм; длиной 6 см; толщиной стружки 1,1 мм; шириной стружковой полосы 2,5 мм (рис. 1 (в));

4) полипропиленовая фибра марки FIBERQAZAQSTAN, (рис. 1 (г));

5) стекловолоконная фибра (рис. 1 (д));

6) базальтовая фибра (рис. 1 (е)).

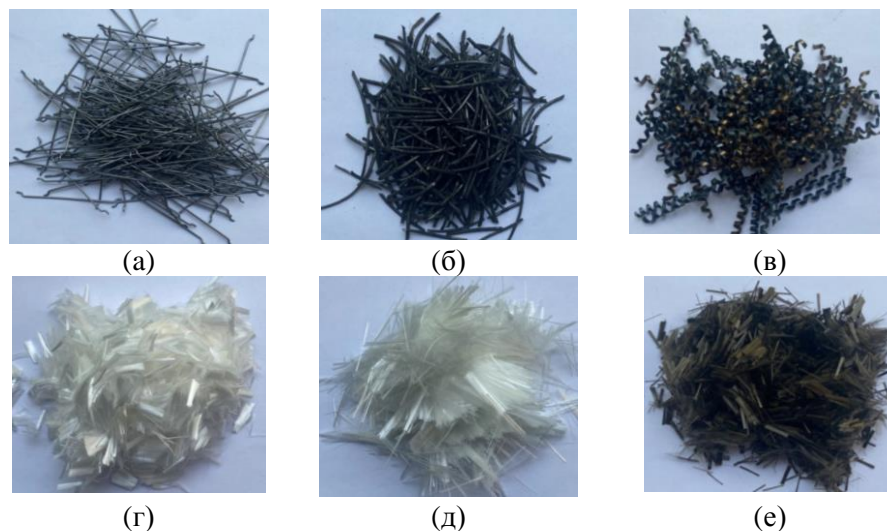


Рис. 1. Виды фибр: (а) стальная анкерная фибра марки DRAMIX 3D; (б) стальная фибра из канатного троса; (в) стальная стружковая фибра; (г) полипропиленовая фибра марки FIBERQAZAQSTAN; (д) стекловолоконная фибра; (е) базальтовая фибра

Основные физические и механические показатели фибр представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные физические и механические показатели свойств фибр

Показатель	Базальтовая фибра	Полипропиленовая фибра марки FIBERQAZA QSTAN	Стекловолоконная фибра	Стальная фибра марки DRAMIX 3D
Прочность на растяжение, МПа	3500	600	3500	1500
Диаметр волокна	17 мкм	25 мкм	15 мкм	1,05 мм
Длина волокна, мкм	10	10	30	60
Модуль упругости, ГПа	не менее 75	35	75	190
Коэффициент удлинения, %	3,2	150	4,5	4
Температура плавления, °С	1450	160	860	1550
Стойкость к щелочам	высокая	высокая	низкая	низкая
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,6	0,91	2,6	7,8
Производитель	ООО «Русский базальт», г. Челябинск, РФ	ТОО «Ехроchem», г. Алматы, РК	ТОО «Класс стекло», г. Талдыкорган, РК	Bekaert, г. Челябинск, РФ

Испытания опытных образцов выполнялись в два этапа, каждый из которых состоял из 5 серий опытов с 3-х кратной повторяемостью. Для каждой серии испытаний изготавливалась отдельная партия образцов. Общее количество испытанных образцов составило 102 шт.

Первая партия состояла из образцов, изготовленных с использованием разных видов фибр (стальных фибр марки DRAMIX 3D, полипропиленовых, стекловолоконных и базальтовых фибр). При этом класс бетона (B15) и процент армирования ( $\mu = 1\%$ ) для всех образцов принимались одинаковыми.

Вторая партия включала в себя образцы, изготовленные с применением стальных анкерных фибр марки DRAMIX 3D с их разным объемным содержанием ( $\mu = 0,5\%, 1\%, 2\%$ ), но при одинаковом классе бетона (B15).

Третья партия также состояла из образцов со стальными анкерными фибрами марки DRAMIX 3D, но изготовленных из бетона разного класса (B12,5, B20, B25) при постоянном проценте армирования ( $\mu = 1\%$ ).

Четвертая партия включала в себя образцы, изготовленные с использованием проволок длиной 2, 4 и 6 см, полученных из канатного троса. При этом класс бетона (B15) и процент армирования ( $\mu = 1\%$ ) для всех образцов принимались одинаковыми.

Пятая партия образцов состояла из образцов, изготовленных с применением разных видов стальных фибр (фибр марки DRAMIX 3D, проволок канатного троса и стружковых фибр). При этом длина фибр (6 см), класс бетона (B15) и процент армирования ( $\mu = 1\%$ ) для всех образцов принимались одинаковыми.

Фрагменты компонентов бетона, фибробетонной смеси, образцы в формах и готовые образцы представлены на рисунке 2. Расход фибр на 1 м<sup>3</sup> бетона при проценте армирования  $\mu$  равном 0,5, 1,0 и 2,0 представлен в таблице 2. Расход компонентов бетона представлен в таблице 3.

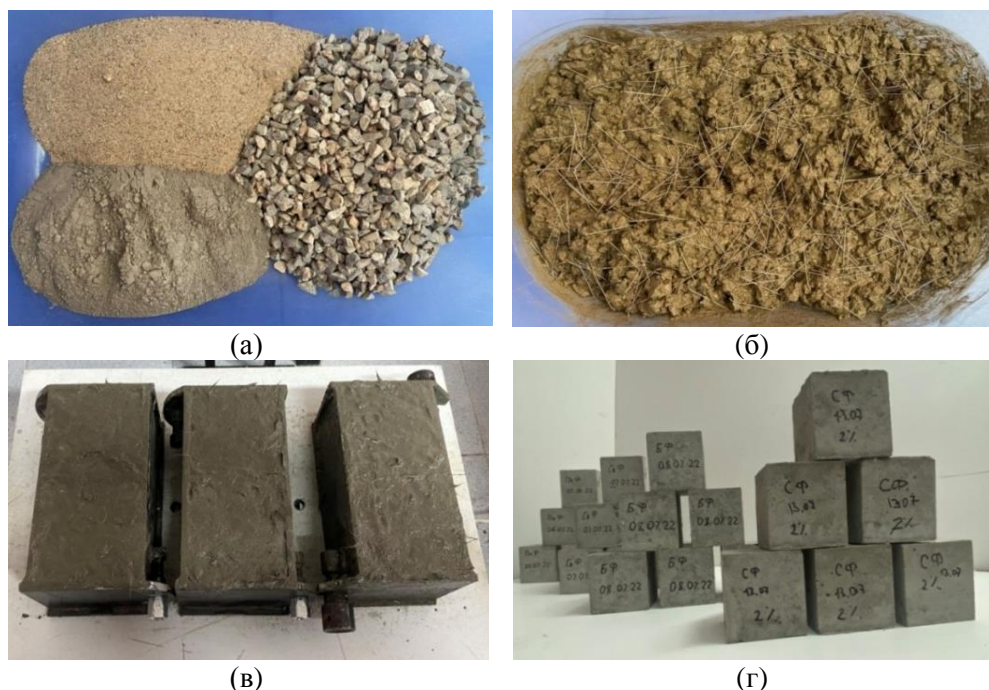


Рис. 2. Составляющие компоненты бетона (а), фибробетонная смесь (б), образцы в формах (в) и готовые образцы (г)

Таблица 2

Расход фибр на 1 м<sup>3</sup> бетона

Вид фибр	Количество, кг,		
	при проценте армирования $\mu$		
	0,5	1,0	2,0
Стальная анкерная фибра марки DRAMIX3D	3,9	7,8	15,6
Полипропиленовая фибра марки FIBER QAZAQSTAN	4,5	9,0	18,0
Стекловолоконная фибра	1,30	2,60	5,20
Базальтовая фибра	1,30	2,60	5,20
Стальная фибра из нарезной проволоки канатного троса, длиной 2 см	3,9	7,8	15,6
Стальная фибра из нарезной проволоки канатного троса, длиной 4 см	3,9	7,8	15,6
Стальная фибра из нарезной проволоки канатного троса, длиной 6 см	3,9	7,8	15,6г
Стальная фибра стружковая, длиной 6 см	3,9	7,8	15,6



Таблица 3

Расход компонентов бетона на 1 м<sup>3</sup>

Компоненты	Базовый состав				Номинальный состав			
	B12,5	B15	B20	B27,5	B12,5	B15	B20	B27,5
Цемент М400, кг	285	330	365	450	285	330	365	450
Песок, кг	970	945	938	880	970	945	938	880
Щебень, кг	975	950	960	850	975	950	960	850
Вода, л	170	170	174	190	170	170	174	190

Фибробетонные и бетонные образцы по истечении 28 суток сушки в естественных воздушно-сухих условиях подвергались испытанию с применением лабораторного оборудования.

Для проведения статических испытаний образцов на действие вертикальной сжимающей нагрузки использовался модернизированный гидравлический пресс П-125 российского производства (рис. 3).

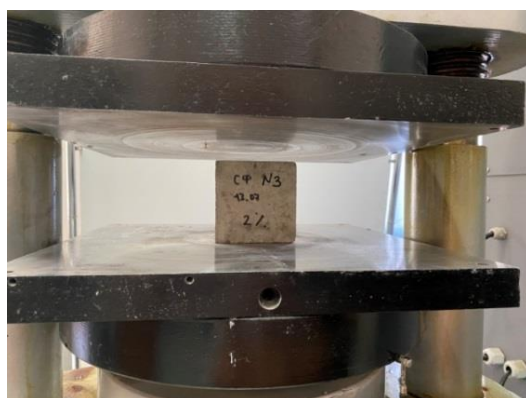


Рис 3. Фрагменты испытаний образцов фибробетона на действие статической нагрузки

Статические испытания образцов проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-2012 [23]. Для сравнительной количественной оценки результатов исследований приняты следующие показатели:

– для 1-5 серии испытаний: коэффициент относительной эффективности фибробетона по прочности, определяемый в виде  $K_R = R_f/R_b$  (где:  $R_f$  - прочность образца фибробетона, МПа;  $R_b$ - прочность бетонного образца (без фибр), МПа);

– для 1 серии испытаний: коэффициент относительной эффективности несталефибробетона по прочности, определяемый в виде  $K_{iR} = R_{nf}/R_{sf}$  (где:  $R_{nf}$  - прочность образца из несталефибробетона, МПа;  $R_{sf}$ - прочность образца из сталефибробетона, МПа);

**Результаты исследования и обсуждение научных результатов.** Результаты испытаний образцов на действие статической нагрузки представлены в таблицах 4-9. В таблицах приведены осредненные значения прочности образцов.

Таблица 4

## Результаты 1 серии статических испытаний

Вид бетона образцов	Прочность образца $R_f$ , МПа	Значения	
		коэффициента $K_R$	коэффициента $K_{iR}$
Фибробетон со стальными фибрами (СФБ)	29,43	1,20	1,0
Фибробетон с базальтовыми фибрами (БФБ)	28,17	1,15	0,96
Фибробетон со стекловолоконными фибрами (СвФБ)	26,21	1,07	0,89
Фибробетон с полипропиленовыми фибрами (ПпФБ)	24,99	1,02	0,85

Из таблицы 4 видно, что все виды фибробетона относительно неармированного бетона являются эффективными ( $K_R > 1,0$ ). Причем наиболее эффективным является фибробетон со стальными фибрами ( $K_R = 1,2$ ). Из бетонов с нестальными фибрами наибольшая эффективность характерна для бетона с базальтовыми фибрами ( $K_R = 1,15$ ), а минимальная – для бетона с полипропиленовыми фибрами ( $K_R = 1,02$ ).

Относительно сталефибробетона все виды нестального фибробетона по прочности на сжатие не эффективны ( $K_{iR} < 1,0$ ). При этом самый низкий показатель свойствен бетону с полипропиленовыми фибрами ( $K_{iR} = 0,85$ ). Коэффициенты  $K_R$  и  $K_{iR}$  могут быть использованы для ориентировочной оценки прочности несталефибробетона соответственно при известной прочности соответственно неармированного бетона и сталефибробетона.

Увеличение объемного содержания стальных фибр в бетоне оказывает положительное влияние на прочность бетона сжатия (табл. 5) ( $K_R > 1,0$ ). Наибольший эффект достигается при проценте армирования бетона  $\mu = 2\%$  ( $K_R = 1,46$ ). Так увеличение процента армирования  $\mu$  в 2 и 4 раза приводит к повышению прочности сталефибробетона  $R_{sf}$  соответственно на 11,3 и 37,5%. Динамика изменения прочности сталефибробетона  $R_{sf}$  с увеличением процента армирования  $\mu$  несколько отличается от результатов исследований, представленных в работе [22]. В указанной работе рост прочности сталефибробетона  $R_{sf}$  наблюдается в диапазоне изменения процента армирования  $\mu$  от 0,5 до 1,5%, а, в наших исследованиях – в диапазоне изменения процента армирования от 0,5 до 2,0%, что косвенно подтверждает результаты исследований, приведенные в работе [15].

Таблица 5

## Результаты 2 серии статических испытаний

Процент армирования образца стальной фиброй, $\mu$	Прочность образца $R_{sf}$ , МПа	Значения коэффициента $K_R$
0,5	25,97	1,06
1,0	28,91	1,18
2,0	35,70	1,46

Зависимость  $K_R = f(\mu)$  описывается прямолинейной функцией (рис. 4), которая позволяет получить следующую формулу для прогнозирования



прочности сталефибробетона в зависимости от прочности бетона и процента его армирования стальными фибрами:

$$R_{sf} = R_b(a\mu + b), \quad (1)$$

где: а, в- коэффициенты соответственно равные 0,277 и 0,89.

Величина достоверности аппроксимации данных по формуле (1) составляет  $R^2 = 0,998$ . При получении корреляционной зависимости  $K_R = f(\mu)$  учтены результаты испытаний сталефибробетона, представленные в первой строке таблицы 4.

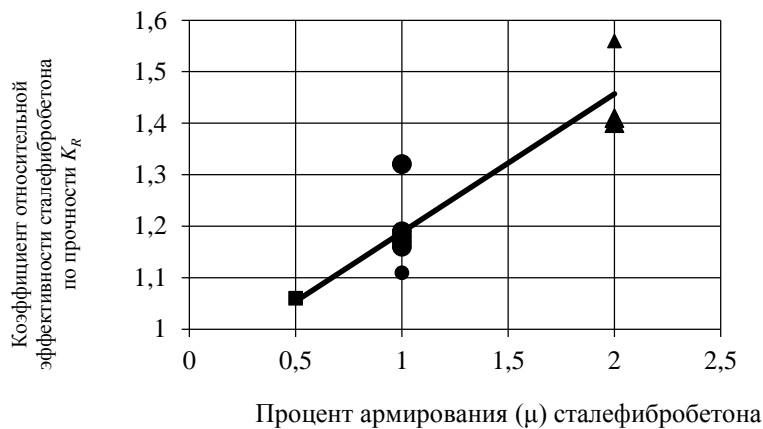


Рис. 4. Зависимость коэффициента  $K_R$  от процента армирования  $\mu$

Увеличение класса бетона сопровождается повышением прочности сталефибробетона (табл. 6). Значения коэффициента  $K_R$  превышают 1,0, и их динамика изменения свидетельствует об эффективности использования стальных фибр для армирования бетонов более высоких классов. Увеличение класса бетона от В12,5 до В15, В20 и В25 ведет к увеличению прочности сталефибробетона соответственно на 31,3, 42,4 и 80,5% (табл. 4-6), тогда так прочность неармированного бетона по мере повышения его класса возрастает соответственно на 27,9, 31,07 и 61,88% (табл. 7). Разница между этими данными для класса бетона В15, В20 и В25 оказалась равной соответственно 3,36, 11,33 и 18,62%. Причиной этому, вероятно, служит повышение сцепляемости стальных фибр с бетонной смесью по мере увеличения расхода цементного вяжущего бетона, которое имеет место при повышении класса бетона.

Таблица 6

Результаты 3 серии статических испытаний

Класс бетона сталефибробетона (на сжатие)	Прочность образца $R_{sf}$ , МПа	Значения коэффициент $K_R$
В12,5	22,21	1,16
В20	31,62	1,26
В25	39,99	1,29

Таблица 7

Результаты испытаний образцов из неармированного бетона

Класс бетона на сжатие	Прочность образца $R_b$ , МПа	Превышение прочности бетона классов В15-В25 над прочностью бетона класса В12,5
В12,5	19,15	1,0
В15	24,50	1,28
В20	25,10	1,31
В25	31,00	1,62

Зависимость коэффициента  $K_R$  от класса бетона сталефибробетона описывается логарифмической функцией (рис. 5), которая позволяет получить следующую формулу для прогнозирования прочности сталефибробетона в зависимости от класса его бетона:

$$R_{sf} = R_b(\ln(B) + m), \quad (2)$$

где:  $s, m$  - коэффициенты соответственно равные 0,19 и 0,683;  $B$  – класс бетона по прочности на сжатие (в цифрах).

Величина достоверности аппроксимации данных по формуле (2) составляет  $R^2 = 0,990$ .



Рис. 5. Зависимость коэффициента  $K_R$  от класса бетона по прочности на сжатие

Результаты испытаний, представленные в таблице 8, показывают, что длина стальных фибр из канатного троса оказывает незначительное влияние на прочность сталефибробетона. Значения коэффициента  $K_R$  ненамного превышают 1,0. Увеличение длины тросовых фибр  $l$  в 2 и 3 раза приводит к повышению прочности канатно-тросового сталефибробетона  $R_{tsf}$  соответственно на 1,9 и 4,9%.

Таблица 8

Результаты 4 серии статических испытаний

Длина канатно-тросовой фибры $l$ , мм /отношение длины фибры к диаметру $l/d$	Прочность образца $R_{tsf}$ , МПа	Значения коэффициента $K_R$
20/19,05	25,23	1,03
40/38,09	25,72	1,05
60/57,14	26,46	1,08

Зависимость  $K_R = f(l)$  описывается прямолинейной функцией (рис. 6), которая позволяет получить следующую формулу для прогнозирования прочности канатно-тросового сталефибробетона в зависимости от длины фибр:

$$R_{tsf} = R_b(pl + t), \quad (3)$$

где:  $p, t$  – коэффициенты соответственно равные  $0,012 \text{ см}^{-1}$  и  $1,003$ .

Величина достоверности аппроксимации данных по формуле (3) составляет  $R^2 = 0,986$ .

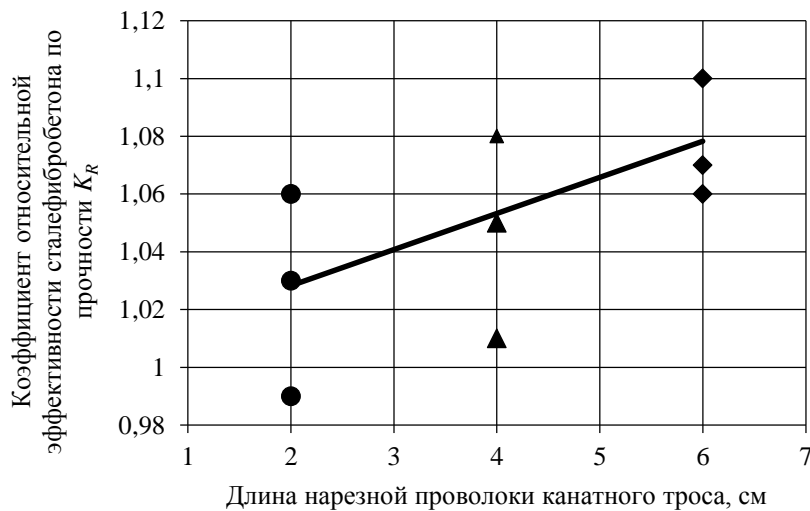


Рис. 6. Зависимость коэффициента  $K_R$  от длины канатно-тросовых фибр

На статическую сопротивляемость сталефибробетона положительное влияние оказывает также вид стальной фибры. Из таблицы 9 видно, что наибольший эффект по прочности на сжатие обеспечивается при использовании для армирования бетона стальных фибр марки DRAMIX 3D, а наименьший – при армировании канатно-тросовыми фибрами. Прочность фибробетона из фибр марки DRAMIX 3D  $R_{sf}$  превышает прочность фибробетона из стальных стружковых фибр  $R_{csf}$  на 0,8%, а прочность фибробетона из канатно-тросовых фибр  $R_{tsf}$  – на 11,2%.

Таблица 9

## Результаты 5 серии статических испытаний

Вид стальной фибры	Прочность образца, МПА	Значения коэффициент $K_R$
Фибры марки DRAMIX 3D	$R_{sf} = 29,43$	1,20
Стружковые фибры	$R_{csf} = 27,20$	1,11
Канатно-тросовые фибры	$R_{tsf} = 26,46$	1,08

**Заключение.** Представленные результаты исследований позволяют сделать следующие выводы:

1) Вид фибр оказывает положительное влияние на статическую сопротивляемость фибробетона сжатию. При этом наибольшая сопротивляемость характерна для фибробетона, армированного стальными фибрами марки DRAMIX 3D. Незначительно уступает ему фибробетон, армированный базальтовыми фибрами;

2) Статическая сопротивляемость фибробетона, армированного стальными фибрами марки DRAMIX 3D, повышается с увеличением объемного содержания фибр и класса бетона по прочности на сжатие. Наибольший эффект при этом достигается при проценте армирования  $\mu = 2\%$ , и для бетона класса В25 по прочности на сжатие;

3) Фибробетоны, армированные стружковыми и канатно-тросовыми стальными фибрами, по статической сопротивляемости уступают фибробетону со стальными фибрами марки DRAMIX 3D. Увеличение длины канатно-тросовых стальных фибр в 2-3 раза вызывает незначительное повышение прочности фибробетона;

4) Достаточная достоверность представленных корреляционных зависимостей, свидетельствует о возможности их использования для приближенного прогнозирования прочностных параметров фибробетонов при их сравнительной оценке.

В заключении можно отметить, что статическая прочность на сжатие фибробетонов, армированных стальными фибрами всегда выше, чем прочность неармированного бетона, что свидетельствует о целесообразности их использования для изготовления забивных свай.

**Список литературы**

1. Klyuyev S.V. Fiber-reinforced concrete and products on its basis. [?] 2015, 70-73.
2. Klyuev S.V., Klyuev A.V., Vatin N.I. Fiber concrete for the construction industry // Magazine of Civil Engineering, 2018. Vol. 84, No. 8. P. 41-47. <https://doi.org/10.18720/MCE.84.4>.
3. Pukharensko Y.V., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I. Influence of fiber type and matrix composition on adhesive strength in fiber reinforced concrete // The Russian Automobile and Highway Industry Journal, 2022. Vol. 19. P. 436-445. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-436-445>.
4. Levkovich T.I., Mevlidinov Z.A., Fedin N.A. Application of fibro concrete mixture at construction of bases and coatings automobile roads // Russian journal of transport engineering, 2019. Vol. 3, No. 6. <https://doi.org/10.15862/01SATS319>.
5. Nazhuyev M.P., Khalyushev A.K., Tkach P.S., Efimov I.I., Sanin I.S., Kurbanov N.S., Orlov M.G. Efficiency of using various types of fiber and coarse aggregate in vibrocentrifuged concrete // The Eurasian Scientific Journal, 2020. Vol. 2, No. 12. <https://esj.today/PDF/45SAVN220.pdf>.
6. Ivlev M.A., Strugovets I.B., Nedoseko I.V. Comparative assessment of the bearing capacity, crack resistance and deformability of lintels with standard and dispersed

- reinforcement // *Izvestiya KGASU [News of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering]*, 2012. Vol. 22, No. 4.
7. Travush V.I., Konin D.V., Krylov A.S., Kapriylov S.S., Chilin I.A. Experimental study of composite structures for bending elements, *Theory of engineering structures // Building construction*, 2017. Vol. 4, No. 72. P. 63-71.
  8. Klyuev A.V., Durachenko A.V. The fiber-reinforced concrete for pavement repair on the basis of glass fiber // *International journal of applied and fundamental research*, 2017. Vol. 1. P. 207-210.
  9. Nakhaev M.R. Manufacture of arches from fiber-reinforced concrete for a bridge // *Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical science*, 2021. Vol. 48, No. 3. P. 99-105. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2021-48-3-99-105>.
  10. Babaev V.B., Strokova V.V., Nelyubova V.V. Basalt fiber as a component for micro-reinforcement of cement composites // *Bulletin of Belgorod State Technological University named after. V. G. Shukhov*, 2012. Vol. 4.
  11. Ibe E.E., Shugurova A.V. Prospects for the use of fiber-reinforced concrete in the construction of hydraulic structures // *Internet journal "NAUKOVEDENIE" ["SCIENCE"]*, 2017. Vol. 9, No. 1. <http://naukovedenie.ru/PDF/61TVN117.pdf>.
  12. Nazhiev M.P., Samofalova M.S., El'shaeva D.M., Zherebtsov Yu.V., Dotsenko N.A., Kurbanov N.S., Efimov I.I. Influence of recipe factors on strengths characteristics of basalt fiber concrete // *Bulletin of Belgorod State Technological University named after. V. G. Shukhov*, 2021. Vol. 7. P. 24-32. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-6-7-24-32>.
  13. Talalaeva V.F. *Primeneniye fibrobetona dlya remonta konstruktsiy gidromeliorativnykh sooruzheniy [The fiber-reinforced concrete application for irrigation and drainage facility structures repair] // Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya [Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture]*, 2021. No. 3. P. 41-46, [in Russian].
  14. Morozov V.I., Pukharenko Yu.V. Efficiency of Fiber Reinforced Concrete Application in Structures Subjected to Dynamic Effects // *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*, 2014. Vol. 3. P. 189-196.
  15. Sokolova V.F., Kurbatov L.G., Borovskikh I.N., Rabinovich F.N., Sterin V.S. On the effectiveness of the use of steel-fiber-reinforced concrete in reinforced concrete pile structures // *Bases, foundations and soil mechanics*, 1985. Vol. 6. P. 4-7.
  16. Voilokov I.A. The use of fiber in the manufacture of piles // *Engineering and construction magazine*, 2009. Vol. 8. P. 6-8.
  17. Buyle-Bodin F., Madhkhan M. Seismic behaviour of steel fibre reinforced concrete piles // *Mat. Struct.*, 2002. Vol. 35. P. 402-407. <https://doi.org/10.1007/BF02483143>.
  18. Cihan Akdag, Gurkan Ozden, Nonlinear behavior of reinforced concrete (RC) and steel fiber added RC (WS-SFRC) model piles in medium dense sand // *Construction and Building Materials*, 2013. Vol. 48. P. 464-472. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.07.024>.
  19. Ouyang Fang, Zhang Jianjing, Deng Xiaoning, Han Jianwei, Bi Junwei, Du Lin. Analysis of Load Capacity Behaviors of Steel Fiber Reinforced Concrete Piles Through Model Tests // *Journal of Shanghai Jiao Tong University*, 2016. Vol. 50, No. 3. P. 364-369. <https://xuebao.sjtu.edu.cn/EN/Y2016/V50/I03/364>.
  20. Ramiz Ahmed Raju, Mitsuyoshi Akiyama, Sopokhem Lim, Tatsuya Kakegawa, Yuka Hosono A novel casting procedure for SFRC piles without shear reinforcement using the centrifugal forming technique to manipulate the fiber orientation and distribution // *Construction and Building Materials*, 2021. Vol. 303, No. 11. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124232>.
  21. Tulebekova S., Dichuan Zhang, Jong Kim, Deuckhang Lee, Hyunjin Ju Analytical Study of Using Fiber-Reinforced Concrete Pile Foundation for Renewable Energy Storage // *The 2018 Structures Congress (Structures18) SongdoConvensia, Incheon, Korea*, 2018, 27-31 p.

22. Parfenov A.V. Impact endurance of concretes based on steel and synthetic fibers: specialty 05.23.05 "Building materials and products": Dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Ufa, 2004. – 178 p.
23. Bekbasarov I., Nikitenko M., Shanshabayev N., Atenov Y., Moldamuratov Zh., Tapered-prismatic pile: driving energy consumption and bearing capacity // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, 2021. Vol. 6 (450) P. 53-63. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.119>.
24. Bekbasarov I., Shanshabayev N. Driving Features of Tapered-Prismatic Piles and Their Resistance to Static Loads // ActaMontanisticaSlovaca, 2022. Vol. 4. P. 55-65. <https://doi.org/10.46544/AMS.v27iX.X>.
25. Bekbasarov I., Atenov Y. Equations Used to Calculate Vertical Bearing Capacity of Driven Piles with Shaft Broadenings // PeriodicaPolytechnica Civil Engineering, 2020. Vol. 64(4). P. 1235-1243. <https://doi.org/10.3311/PPci.16482>.
26. Bekbasarov I., Shanshabayev N. Impact Dipping Pyramidal-Prismatic Piles and their Resistance to Pressure and Horizontal Load // PeriodicaPolytechnica Civil Engineering, 2021. Vol. 65(3). P. 909-917. <https://doi.org/10.3311/PPci.17923>.
27. GOST 10180-2012 Concrete. Methods for determining the strength of control samples. Interstate standard. – Moscow: Standartinform, 2018. – 36 p..
28. GOST 8736-2014 Sand for construction work. Specifications. Interstate standard. – Moscow: Standartinform, 2019. – 11 p.
29. GOST 8267-93 Crushed stone and gravel from dense rocks for construction work. Specifications. Interstate standard. – Moscow: Standartinform. – 2014. – 21 p..
30. GOST 30515-2013 Cements. General specifications. Interstate standard. – Moscow: Standartinform, 2019. – 42 p.
31. GOST 5686-2012 Soils. Methods of field tests with piles. Interstate standard. – Moscow: Standartinform, 2014. – 42 p.
32. SP RK 5.01-101-2013 Earthworks, foundations and foundations. Code of Rules of the Republic of Kazakhstan. – Astana: JSC KazNIISA, 2015. – 221 p.

*Статья подготовлена в рамках реализации проекта AP13268763 «Разработка забивных фибробетонных полипрочных пирамидально-призматических свай» (договор №142/ЖФ-1-22-24 от 21.06.2022 г.).*

*Материал поступил в редакцию 19.04.24.*

**Н.А. Шаншабаев<sup>1</sup>, И.И. Бекбасаров<sup>1</sup>, Е.И. Атепов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., Қазақстан*

#### **ҚАДАЛАРДЫ ӨНДІРУ ҮШІН ӘРТҮРЛІ ФИБРОБЕТОН ТҮРЛЕРІНІҢ БЕРІКТІК ҚАСИЕТТЕРІН СТАТИКАЛЫҚ ЖҮКТЕМЕЛЕРМЕН ЗЕРТТЕУ**

**Аңдатпа.** Жұмыста суырып алу жүктемесінің әсеріне пирамидалық-призмалық қадалар үлгілерін зертханалық сынау нәтижелері ұсынылған. Тәжірибелер сазды топырақта жүргізілді. Пирамидалық-призмалық қадалардың модельдері пирамида учаскесінің көлеміне байланысты призмалық және пирамидалық (бақылау) қадалармен салыстырғанда үлкен және аз қарсылыққа ие болуы мүмкін екендігі анықталды. Сонымен, пирамидалық-призмалық қадалардың тарту жүктемесіне кедергісі 20×20 мм көлденең қимасы бар призмалық қадалар моделінің кедергісінен 1,80 есе жоғары екендігі анықталды. көлденең қимасы 30×30 мм болатын призмалық қадалар моделімен және пирамидалық қадалар моделімен салыстырғанда (көлденең қимасы 30×30 мм жоғарғы жағында және төменгі жағында – 20×20 мм) пирамидалық призмалық қадалардың модельдері аз қарсылыққа ие (6-

45%). ППҚ пирамидалық бөлігінің жоғарғы бөлігінің мөлшерінің ұлғаюы олардың пирамидалық бөлігінің ұзындығын ұлғайтуға қарағанда олардың тартуға төзімділігін арттыруға айтарлықтай әсер етеді. Дәстүрлі (призмалық және пирамидалық) қадалардың кедергісіне қатысты тарту жүктемесіне пирамида-призмалық қадалардың кедергісін алдын-ала бағалау үшін қолдануға болатын корреляциялық тәуелділіктер орнатылды.

**Тірек сөздер:** модель, призмалық қадалар, пирамидалық қадалар, пирамидалық-призмалық қадалар, суырып алу жүктемесі.

**N.A. Shanshabayev<sup>1</sup>, I.I. Bekbasarov<sup>1</sup>, Y.I. Atenov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*M.Kh.Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan*

#### **RESEARCH OF THE STRENGTH PROPERTIES OF DIFFERENT TYPES OF FIBER CONCRETE UNDER STATIC LOADS FOR THE PRODUCTION OF DRIVEN PILES**

**Abstract.** This paper presents the results of laboratory tests of models of pyramidal-prismatic piles on the effect of vertical pulling load. The experiments were carried out in clay soil. It is established that models of pyramidal-prismatic piles, depending on the size of the pyramidal section, can have both greater and lesser resistance compared to prismatic and pyramidal (control) piles. Thus, it was found that the resistance of pyramidal-prismatic piles to the pulling load is 1.19-1.80 times higher than the resistance of a model of a prismatic pile with a cross-section size of 20×20 mm. Compared with the model of a prismatic pile with a cross-section size of 30 ×30 mm and with the model of a pyramidal pile (with a cross-section size of 30×30 mm at the top and 20×20 mm at the bottom), the models of pyramidal-prismatic piles have less resistance (by 6-45%). An increase in the size of the upper section of the pyramidal part of the PPP has a more significant effect on increasing their resistance to pulling out than an increase in the length of their pyramidal section. Correlations have been established that can be used for a preliminary assessment of the resistance of pyramidal-prismatic piles to the pulling load relative to the resistance of traditional (prismatic and pyramidal) piles.

**Keywords:** model, prismatic pile, pyramidal pile, pyramidal-prismatic pile, pulling load.