



СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС  
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО  
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

ҚҰРЫЛЫС  
СТРОИТЕЛЬСТВО  
CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212\_2024\_3\_240  
MPHTI 67.09.05

**Г.А. Байзакова<sup>1</sup>, О.В. Руденко<sup>1</sup>, Д.К. Аноп<sup>1</sup>, Е.П. Герасимов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,

г. Усть-Каменогорск, Казахстан

E-mail: GBaizakova@edu.ektu.kz\*

E-mail: ORudenko@edu.ektu.kz

E-mail: danop@edu.ektu.kz

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств  
им. А.Д. Крячкова, г. Новосибирск, Россия

E-mail: EPGerasimov@nsuada.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, В СОСТАВЕ КОТОРОГО ИСПОЛЬЗУЕТСЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОЕ СТЕКЛО

### ҚҰРАМЫНДА ҰСАҚ ДИСПЕРСТІ ШЫНЫ ҚОЛДАНЫЛАТЫН БЕТОННЫҢ БЕРІКТІГІН ЗЕРТТЕУ

### INVESTIGATION OF THE STRENGTH OF CONCRETE IN WHICH FINE GLASS IS USED

**Аннотация.** В настоящее время строительная практика характеризуется все большим применением высокотехнологичных бетонов нового поколения, к которым относятся плотные и высокопрочные бетоны. В условиях высокой стоимости природных сырьевых материалов особую ценность представляют научно-исследовательские работы, выявляющие новые возможности по использованию отходов в создании строительных материалов на их основе. Одновременно с этим решается задача утилизации промышленных и бытовых отходов. В данной статье рассматривается возможность замены в производстве бетона части цементной составляющей переработанным мелкодисперсным стеклом. Проведенные исследования дают возможность не только уменьшить количество используемого цемента, но и увеличить прочностные свойства бетона, а также частично решить вопросы экологического характера.

**Ключевые слова:** бБетон; стекло; отходы; мелкодисперсность; прочность; образцы; разрушение.

**Андатпа.** Қазіргі уақытта құрылыс практикасы тығыз және беріктігі жоғары бетондарды қамтитын жаңа буынның жоғары технологиялық бетондарын көбірек қолданумен сипатталады. Табиғи шикізат материалдарының жоғары құны жағдайында қалдықтарды олардың негізінде құрылыс материалдарын жасауда пайдаланудың жаңа мүмкіндіктерін анықтайтын ғылыми-зерттеу жұмыстары ерекше мәнге ие. Сонымен қатар, өнеркәсіптік және тұрмыстық қалдықтарды кәдеге жарату мәселесі шешілуде. Қайта өңделген шыны қалдықтарын бетон өндірісінде толтырғыш ретінде пайдалану туралы осы мақалада жүргізілген зерттеу цемент компонентінің бір бөлігін қайта өңделген ұсақ дисперсті шынының ауыстыру мүмкіндігін қарастырады. Жүргізілген зерттеулер пайдаланылатын цемент мөлшерін азайтуға ғана емес, сонымен қатар бетонның беріктік қасиеттерін арттыруға, сондай-ақ экологиялық мәселелерді ішінара шешуге мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** бетон; шыны; қалдықтар; ұсақ дисперсия; беріктік; үлгілер; сыну.

**Annotation.** Currently, construction practice is characterized by the increasing use of high-tech concretes of a new generation, which include dense and high-strength concretes. In conditions of high cost of natural raw materials, research works that identify new opportunities for the use of waste in the creation of building materials based on them are of particular value. At the same time, the task of recycling industrial and household waste is being solved. In this article on the use of recycled glass waste as a filler in the production of concrete, the conducted research considers the possibility of replacing part of the cement component with recycled fine glass. The conducted research makes it possible not only to reduce the amount of cement used, but also to increase the strength properties of concrete, as well as partially solve environmental issues.

**Keywords:** concrete; glass; waste; fine dispersion; strength; samples; destruction.

**Введение.** Ежегодно в Казахстане образуется около 4,5-5 млн. тонн твердых бытовых отходов, из них только 15 % перерабатывается. На сегодняшний день в нашей стране накоплено 31,6 млрд. тонн отходов производства и потребления, из них на долю ТБО приходится 100 млн. тонн, остальной объем – промышленные отходы, представляющие угрозу экологической безопасности страны. Количество стеклобоя для различных территорий составляет 6-17 % масс.

Утилизация боя стекла является актуальной научно-технической задачей, так как стекло является ценным вторичным ресурсом. Следует признать, что количество стекла, накопленного и продолжающего поступать в окружающую среду, сопоставимо с природными геологическими ресурсами, используемыми человечеством.

Следует отметить, что с экологической точки зрения стекло является трудно утилизируемым отходом. Это коррозионноустойчивый материал, который не разрушается под действием воды, мороза, сильных и слабых органических и минеральных кислот, солей, бактерий. Стекло сохраняется без разрушений сотни лет.

На данный момент стекло не перерабатывается в полном объеме в силу ряда причин: неоднородность химического состава сырья, наличие загрязняющих примесей, высокая стоимость выделения стекла из смеси ТБО, невозможность окислить или разложить стекло. Большую часть стеклобоя составляет бой тарного и листового стекла, относящийся по химическому составу к натрий-кальций-силикатным стеклам (ГОСТ EN 572-1-2016, 2017).

Быстро развивающиеся темпы строительства приводят к проблеме дефицита природного сырья для производства материалов строительного назначения. В связи с этим задачей строительной индустрии является переориентация предприятий на потребление техногенного сырья (Минько, Калатоци, 2018).

Актуальность работы заключается в возможности утилизации отходов стекла и применения стеклобоя для изготовления прочного бетона. Методика утилизации стеклобоя, позволяющая получить стройматериалы, в настоящее время вызывает особый интерес. Поэтому тематика разработки строительных материалов на основе отходов промышленности и быта в настоящее время становится все более актуальнее. Главной задачей является исследовать возможность замещения части цемента в составе тяжелого бетона мелкодисперсным стеклом (II Sun, So Yeong & Eun Ik, 2018).

**Литературный обзор.** В работе Хусейна Хамада (факультет гражданского строительства Малайзийского университета Паханг в Малайзии) представлен краткий обзор свежих, механических и прочностных свойств обычного и высокопрочного бетона, содержащего заполнители из отходов стекла (Hussein, Alyaa, Bassam, Fadzil & Blessen, 2022). Размер, тип, коэффициент замены стеклобоя, помимо способов замешивания и твердения бетона, существенно влияют на механические и прочностные характеристики. Бетон, содержащий порошкообразную стеклянную крошку, обладал превосходными прочностными характеристиками благодаря мелкопористой структуре пор и уплотненной

микроструктуре. Полученные данные показали, что отходы стекла потенциально могут быть использованы в качестве крупных и мелких заполнителей в производстве бетона.

Китайским автором Вейсон Инь было проведено исследование механических свойств высокопрочного бетона, включающего в себя отходы стекла в качестве вяжущего материала и мелкого заполнителя (Weisong, Xinping, Youzhi & Yifei, 2023). Порошок отработанного стекла и песок отработанного стекла были введены в бетон и использованы для частичной замены цемента и речного песка соответственно. Было исследовано индивидуальное влияние введенных компонентов на текучесть, реологию, тиксотропию, щелочно-кремнеземную реакцию, механические свойства и микроструктуру. Результаты показали, что удобоукладываемость, тиксотропность и механические свойства бетона с включением порошка отработанного стекла улучшились. После испытаний в присутствии стекла не наблюдалось очевидной опасности расширения. 20 % порошка отработанного стекла (20 % массы вяжущего) и 10 % песка отработанного стекла (по массе заполнителя) продемонстрировали лучший синергетический эффект на свойства высокопрочного бетона. При такой замене был получен наивысший результат комплексной оценки, что свидетельствует об оптимальном использовании отходов стекла.

Автор из Бангладеша Хондакер Сакил Ахмед проделал обширный обзор свойств бетона с переработанным стеклом (Khondaker, Lutfar, 2023). Применение переработанных отходов стекла в бетоне вызывает большой интерес в строительной отрасли, поскольку он обеспечивает более зеленую окружающую среду за счет сокращения выбросов углерода. Уже проведено большое количество исследований физико-механических свойств цементного раствора и бетона, содержащего стеклобой. В обзоре автора рассматриваются эффекты отходов стекла в бетоне в качестве замены песка, цемента или даже крупного заполнителя. По данным группы исследователей, включение в состав переработанного стекла до 20-30 % значительно повышает прочность бетона. Таким образом, это может быть отличным вариантом для замены природного заполнителя, несмотря на то, что добавление стекла в бетон может привести к расширению бетона за счет щелочно-кремнеземной реакции.

В работе Иванко М.В. «Применение отходов стекла в производстве строительных материалов» (Иванко, 2017) автором был проведен комплекс экспериментально-теоретических исследований по обоснованию возможности использования стеклобоя в качестве заполнителя для производства бетона, исследованы свойства получаемого бетона с использованием стеклобоя, уточнен механизм его влияния на свойства бетона. Согласно результатам испытаний, наблюдается небольшой набор прочности бетона (10 %) с 15 % содержанием стеклобоя в дробленном песке из гранита. При увеличении количества стеклобоя прочность снижается.

Согласно исследованиям, проведенным вышеназванным автором Хусейном Хамада (Hussein, Alyaa, Bassam, Fadzil & Blessen, 2022), полагается, что для получения бетона с более высокими характеристиками лучше использовать стеклобой в качестве мелкого заполнителя с количеством замещения, не превышающим 20 %. Джерри Ли с кафедры гражданского и строительного проектирования Гонконгского политехнического университета в соавторстве с другими исследователями (Gerry, Chi, Yuk & Tung, 2015) в своей работе изучали прочность на сжатие бетонных блоков с содержанием стеклянных отходов разных фракций. Они заметили, что прочность на сжатие бетона, содержащего стекла фракций менее 0,60 мм стекла, в течение 28 дней достигает сверхвысокой прочности. Это указывает на то, что более мелкие фракции стекла проявляют заметную пуццолановую реакционную способность. Отмечено, что при использовании в качестве заполнителя стеклобоя в бетонных блоках достигается снижение водопоглощения и

лучшается стойкость к истиранию за счет высокой твердости самого стекла.

Индийскими исследователями С. Аривалаганом и В.С. Сетураманом (Arivalagan, Sethuraman, 2021) был проведен эксперимент на изучение механических свойств бетона в случае ввода в бетонную смесь в качестве мелкого заполнителя стекольного порошка. Отходы стеклянной пыли использовались в качестве частичной замены песка в составе 10, 20 и 30 % бетонных смесей. Готовые образцы были исследованы на прочность на сжатие, растяжение и изгиб для 7, 14 и 28-дневного возраста бетона. Проводилось сравнение с образцами бетона, изготовленного с использованием природного мелкого заполнителя. По результатам этой экспериментальной работы было заметно, что увеличение прочности наблюдается при замене песка порошком стеклянных отходов.

В работе Алтыновой А.Е. «Исследование и разработка технологии получения бетона с использованием переработанных отходов стекла» (Алтынова, Айдарова, Саркенов 2015) рассмотрен эксперимент, в котором автор изучал прочность бетона с замещением в его составе цемента мелкодисперсным стеклом. Проведенное исследование позволяет утверждать, что подобная замена является приемлемым способом, как для уменьшения использования цемента, так и для улучшения прочностных свойств бетонной смеси. И по результатам исследования автора, наиболее приемлимым количеством замены цемента стеклом оказалось 15% стекла от общей массы бетонной смеси.

*Материалы и методы исследования.* Исследования проводились на базе Центра компетенций и трансферта технологий в области строительства Школы архитектуры, строительства и энергетики Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева.

Для проведения эксперимента было выбрано стекло, которое наиболее часто встречается в бытовых отходах - темное и светлое бутылочное стекло.

Для получения мелкой фракции стекла использовалось специальное оборудование. Изначально стекло было измельчено в дробилке (Рис. 1). Затем, для того чтобы получить более мелкие фракции, использовалась вибромельница (Рис. 2). После чего полученный материал с помощью сит диаметром 1,25 мм, 0,2 мм и 0,08 мм был разделен на нужные фракции.



**Рисунок 1.** Дробление стекла в дробилке

*Примечание – составлено автором*

Исследование проводилось с оптимальным процентом замены цемента добавкой полученной из стеклобоя. Согласно вышеуказанной работе Алтыновой, принимаем, что процент оптимальной мелкодисперсной стеклянной добавки в бетон составляет 15 %.



**Рисунок 2.** Подготовка мелкодисперсного стекла с помощью вибромельницы

*Примечание – составлено автором*

Оценка влияния стеклянной добавки на прочность бетона производилась по прочности на сжатие стандартных образцов-кубов с ребром 150 мм. Для этого использовались образцы-кубы с ребром 100 мм с последующим приведением результатов к значениям стандартных образцов.

Испытания проводились на четырех сериях образцов:

- 1 серия – образцы бетона базового состава (без добавления в бетон стеклобоя);
- 2 серия – образцы с добавлением в бетон базового состава стеклобоя фракции 1,25-2,5 мм в количестве 15 % от массы цемента;
- 3 серия – образцы с добавлением в бетон базового состава мелкодисперсного стекла фракции 0,2-1,25 мм количестве 15 % от массы цемента;
- 4 серия – образцы с добавлением в бетон базового состава мелкодисперсного стекла фракции 0,08-0,2 мм количестве 15 % от массы цемента.

Всего было изготовлено и испытано 19 образцов.

Размеры образцов, технология их изготовления и испытание, а также обработка результатов выполнялись согласно требованиям стандарта ГОСТ 10180.

Для изготовления бетона базового состава применялись: цемент, песок, щебень и вода, соответствующие требованиям стандартов ГОСТ 8736-2014, 8267-93.

Качественные характеристики исходных материалов приведены в табл. 1-3.

**Таблица 1.** Результаты испытаний пробы песка

Наименование показателей	Фактические величины показателей
Модуль крупности песка, Мк	Средний 2,498
Полные остатки, в %, на ситах (мм):	
2,5	16,9
1,25	22,5
0,63	35,9
0,315	79,8
0,16	94,9
< 0,16	100,0
Насыпная плотность в естественном состоянии, кг/м <sup>3</sup>	1600
Влажность, %	0
Содержание глины в комках, в % по массе	0
Содержание пылевидных и глинистых частей, %	0
<i>Примечание – составлено автором</i>	

**Таблица 2.** Результаты испытаний пробы щебня

Наименование показателей	Фактические величины показателей
Зерновой состав, полные остатки на ситах мм, в % по массе	
40	0,0
20	0,0
10	4,4
5	32,8
2,5	44,0
<2,5	100,0
Насыпная плотность в естественном состоянии, кг/м <sup>3</sup>	1640
Наибольшая крупность заполнителя, мм	10
Содержание пылевидных и глинистых частей, %	0
Влажность, %	0
<i>Примечание – составлено автором</i>	

**Таблица 3.** Характеристика портландцемента марки СЕМ 42,5

Наименование показателей	Фактические величины показателей
Прочность (активность), МПа	43,5
Насыпная плотность в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	1210
Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	3191
Нормальная густота цементного теста	29,7

*Примечание – составлено автором*

Подбор базового состава бетона проводился методом абсолютных объемов согласно ГОСТ 27006-86. Результаты расчета приведены в табл. 4.

**Таблица 4.** Состав бетонной смеси

Наименование материала	Расход материала	
	На 1 м <sup>3</sup>	На замес (6 л смеси )
Цемент, кг	368	2,208
Вода, кг	202	1,212
Песок, кг	401	2,406
Щебень, кг	1316	7,896
размером 5-10 мм	526,4	3,1584
размером 10-20 мм	789,6	4,7376
<i>Примечание – составлено автором</i>		

Расход цемента и стеклянной составляющей на один замес для каждой партии приведен в табл. 5 (*составлена автором*).

**Таблица 5.** Расход цемента и стеклянной составляющей

Расход материала, кг	Наименование материала			
	Цемент	Стеглянная составляющая		
		фракция 1,25-2,5 мм	фракция 0,2-1,25 мм	фракция 0,08-0,2 мм
Серия 1	2,208	-	-	-
Серия 2	1,877	0,331	-	-
Серия 3	1,877	-	0,331	-
Серия 4	1,877	-	-	0,331
<i>Примечание – составлено автором</i>				

По полученным составам были заформованы образцы-кубы. Процесс изготовления образцов, включая вибрирование, приведен на рис. 3.



**Рисунок 3.** Заливка готовой смеси в кубические формы и уплотнение смеси на вибрационном столе

*Примечание – составлено автором*

Через сутки после изготовления образцы были вынуты из форм и помещены в камеру нормального твердения для набора прочности, которая в автоматическом режиме поддерживает температуру воздуха  $18 \pm 2$  °С и влажность воздуха  $90 \pm 5$  %. Хранение образцов в камере нормального твердения приведено на рис. 4.



**Рисунок 4.** Готовые образцы в камере

*Примечание – составлено автором*

После достижения бетоном проектного возраста (28 дней) образцы были измерены и взвешаны. Измерение образцов проводилось штангенциркулем с точностью до 0,01 мм (Рис. 5). Далее образцы-кубы испытывались на прочность при сжатии на гидравлическом прессе с максимальной грузоподъемностью 50 тонн.





**Рисунок 5.** Обмер готовых образцов

*Примечание – составлено автором*

Для проведения испытания на сжатие кубики устанавливались одной из выбранных граней на нижнюю опорную плиту пресса центрально относительно его продольной оси. После установки образца совмещали верхнюю плиту пресса с верхней опорной гранью кубика так, чтобы их плоскости полностью прилегали друг к другу. Затем образец нагружали до разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки (0,6-0,2) МПа/с (Рис. 6).



**Рисунок 6.** Испытание образцов

*Примечание – составлено автором*

*Результаты и их обсуждения.* В процессе испытаний определялась максимальная разрушающая нагрузка на образец.

Прочность бетона  $R$  для каждого образца определялась согласно ГОСТ 10180 по формуле:

$$R = \alpha \frac{F}{A};$$

где:  $\alpha$  – коэффициент перехода от образцов с ребром 100 мм к стандартным образцам, принимается 0,95, согласно ГОСТ 10180;

$F$  – разрушающая нагрузка, полученная при испытании образцов;

$A$  – площадь рабочего сечения образца.

Результаты испытаний образцов представлены в таблицах 6-9. Также для определения однородности бетона образцов определялась плотность бетона.

**Таблица 6.** Результаты испытаний образцов без содержания стекла

№ образца	Разрушающая нагрузка, кН	Прочность бетона на сжатие R, МПа		Плотность образца, кг/м <sup>3</sup>
		кубов с ребром 100 мм	стандартных кубов	
1	377	37,34	35,47	2373
2	380	37,23	35,37	2328
3	385	38,29	36,38	2399
4	346	34,83	33,09	2429
5	355	35,69	33,91	2408

*Примечание – составлено автором*

**Таблица 7.** Результаты испытаний прочности на сжатие бетонных кубиков размером 10×10×10 см с 15 % содержания стекла фракции 1,25-2,5 мм

№ образца	Разрушающая нагрузка, кН	Прочность бетона на сжатие R, МПа		Плотность образца, кг/м <sup>3</sup>
		кубов с ребром 100 мм	стандартных кубов	
1	425	42,79	40,65	2408
2	412	41,34	39,27	2414
3	460	45,45	43,18	2399
4	423	41,88	39,79	2399
5	359	33,83	32,14	2389

*Примечание – составлено автором*

**Таблица 8.** Результаты испытаний прочности на сжатие бетонных кубиков размером 10×10×10 см с 15 % содержания стекла фракции 0,2 мм-1,25 мм

№ образца	Разрушающая нагрузка, кН	Прочность бетона на сжатие R, МПа		Плотность образца, кг/м <sup>3</sup>
		кубов с ребром 100 мм	стандартных кубов	
1	420	41,94	39,84	2431
2	410	41,12	39,06	2405
3	344	34,00	32,30	2424
4	420	42,10	40,00	2439

*Примечание – составлено автором*

**Таблица 9.** Результаты испытаний прочности на сжатие бетонных кубиков размером 10×10×10 см с 15% содержания стекла фракции 0,08 мм-0,2 мм

№ образца	Разрушающая нагрузка, кН	Прочность бетона на сжатие R, МПа		Плотность образца, кг/м <sup>3</sup>
		кубов с ребром 100 мм	стандартных кубов	
1	388	38,36	36,44	2370
2	415	40,40	38,38	2387
3	360	35,43	33,66	2389
4	387	38,75	36,81	2404
5	374	37,55	35,67	2392

*Примечание – составлено автором*

По полученным единичным значениям прочности определялась фактическая

прочность бетона с учетом требований стандарта ГОСТ 28570-2019. Фактическая прочность бетона приведена в табл. 10.

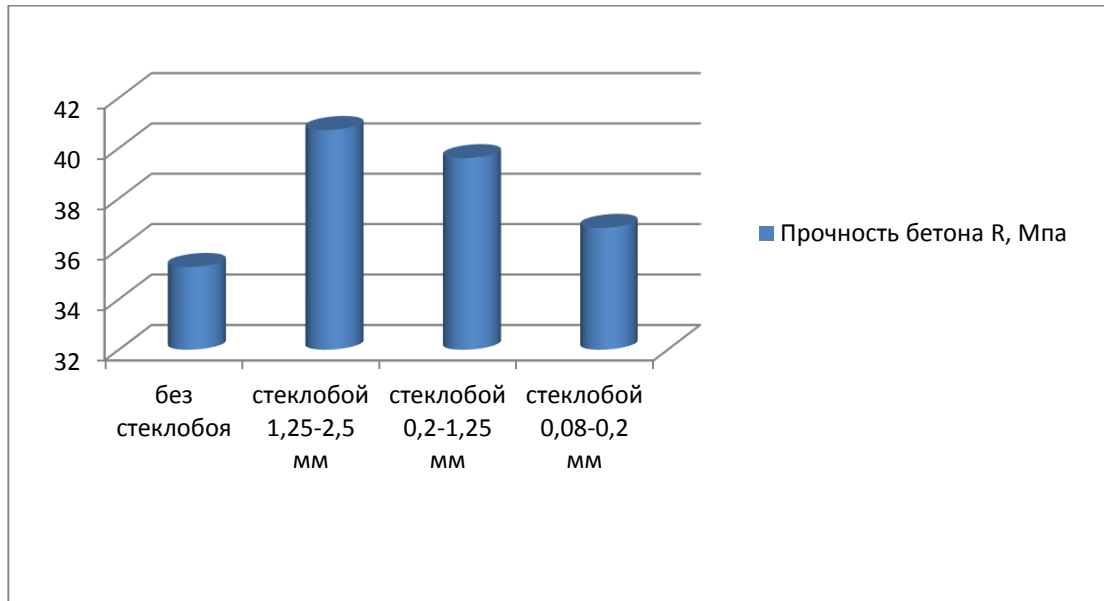
**Таблица 10.** Фактическая прочность бетона

Серия образцов	Единичное значение прочности бетона, МПа	Среднее значение
Бетон базового состава (без добавления в бетон стеклобоя)	35,47	35,28
	35,37	
	36,38	
	33,09	
	33,91	
Бетон с добавлением стеклобоя фракции 1,25-2,5 мм	40,65	40,72
	39,27	
	43,18	
	39,79	
	32,14	
Бетон с добавлением стеклобоя фракции 0,2-1,25 мм	39,84	39,6
	39,06	
	32,30	
	40,00	

Окончание таблицы 10

Серия образцов	Единичное значение прочности бетона, МПа	Среднее значение
Бетон с добавлением стеклобоя фракции 0,08-0,2 мм	36,44	36,83
	38,38	
	33,66	
	36,81	
	35,67	
<i>Примечание – составлено автором</i>		

По полученным результатам построена диаграмма зависимости прочности бетона от размера вводимого стекла (Рис. 7).



**Рисунок 7.** Прочность бетона с содержанием стекла разных фракций

*Примечание – составлено автором*

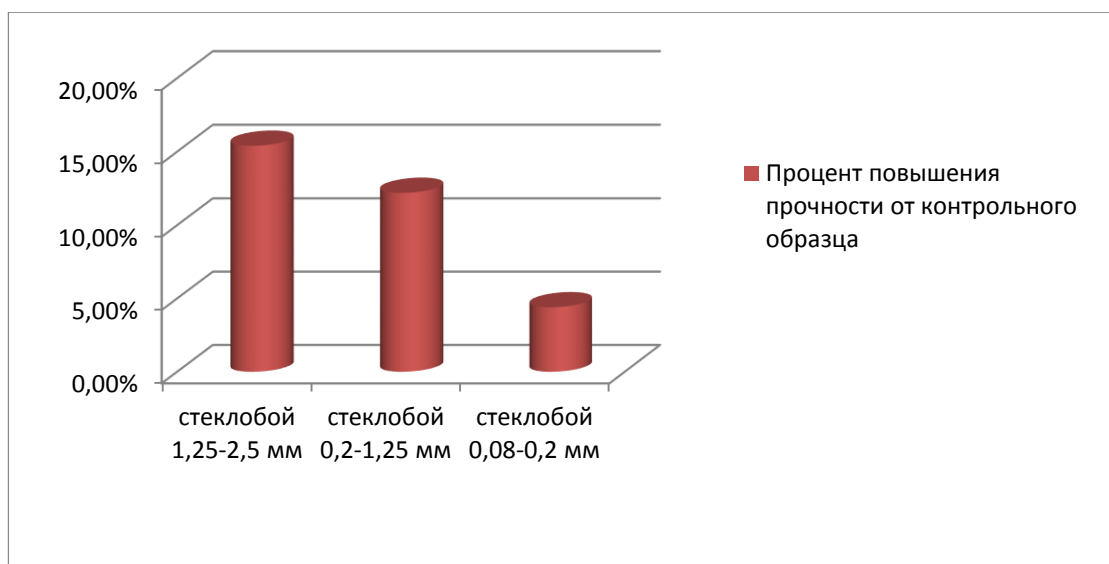
Результаты показывают, что замена цемента мелкодисперсным стеклом в количестве 15 % повышает прочность бетона, в зависимости от размера фракций. В процентном отношении результаты повышения прочности показаны в табл. 11.

**Таблица 11.** Повышение значения прочности в зависимости от размера фракций

Серия образцов	Процентное повышение от контрольного образца
Бетон с добавлением стеклобоя: фракции 1,25-2,5 мм	15,4 %
фракции 0,2-1,25 мм	12,2 %
фракции 0,08-0,2 мм	4,4 %

*Примечание – составлено автором*

На рисунке 8 графически показан процент повышения прочности бетона, содержащего стекло разных фракций.



**Рисунок 8.** Повышение прочности бетона в зависимости от фракций

*Примечание – составлено автором*

*Заключение.* Таким образом, анализ состояния вопроса и проведенный эксперимент позволили сделать следующие выводы:

- замена части цемента мелкодисперсным стеклом позволяет не только экономить материал, но и улучшить прочностные свойства бетонной смеси;
- наибольшее повышение прочности – 15,4 % показали образцы при использовании стеклобоя размером 1,25 мм;
- использование при приготовлении бетонов стекла мелких фракций при замене цемента в количестве 15 % повышает прочность бетона (до 15,4 %) в зависимости от размера фракций стеклобоя.

Однако не надо забывать, что увеличение натрий-кальций-силикатной составляющей в составе бетона может изменить другие свойства. Большое влияние это оказывает на усадку бетона, поэтому требуется дополнительное изучение.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Благодарности.* Данное исследование выполнялось на базе Центра компетенций и трансфера технологий в области строительства НАО «ВКТУ им. Д.Серикбаева».

#### Список литературы

- Il Sun Kim, So Yeong Choi, Eun Ik Yang (2018). Evaluation of durability of concrete substituted heavyweight waste glass as fine aggregate. *Construction and Building Materials*. – Volume 184, Pages 269-277.
- Gerry Lee, Chi Sun Poon, Yuk Lung Wong, Tung Chai Ling (2015). Effects of recycled fine glass aggregates on the properties of dry-mixed concrete blocks. *Construction and Building Materials*. – Volume 38, Pages 638-643.
- Hussein Hama, Alyaa Alattar, Bassam Tayeh, Fadzil Yahaya, Blessen Thomas (2022). Effect of recycled waste glass on the properties of high-performance concrete: A critical review. *Case Studies in Construction Materials*. – Volume 17.
- Khondaker Sakil Ahmed, Lutfar Rahman Rana (2023). Fresh and hardened properties of concrete containing recycled waste glass: A review. *Journal of Building Engineering*. – Volume 70.
- S. Arivalagan, V.S Sethuraman (2021). Experimental study on the mechanical properties of concrete by partial replacement of glass powder as fine aggregate: An environmental friendly approach.

- Materialstoday: Proceedings. – Volume 45, Part 7. – Pp. 6035-6041.
- Weisong Yin, Xinping Li, Youzhi Chen, Yifei Wang, Mingnan Xu, Chenhao Pei (2023). Mechanical and rheological properties of High-Performance concrete incorporating waste glass as cementitious material and fine aggregate. *Construction and Building Materials*. – Volume 387.
- Алтынова А.Е., Айдарова Н.А., Саркенов Б.Б. (2015). Исследование и разработка технологии получения бетона с использованием переработанных отходов стекла // *Современные научные исследования и инновации*. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2015/04/51745>. – № 4. Ч. 2 // Altynova A.E., Ajdarova N.A., Sarkenov B.B. (2015). Issledovanie i razrabotka tekhnologii polucheniya betona s ispol'zovaniem pererabotannyh othodov stekla // *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii*. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2015/04/51745>. – № 4. Ч. 2.
- В Казахстане накоплено более 30 миллиардов тонн отходов производства. *Forbes.kz*. (2021). –URL: [https://forbes.kz/process/ecobusiness/v\\_kazahstane\\_nakopleno\\_bolee\\_30\\_milliardov\\_tonn\\_othodov\\_proizvodstva/](https://forbes.kz/process/ecobusiness/v_kazahstane_nakopleno_bolee_30_milliardov_tonn_othodov_proizvodstva/) // V Kazahstane nakopleno bolee 30 milliardov tonn othodov proizvodstva. *Forbes.kz*. (2021). – URL:[https://forbes.kz/process/ecobusiness/v\\_kazahstane\\_nakopleno\\_bolee\\_30\\_milliardov\\_tonn\\_othodov\\_proizvodstva/](https://forbes.kz/process/ecobusiness/v_kazahstane_nakopleno_bolee_30_milliardov_tonn_othodov_proizvodstva/).
- ГОСТ EN 572-1-2016. Стекло натрий-кальций-силикатное. Основные характеристики. – Москва, Стандартинформ (2017) // GOST EN 572-1-2016. Steklo natrij-ka'cij-silikatnoe. Osnovnyye harakteristiki. – Moskva, Standartinform, (2017).
- ГОСТ 28570-2019 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – Москва, Стандартинформ, (2019) // GOST 28570-2019 Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'ny'm obrazcam. – Moskva, Standartinform, (2019).
- ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Москва, Стандартинформ, (2019) // GOST 8736-2014 Pesok dlya stroitel'nyh rabot. Moskva, Standartinform, (2019).
- ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. – Москва, Стандартинформ, (2018) // GOST 8267-93 SHChHeben' i gravij iz plotnyh gornyh porod dlya stroitel'nyh rabot. – Moskva, Standartinform, (2018).
- ГОСТ 27006-2019 Бетоны. Правила подбора состава. – Москва, Стандартинформ, (2019) // GOST 27006-2019 Betony. Pravila podbora sostava. – Moskva, Standartinform, (2019).
- Иванко М.В. (2017). Применение отходов стекла в производстве строительных материалов / М.В. Иванко, В.Н. Шишканова // *Фундаментальные и прикладные научные исследования: Материалы международной научно-практической конф. Отв. ред. Зарайский А.А.* – Москва: Издательство ЦПМ «Академия Бизнеса». – 214 с. // Ivanko M.V. (2017). Primenenie othodov stekla v proizvodstve stroitel'nyh materialov / M.V. Ivanko, V.N. SHishkanova // *Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konf. Otв. red. Zарajskij A.A.* – Moskva: Izdatel'stvo СРМ «Akademiya Biznesa», 214 s.
- Минько Н.И., Калатоzi В.В. (2018). Использование стеклобоя в технологии материалов строительного назначения // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*, № 1 // Min'ko N.I., Kalatozi V.V. (2018). Ispol'zovanie stekloboya v tekhnologii materialov stroitel'nogo naznacheniya // *Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova*, №1.

#### Information about authors

**Baizakova Gulmira Abylgazinovna** – East Kazakhstan Technical university named after D. Serikbayev, the city of Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, [GBaizakova@edu.ektu.kz](mailto:GBaizakova@edu.ektu.kz)

**Rudenko Olga Vladimirovna** – С.т.с., East Kazakhstan Technical university named after D. Serikbayev, the city of Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, [ORudenko@edu.ektu.kz](mailto:ORudenko@edu.ektu.kz)

**Anop Darya Kamilyevna** – с.т.с., East Kazakhstan Technical university named after D. Serikbayev, the city of Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, [danop@edu.ektu.kz](mailto:danop@edu.ektu.kz)

**Gerasimov Evgeny Petrovich** – Candidate of Technical Sciences, Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts named after A.D. Kryachkov, Novosibirsk, Russia. [EPGerasimov@nsuada.ru](mailto:EPGerasimov@nsuada.ru)

---

---