

МРНТИ 67.15.39

Р.У. Нурымбетова<sup>1</sup> – основной автор, ©  
Р.А. Риставлетов<sup>2</sup>, Н.А. Сузев<sup>3</sup>, Э.Н. Калшабекова<sup>4</sup>,  
М.А. Камбаров<sup>5</sup>, Р.Б. Кудабаяев<sup>6</sup>, А.К. Орынбасаров<sup>7</sup>



<sup>1</sup>Докторант, <sup>2,4</sup>Канд техн. наук, доцент,  
<sup>3,5,7</sup>Канд. техн. наук, профессор, <sup>6</sup>PhD, ст. преподаватель

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-5644-6410> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-7106-6611>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-7622-9034> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0001-9941-688X>  
<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0001-6397-1451> <sup>6</sup><https://orcid.org/0000-0003-3482-8423>  
<sup>7</sup><https://orcid.org/0009-0007-9953-0755>



<sup>1,2,3,4,5,6,7</sup>Южно-Казахстанский Университет им. М. Ауэзова,



Шымкент, Казахстан



<sup>6</sup>[kudabaev\\_81@mail.ru](mailto:kudabaev_81@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/ZLLS1468>

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИИ НА ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

**Аннотация.** В данной статье приведены результаты математического моделирования влияния состава тяжелого бетона на природных заполнителях и техногенных отходах. На основании полученных зависимостей определено, что наиболее сильное влияние на изменение средней плотности оказывает расход цемента ( $X_1$ ). Ввиду достаточной значительной разности плотностей цементного камня и заполнителей на основе техногенных отходов, данный эффект является вполне очевидным. Выявлен отрицательный линейный эффект водоцементного отношения ( $X_2$ ) на плотность композита, которая объясняется повышением пористости цементного камня при повышении его водосодержания, что в последующем приводит к снижению плотности материала. Установлен положительный эффект изменения прочности тяжелого бетона при повышении содержания цемента ( $x_1 = + 0,99$ ) и водоцементного отношения ( $x_2 = + 1,9$ ). Как и большинство бетонов гидратационного твердения, увеличение содержания, вяжущего благоприятно влияет на формирование прочностных характеристик материала. Определено, что изменения поверхностей отклика ( $Y_p$  и  $Y_R$ ) имеют практически одинаковое направление, а также идентичные причинно-следственные связи с входными факторами ( $X_1$  и  $X_2$ ). Во всех смесях 50% соотношение факторов дал хороший результат.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, тяжелый бетон, техногенные отходы, физико-механические свойства.



Нурымбетова, Р.У. Математическое моделирование влияния заполнителей на основе отходов горнодобывающих предприятий на физико-механические свойства тяжелого бетона [Текст] / Р.У. Нурымбетова, Р.А. Риставлетов, Н.А. Сузев, Э.Н. Калшабекова, М.А. Камбаров, Р.Б. Кудабаяев, А.К. Орынбасаров // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №2(92). – С.358-376.  
<https://doi.org/10.55956/ZLLS1468>

**Введение.** В Казахстане в связи с ростом добычи и переработки минерального сырья образовались огромные объемы промышленных отходов. На предприятиях горнопромышленного производства в отвалах и хвостохранилищах находится более 20 миллиардов тонн техногенных минеральных образований и ежегодно образуется еще около 700 миллионов тонн, а переработка их не достигает даже 10% [1,2] в связи с чем возникает острое необходимость утилизации данных отходов.

Только на юге Казахстана имеются огромные запасы отходов, потенциально пригодных для производства строительных материалов, из них 182 млн. тонн хвостохранилища Ачисайского полиметаллического завода [2].

Обзор научной литературы в данной области показывает, что имеется значительная мировая практика проведения исследований по использованию техногенного минерального сырья в производстве строительных материалов. Так, в дальнем зарубежье горнопромышленные отходы находят применение для получения кирпича [3], бетона [4], стеклокерамики [5], для производства фосфорсодержащего шлакового вяжущего [6,7], а доменные гранулированные шлаки можно применять в качестве инициаторов спекания и кристаллизации на основе композиции в керамических массах для производства керамической брусчатки [8,9] и т.д.

Вопросам теоретического обоснования комплексного использования техногенных отходов в производстве строительных материалов посвящены труды многих зарубежных и отечественных ученых [10-12].

Анализ показывают, что в отходах обогащения полиметаллических руд содержание карбонатов составляет 50-70%, что дает возможность их использования в качестве карбонатсодержащей добавки к цементу и установлено, что присутствие сульфата бария, вводимого с отходами обогащения полиметаллических руд, может повысить защитные свойства композиционного цемента от гамма и рентгеновского излучения [13]. В работе [14] приведены исследования по применению хвостовых отходов обогащения полиметаллических руд АО «Ачполиметалл», в производстве облицовочных плит.

Авторы [15,16] предлагают использовать баритовые отходы в качестве наполнителя и заполнителя для тяжелых бетонов, с частичной или полной заменой кварцевого песка в составе бетонной смеси. При этом наблюдается прирост величины коэффициента линейного поглощения  $\gamma$ -лучей до 19%, однако частичная замена кварцевого песка в объеме 40% на баритовый позволяет добиться защиты как от  $\gamma$ -лучей, так и от нейтронного излучения. Установлено, что при грамотной оптимизации состава бетона на баритовом песке, можно получить превосходящие механические показатели чем на кварцевом песке [17,18].

Известно, что, применение таких заполнителей влияет на прочностные, деформационные и долговечностные характеристики бетона и их влияние комплексное и часто нелинейное (зависит от granulometрии, плотности, пористости, химического состава, влажности и т.д.) и при этом экспериментальная оптимизация состава - затратный и длительный процесс. Математическое моделирование позволяет снизить число экспериментальных серий, предсказывать свойства при различной комбинации факторов и ускорить внедрение новых материалов.

Поэтому создание математической модели, учитывающей специфические свойства заполнителей, долю в бетонной смеси и их влияние

на физико-механические свойства тяжёлого бетона представляется актуальным в получении зависимости физико-механических свойств от состава и содержания сырьевых материалов.

Целью данного исследования является разработка работоспособной математической модели для прогноза ключевых физико-механических характеристик тяжёлого бетона при использовании заполнителей из горно-добывающих отходов и дать рекомендации по оптимизации состава.

**Условия и методы исследований.** В качестве сырьевых материалов в данных исследованиях использовались портландцемент марки Цем II/A-III 32,5 Н, ТОО «Стандартцемент», щебень и песок ТОО «Бадам», и техногенные отходы южного Казахстана, отсева Ачисайского полиметаллического завода (Achots) и хвосты обогащения Ансайского месторождения г. Кентау (Anskhv) с целью использования их в качестве заполнителей (щебня, песка) и минеральных добавок для бетонов различного назначения.

Рентгенодифрактометрические анализы (рис. 1, 2) проведены на приборе D&ENDEAVOR фирмы Bruker (Германия) с  $\text{Cu}$ -излучением,  $\beta$  фильтре. Условия съемки дифрактограммы  $U=35$  кВ;  $I=20$  мА; съемки Q-2Q; детектор 2 град/мин. Интерпретация дифрактограмм проводилась с использованием данных картотеки JСDD: база порошковых дифрактометрических данных PDF2 и дифрактограмм чистых от примесей минералов. Химический состав отходов определялся методом растровой электронной микроскопии, выполненные на растровом электронном микроскопе (РЭМ) JEOL-6490 LV. Анализы проведены в Лаборатории «КиБМ» Южно-Казахстанского Университета им. М. Ауезова в г Шымкенте.

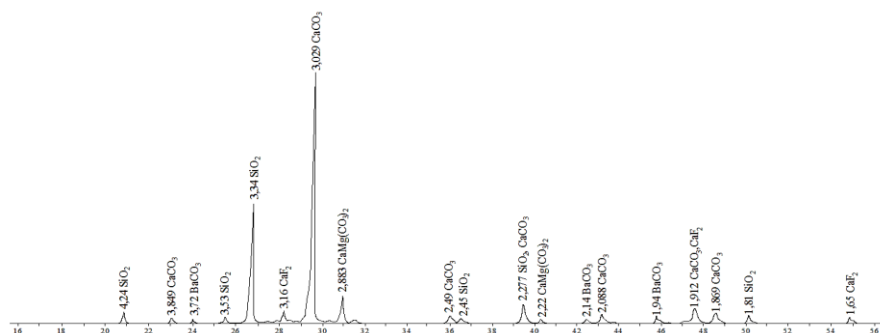


Рис. 1. Рентгенодифрактометрический анализ хвостов обогащения Ансайского месторождения (Anskhv)

Как видно из рисунка 1 хвосты представлены минералами:  $\text{CaCO}_3$  (карбонат кальция)  $d=(3.849-3.029-2.49-2.277-2.088-1.912-1.626 \text{ \AA})^0$ ,  $\text{SiO}_2$  (кварцит)  $d=(4.24-3.53-3.34-2.45-2.28-1.81-1.54 \text{ \AA})^0$ ,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  (доломит)  $d=(2.883-2.22-1.54 \text{ \AA})^0$ ,  $\text{BaCO}_3$  (витерит)  $d=(3.72-2.14-1.94-1.52 \text{ \AA})^0$ ,  $\text{CaF}_2$  (флюорит)  $d=3.16-1.912-1.65 \text{ \AA}$ ,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  (доломит)  $d=2.883-2.22-1.54 \text{ \AA}^4$

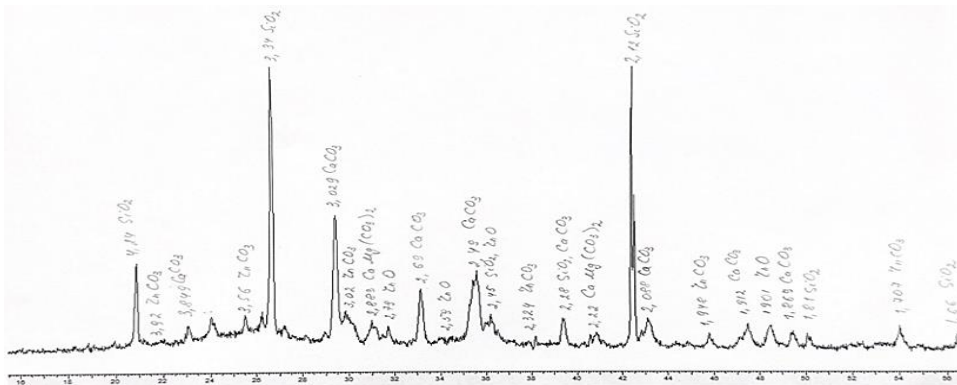


Рис. 2. Рентгенодифрактометрический анализ хвостов обогащения Ачисайского хвостохранилища

Рентгенодифрактометрический анализ отсеков Ачисайского хвостохранилища идентифицировал наличие  $\text{CaCO}_3$  (карбонат кальция)  $d=(3,849-3,029-2,49-2,277-2,088-1,912-1,869-1,626\text{Å}^0)$ ,  $\text{SiO}_2$  (кварцит)  $d=(4,24-3,34-2,45-2,28-1,81-1,66-1,54\text{Å}^0)$ ,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  (доломит)  $d=(2,883-2,22-1,54\text{Å}^0)$ ,  $\text{ZnCO}_3$  (смитсонит)  $d=(3,92-3,56-3,02-2,79-2,324-1,948-1,727-1,495\text{Å}^0)$ ,  $\text{ZnO}$  (цинкит)  $d=2,79-2,594-2,45-1,901-1,49\text{Å}^0$ .

Физико-механические свойства щебня и песка на основе техногенных отходов исследовались в соответствии требованиями ГОСТ 8735-88 СТ РК 1217-2003.

Таблица 1

Основные характеристики песка из отсеков Ачисайского месторождения

Полные остатки (%) на ситах, мм						Модуль крупности	Межзерновая пустотность, %	Истинная плотность, $\text{кг/м}^3$	Насыпная плотность, $\text{кг/м}^3$
5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16				
3,6	67,4	80	87,4	90	92,4	4,43	47,5	2500	1312

Таблица 2

Основные характеристики песка из отсеков Ансайского месторождения

Полные остатки (%) на ситах, мм						Модуль крупности	Межзерновая пустотность, %	Истинная плотность, $\text{кг/м}^3$	Насыпная Плотность, $\text{кг/м}^3$
5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16				
2,0	31,4	46,2	68,4	80,4	89,2	3,7	58	3300	1388

Для выполнения поставленной задачи были определены качественные характеристики техногенного сырья и разработаны составы тяжелого бетона (табл. 3) с использованием отсеков Ачисайского полиметаллического завода и хвостов обогащения Ансайского месторождения в качестве мелкого и крупного заполнителя.

Результаты исследования удобоукладываемости бетонных смесей из отходов промышленности представлены в таблице 4.

Таблица 3

Составы тяжелого бетона на основе отходов

Составы бетона	Состав бетона на 1м <sup>3</sup> , кг			
	Цемент	Щебень	Песок	Вода
Контрольный состав на традиционных заполнителях	432	1200	720	182
На заполнителях Anskhv (25%)	432	300	180	182
На заполнителях Anskhv (50%)	432	600	360	182
На заполнителях Anskhv (100%)	432	1200	720	182
На заполнителях Achots (25%)	432	300	180	182
На заполнителях Achots (50%)	432	600	360	182
На заполнителях Achots (100%)	432	1200	720	182

Таблица 4

Результаты исследования удобоукладываемости бетонных смесей из отходов промышленности

Наименование бетонных смесей	Подвижность (см)	Жесткость (сек)
Контрольный состав на традиционных заполнителях	1	
На заполнителях Anskhv (25%)		16
На заполнителях Anskhv (50%)	3	
На заполнителях Anskhv (100%)	1	
На заполнителях Achots (25%)	5	
На заполнителях Achots (50%)		28
На заполнителях Achots (100%)		120

Для математического моделирования был выбран матричный метод, поскольку он обеспечивает системное, формализованное и количественно обоснованное изучение факторов, определяющих влияния сырьевых компонентов на свойства бетона. Данный метод является эффективным инструментом для анализа сложных многопараметрических систем, где результаты зависят от большого количества взаимосвязанных переменных.

**Результаты исследований.** Предварительное проектирование состава тяжелого бетона производилось по методу абсолютных объемов [19,20], в соответствии с которым был выполнен расчет предварительного состава бетонной смеси на основе природных заполнителей и отходов производства (табл. 3).

По данным таблиц 3 и 4 для математического моделирования были рассмотрены 4 фактора:  $x_1$  – цемент,  $x_2$  – щебень,  $x_3$  – песок,  $x_4$  – вода.

Была поставлена задача найти оптимальный состав бетона при использовании этих факторов.

Матрица планирования рассчитывалась следующим образом:

	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$
$a_{11}$	1			
$a_{12}$	-1	1		
$a_{13}$	-1	1	1	
$a_{14}$	0,6262	-0,62625	-0,626248275	1

Вычисленные коэффициенты матрицы показывают плотность связи между факторами. Чем больше их абсолютная величина, тем ближе

соответствующий фактор к результату. Анализ матрицы планирования состоял из двух этапов:

– при наличии в первом столбце матрицы  $|r| < 0,5$  элементов, условие которых выполняется, соответствующие этому факторы исключаются из модели. В нашем случае таких факторов нет.

– при анализе тесной взаимосвязи коэффициентов, взвешенных в матрице факторов  $(rX_iX_j)$ , необходимо было оценить их независимость друг от друга. Это необходимое условие регрессионного анализа.

Также были вычислены параметры, проверяющие уравнение регрессии на адекватность:

- R индекс корреляции множественной регрессии;
- R-коэффициент детерминации квадратичной регрессии.

Точность аппроксимации высока, если значение  $> 0,95$ , точность аппроксимации достаточна, если  $0,6 < R < 0,95$ , точность аппроксимации недостаточна, если  $R < 0,5$ , требуется улучшение, улучшение модели. По нашим расчетам значения всех параметров находятся на достаточном уровне.

Регрессионная статистика	
Множественный R	0,817414061
R-квадрат	0,668165747
Нормированный R-квадрат	0,469065195
Стандартная ошибка	0,157757944
Наблюдения	9

Количество наблюдений 9. Эти параметры наблюдений приведены в таблице 5.

Таблица 5  
Параметры наблюдений

Наблюдение	Предсказанное H2	Остатки	Стандартные остатки
1	0,478587117	-0,228587117	-1,832822899
2	0,546082089	-0,046082089	-0,369488488
3	0,639592786	0,110407214	0,885250544
4	0,248044559	0,001955441	0,015678824
5	0,359018404	0,140981596	1,130397471
6	0,822907342	-0,072907342	-0,584574705
7	0,355516833	-0,105516833	-0,846039228
8	0,42835387	0,07164613	0,574462241
9	0,621897	0,128103	1,02713624

По результатам были определены что значения остатков очень малы и удовлетворяют условиям, стандартная ошибка - отклонения наблюдаемых значений от линии регрессии также удовлетворяют условиям. В ходе дисперсионного анализа были рассчитаны следующие параметры:

$df$ - степень свободы регрессии-равна числу коэффициентов регрессии.

$$df = \frac{(s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2)^2}{(s_1^2/n_1)^2/(n_1-1) + (s_2^2/n_2)^2/(n_2-1)} \quad (1)$$

где, SS – средний квадрат регрессии.

$$SS = SSa + SSr, \quad (2)$$

где:  $SS$  – общая сумма квадратов отклонений;  $SSa$  – сумма квадратов отклонений под действием фактора  $a$ ;  $SSl$  – сумма квадратов отклонения ошибки.

В общем случае рассчитывается по следующей формуле:

$$SS_t = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{x_i} \quad (3)$$

где,  $MS$  – средние остаточные квадраты регрессии, которая рассчитывается по следующим формулам:

$$MS_a = \frac{SS_a}{a-1} \quad (4)$$

$$MS_l = \frac{SS_l}{n-a} \quad (5)$$

где,  $F$  – коэффициент критерия Фишера, вычисляли через средние остаточные коэффициенты регрессии:

$$F = \frac{MS_a}{MS_l} \quad (6)$$

Таблица 6

Результаты вычисления средних остаточных коэффициентов регрессии

	$df$	$SS$	$MS$	$F$	Значимость $F$
Регрессия	4	2,666666667	7,166666667	0,98520314	0,44562315
Остаток	1	5,698321	1,5986863		
Итого	5	29,66666667			

Проверяем достоверность результатов регрессионного анализа по критериям Стьюдента.  $T$  – критерий Стьюдента используется для определения статистической значимости различий между средними значениями. Независимые выборки могут использоваться как при сравнении, так и при сравнении связанных популяций. Данные в столбце  $t$ , статистика в расчетах, дают значения критериев Стьюдента и определяются по следующей формуле:

$$t = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (7)$$

Полученное значение  $t$ -критерия Стьюдента должно быть правильно проанализировано. Для этого берем количество изученных факторов в каждой группе ( $n_1$  и  $n_2$ ). Число степеней свободы  $f$  находим по формуле:

$$f = (n_1 + n_2) - 2 \quad (8)$$

После этого определяем критическое значение  $t$ -критерия Стьюдента на требуемый уровень значимости и количество степеней свободы  $f$  по заданной

таблице. Необходимо сравнить критические и расчетные значения критерия, для этого:

– делаем вывод о статистической значимости различий между сравниваемыми величинами, если расчетное значение t-критерия Стьюдента равно или больше критического значения, найденного в таблице.

– если значение расчетного t-критерия Стьюдента меньше значения в таблице, то различия сравниваемых величин статистически не значимы.

Таблица 7

Результаты регрессионного анализа

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Верхние 95%	Нижние 95%	Верхние 95,0%	Нижние 95,0%
Y-пересечение	7,105427358	0,235642	0,23654	0,00235642	7,105427358	7,542736	5,265489	2,135648
X1	0,0000526	0,256987	0,55659	0,00021563	0,000526489	0,000526	0,000526	0,000526
X2	0,0833333	0,895647	0,12457	0,40569871	0,083333333	0,0833333	0,0833333	0,0833333
X3	0,0002547	0,145214	0,25878	0,25064789	0,000254658	0,000255	0,000255	0,000255
X4	0,0005649	0,569452	0,25698	0,12135465	0,000564859	0,000565	0,000565	0,000565

По результатам регрессионного анализа получаем уравнение регрессии:

$$y = 7.105 + 0.0000526 \cdot x_1 + 0.0833 \cdot x_2 + 0.00025 \cdot x_3 + 0.00056 \cdot x_4$$

Уравнение регрессии было решено с помощью программного пакета MatLab и получены следующие значения:

Таблица 8

Значения уравнения регрессии

Command Window

y =

Columns 1 through 13

7.1050	7.1056	7.1062	7.1068	7.1074	7.1080	7.1086	7.1092	7.1098	7.1104	7.1111	7.1117	7.1123
7.2727	7.2733	7.2739	7.2745	7.2751	7.2757	7.2764	7.2770	7.2776	7.2782	7.2788	7.2794	7.2800
7.4404	7.4410	7.4417	7.4423	7.4429	7.4435	7.4441	7.4447	7.4453	7.4459	7.4465	7.4471	7.4477
7.6082	7.6088	7.6094	7.6100	7.6106	7.6112	7.6118	7.6124	7.6130	7.6136	7.6142	7.6148	7.6154
7.7759	7.7765	7.7771	7.7777	7.7783	7.7789	7.7795	7.7801	7.7807	7.7813	7.7819	7.7825	7.7831
7.9436	7.9442	7.9448	7.9454	7.9460	7.9466	7.9472	7.9478	7.9484	7.9490	7.9497	7.9503	7.9509
8.1113	8.1119	8.1125	8.1131	8.1137	8.1143	8.1150	8.1156	8.1162	8.1168	8.1174	8.1180	8.1186
8.2790	8.2796	8.2803	8.2809	8.2815	8.2821	8.2827	8.2833	8.2839	8.2845	8.2851	8.2857	8.2863
8.4468	8.4474	8.4480	8.4486	8.4492	8.4498	8.4504	8.4510	8.4516	8.4522	8.4528	8.4534	8.4540
8.6145	8.6151	8.6157	8.6163	8.6169	8.6175	8.6181	8.6187	8.6193	8.6199	8.6205	8.6211	8.6217
8.7822	8.7828	8.7834	8.7840	8.7846	8.7852	8.7858	8.7864	8.7870	8.7876	8.7883	8.7889	8.7895
8.9499	8.9505	8.9511	8.9517	8.9523	8.9529	8.9536	8.9542	8.9548	8.9554	8.9560	8.9566	8.9572
9.1176	9.1182	9.1189	9.1195	9.1201	9.1207	9.1213	9.1219	9.1225	9.1231	9.1237	9.1243	9.1249
9.2854	9.2860	9.2866	9.2872	9.2878	9.2884	9.2890	9.2896	9.2902	9.2908	9.2914	9.2920	9.2926
9.4531	9.4537	9.4543	9.4549	9.4555	9.4561	9.4567	9.4573	9.4579	9.4585	9.4591	9.4597	9.4603
9.6208	9.6214	9.6220	9.6226	9.6232	9.6238	9.6244	9.6250	9.6256	9.6262	9.6269	9.6275	9.6281
9.7885	9.7891	9.7897	9.7903	9.7909	9.7915	9.7922	9.7928	9.7934	9.7940	9.7946	9.7952	9.7958
9.9562	9.9568	9.9575	9.9581	9.9587	9.9593	9.9599	9.9605	9.9611	9.9617	9.9623	9.9629	9.9635
10.1240	10.1246	10.1252	10.1258	10.1264	10.1270	10.1276	10.1282	10.1288	10.1294	10.1300	10.1306	10.1312
10.2917	10.2923	10.2929	10.2935	10.2941	10.2947	10.2953	10.2959	10.2965	10.2971	10.2977	10.2983	10.2989
10.4594	10.4600	10.4606	10.4612	10.4618	10.4624	10.4630	10.4636	10.4642	10.4648	10.4655	10.4661	10.4667
10.6271	10.6277	10.6283	10.6289	10.6295	10.6301	10.6308	10.6314	10.6320	10.6326	10.6332	10.6338	10.6344
10.7948	10.7954	10.7961	10.7967	10.7973	10.7979	10.7985	10.7991	10.7997	10.8003	10.8009	10.8015	10.8021
10.9626	10.9632	10.9638	10.9644	10.9650	10.9656	10.9662	10.9668	10.9674	10.9680	10.9686	10.9692	10.9698
11.1303	11.1309	11.1315	11.1321	11.1327	11.1333	11.1339	11.1345	11.1351	11.1357	11.1363	11.1369	11.1375
11.2980	11.2986	11.2992	11.2998	11.3004	11.3010	11.3016	11.3022	11.3028	11.3034	11.3041	11.3047	11.3053

Продолжение таблицы 8

Columns 14 through 26												
7.1129	7.1135	7.1141	7.1147	7.1153	7.1159	7.1165	7.1171	7.1177	7.1183	7.1189	7.1195	7.1201
7.2806	7.2812	7.2818	7.2824	7.2830	7.2836	7.2842	7.2848	7.2854	7.2860	7.2866	7.2872	7.2879
7.4483	7.4489	7.4495	7.4501	7.4507	7.4513	7.4519	7.4525	7.4531	7.4538	7.4544	7.4550	7.4556
7.6160	7.6166	7.6172	7.6178	7.6184	7.6191	7.6197	7.6203	7.6209	7.6215	7.6221	7.6227	7.6233
7.7837	7.7844	7.7850	7.7856	7.7862	7.7868	7.7874	7.7880	7.7886	7.7892	7.7898	7.7904	7.7910
7.9515	7.9521	7.9527	7.9533	7.9539	7.9545	7.9551	7.9557	7.9563	7.9569	7.9575	7.9581	7.9587
8.1192	8.1198	8.1204	8.1210	8.1216	8.1222	8.1228	8.1234	8.1240	8.1246	8.1252	8.1258	8.1265
8.2869	8.2875	8.2881	8.2887	8.2893	8.2899	8.2905	8.2911	8.2917	8.2924	8.2930	8.2936	8.2942
8.4546	8.4552	8.4558	8.4564	8.4570	8.4577	8.4583	8.4589	8.4595	8.4601	8.4607	8.4613	8.4619
8.6223	8.6230	8.6236	8.6242	8.6248	8.6254	8.6260	8.6266	8.6272	8.6278	8.6284	8.6290	8.6296
8.7901	8.7907	8.7913	8.7919	8.7925	8.7931	8.7937	8.7943	8.7949	8.7955	8.7961	8.7967	8.7973
8.9578	8.9584	8.9590	8.9596	8.9602	8.9608	8.9614	8.9620	8.9626	8.9632	8.9638	8.9644	8.9650
9.1255	9.1261	9.1267	9.1273	9.1279	9.1285	9.1291	9.1297	9.1303	9.1310	9.1316	9.1322	9.1328
9.2932	9.2938	9.2944	9.2950	9.2956	9.2963	9.2969	9.2975	9.2981	9.2987	9.2993	9.2999	9.3005
9.4609	9.4616	9.4622	9.4628	9.4634	9.4640	9.4646	9.4652	9.4658	9.4664	9.4670	9.4676	9.4682
9.6287	9.6293	9.6299	9.6305	9.6311	9.6317	9.6323	9.6329	9.6335	9.6341	9.6347	9.6353	9.6359
9.7964	9.7970	9.7976	9.7982	9.7988	9.7994	9.8000	9.8006	9.8012	9.8018	9.8024	9.8030	9.8036
9.9641	9.9647	9.9653	9.9659	9.9665	9.9671	9.9677	9.9683	9.9689	9.9696	9.9702	9.9708	9.9714
10.1318	10.1324	10.1330	10.1336	10.1342	10.1349	10.1355	10.1361	10.1367	10.1373	10.1379	10.1385	10.1391
10.2995	10.3002	10.3008	10.3014	10.3020	10.3026	10.3032	10.3038	10.3044	10.3050	10.3056	10.3062	10.3068
10.4673	10.4679	10.4685	10.4691	10.4697	10.4703	10.4709	10.4715	10.4721	10.4727	10.4733	10.4739	10.4745
10.6350	10.6356	10.6362	10.6368	10.6374	10.6380	10.6386	10.6392	10.6398	10.6404	10.6410	10.6416	10.6422
10.8027	10.8033	10.8039	10.8045	10.8051	10.8057	10.8063	10.8069	10.8075	10.8082	10.8088	10.8094	10.8100
10.9704	10.9710	10.9716	10.9722	10.9728	10.9735	10.9741	10.9747	10.9753	10.9759	10.9765	10.9771	10.9777
11.1381	11.1388	11.1394	11.1400	11.1406	11.1412	11.1418	11.1424	11.1430	11.1436	11.1442	11.1448	11.1454
11.3059	11.3065	11.3071	11.3077	11.3083	11.3089	11.3095	11.3101	11.3107	11.3113	11.3119	11.3125	11.3131
11.4736	11.4742	11.4748	11.4754	11.4760	11.4766	11.4772	11.4778	11.4784	11.4790	11.4796	11.4802	11.4809
11.6413	11.6419	11.6425	11.6431	11.6437	11.6443	11.6449	11.6455	11.6461	11.6468	11.6474	11.6480	11.6486

На основе полученных результатов был построен график для всех факторов (рис. 4).

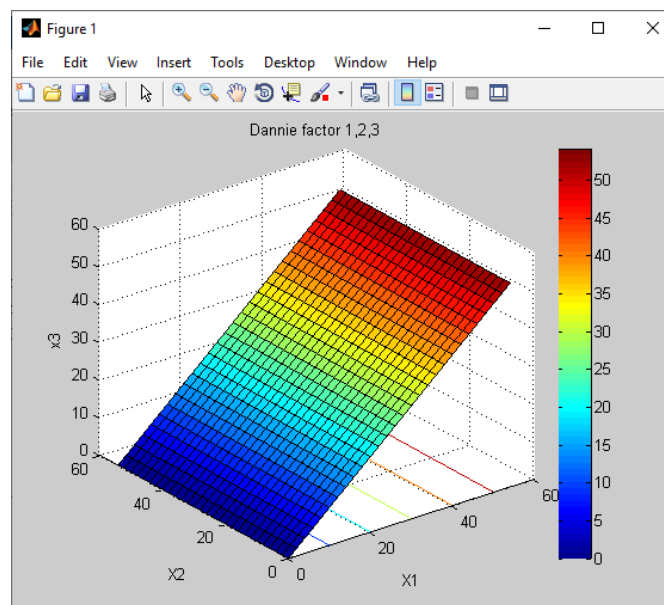


Рис. 3. Результат решения уравнения регрессии

На основании полученных зависимостей можно сделать вывод, что наиболее сильное влияние на изменение средней плотности оказывает расход цемента ( $X_1$ ). Ввиду достаточно значительной разности плотностей цементного камня и заполнителей на основе техногенных отходов, данный эффект является вполне очевидным. Выявлен отрицательный линейный эффект водоцементного отношения ( $X_2$ ) на плотность композита. Это объясняется повышением пористости цементного камня при повышении его водосодержания, что в последующем приводит к снижению плотности

материала. Установлен положительный эффект изменения прочности тяжелого бетона при повышении содержания цемента ( $x_1 = + 0,99$ ) и водоцементного отношения ( $x_2 = + 1,9$ ). Как и большинство бетонов гидратационного твердения, увеличение содержания, вяжущего благоприятно влияет на формирование прочностных характеристик материала.

Было установлено что, самый весомый вклад в формирование прочности оказывает водоцементное отношение. В эксперименте водоцементное отношение варьируется от 0,4 до 0,42. При минимальных значениях водоцементного отношения наблюдается резкое снижение прочности при сжатии. Это связано, во-первых, с нехваткой воды затворения для обеспечения реакции гидратации, во-вторых, миграцией части воды в поверхностные слои гранул шлака. Минимальная плотность и прочность наблюдаются при расходе цемента  $320 \text{ кг/м}^3$  и водоцементном отношении 0,4. Максимальная плотность и прочность выявлены при расходе цемента  $420 \text{ кг/м}^3$  и водоцементном отношении 0,42. Совместные влияния факторов на изменения выходных данных не обнаружены.

В целом особенности изменения поверхностей отклика ( $Y_p$  и  $Y_R$ ) имеют практически одинаковое направление, а также идентичные причинно-следственные связи с входными факторами ( $X_1$  и  $X_2$ ). Во всех смесях 50% соотношение факторов дал хороший результат.

**Обсуждение научных результатов.** Для оптимизации состава бетона с целью повышения его физико-механических свойств на основе техногенных отходов, были проведены экспериментальные исследования.

На основе данных, приведенных в таблице 3, для каждого типа заполнителя были рассчитаны соответствующие изменения в составе бетона в зависимости от процентного соотношения техногенных отходов. Это позволила более точно подобрать состав, который обеспечит максимальную прочность и другие необходимые свойства. Для этого были изучены характеристики различных техногенных отходов (Anskhv, Achots) и их влияние на физико-механические свойства бетона (прочность, водопоглощение, морозостойкость).

Составы, представленные в таблице 3, использовали для создания опытных образцов бетона. Например, для каждой группы (25%, 50%, 100% заполнителя) были проведены испытания на прочность на сжатие, водопоглощение и другие ключевые характеристики.

Экспериментальные исследования показали, что с увеличением содержания техногенных отходов в составе бетона необходимо корректировка водоцементного отношения для достижения нужной прочности и других эксплуатационных характеристик. Для этого необходимо экспериментально определить оптимальное соотношение воды и цемента в каждом случае.

Были проведены сравнительные анализы физико-механических свойств бетона с традиционными заполнителями и бетонами с техногенными отходами, которая помогла выявить наиболее эффективные составы для конкретных условий эксплуатации (например, для строительства конструкций, подвергающихся высокой нагрузке или агрессивной внешней среде).

Для того чтобы провести расчет состава бетона с использованием техногенного отхода Anskhv в качестве заполнителя, были подобраны несколько составов (с 25%, 50% и 100% Anskhv) и проанализированы их

влияние на физико-механические характеристики и определены их оптимальность для использования в различных бетонах. Составы приведены в таблице 3.

Для определения их влияния на физико-механические свойства бетона важно понимать, как именно этот материал ведет себя в смеси. Если Anskhv обладает высоким коэффициентом прочности и хорошими характеристиками плотности, его добавление может улучшить некоторые свойства бетона.

Важными характеристиками Anskhv, которые нужно учитывать, являются плотность, прочность и абсорбция воды. Для примера, если Anskhv имеет плотность, аналогичную плотности песка или гравия, его влияние на вес и прочность бетона будет менее значительным. Если же плотность Anskhv больше, это увеличит общий вес бетона.

Прочность бетона зависит от многих факторов, в том числе от типа заполнителя. Если Anskhv обладает хорошими прочностными характеристиками, то его добавление в бетон может улучшить прочность на сжатие.

На основе полученных данных были исследованы физико-механические свойства бетона. В равноподвижных смесях (составы 2 и 5) (ОК ~ 8 см) самый быстрый набор прочности наблюдается в смесях с 25% заменой природных заполнителей на отходы Achots (состав 5). Самая высокая прочность была получена с 50% заменой природного заполнителя на отходы Achots. Практически равные результаты показали составы 1 и 5. Наиболее низкие прочностные показатели были получены при полной замене природного заполнителя на техногенные отходы.

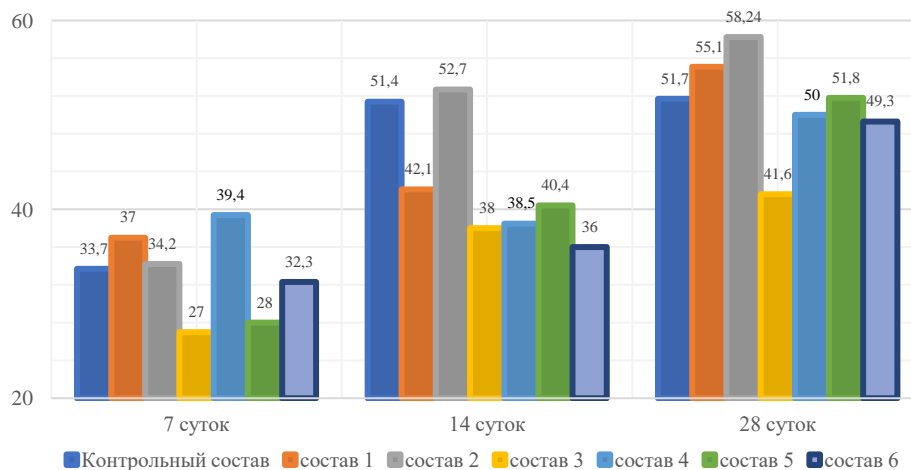


Рис. 4. Кинетика набора прочности бетонов на основе Ансайских (Anskhv) и Ачисайских (Achots) отсевов

Таблица 9

Влияния техногенных отходов на физико-механические свойства бетона

Вид бетона	Плотность бетона, кг\м <sup>3</sup>	Прочность 28 суток, МПа	Водо-поглощение, W%	Морозо-стойкость, F (цикл)
1	2	3	4	5
Контрольный состав на	2450	51,7	0,67	F 400

традиционных заполнителях				
---------------------------	--	--	--	--

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5
№1 На заполнителях Achots (25%)	2455	55,1	0,68	F 200
№2 На заполнителях Achots (50%)	2486	58,24	0,92	F 300
№3 На заполнителях Achots (100%)	2283	41,6	2	F 50
№ 4 На заполнителях Anskhv (25%)	2698	50	0,69	F 300
№5 На заполнителях Anskhv (50%)	2846	51,8	0,5	F 300
№6 На заполнителях Anskhv (100%)	2532	49,3	0,41	F 200

Экспериментально были определены, что:

– для бетона на традиционных заполнителях с обычным песком и щебнем (контрольный состав), прочность на сжатие может составлять около 50 МПа (в зависимости от марки цемента и соотношения компонентов).

– для бетона с 25% заменой традиционного заполнителя на заполнители из отходов, прочность на сжатие может быть аналогичной или немного выше;

– для бетона с 50% Anskhv, прочность также может быть схожа с контрольным составом, но возможно незначительное улучшение за счет большей плотности и прочности материала;

– для бетона с 100% Anskhv возможен незначительное снижение.

Авторами [21] было установлено, что твердеющее тесто на основе портландцемента вступает в реакцию с карбонатным заполнителем, образуя карбонат кальция различного состава, принадлежащий системе  $\text{CaCO}_3\text{-Ca(OH)}_2\text{-H}_2\text{O}$ . Отмечается, что кристаллы карбоната кальция имеют сравнительно небольшой размер и свободно расположены среди продуктов гидратации в отличие от крупных ориентированных кристаллов  $\text{Ca(OH)}_2$ . В связи с тем, что в обеих исследуемых отходах большая доля карбоната кальция, наверное, именно это явление способствует повышенной механической прочности контактной зоны между цементным камнем и карбонатной породой, которая приводит к увеличению прочности бетона.

Исследования с помощью оптических методов позволили установить особенности формирования контактной зоны в бетонах с Ансайским заполнителем. На рисунке 10 отчетливо виден контакт с цементной матрицей: поверхность неровная, расплывчатая, плотная, с проникновением цементного камня в глубь заполнителя. Как видно из рентгенодифрактометрического анализа (Anskhv) представленного на рисунке 5, и уже отмеченного авторами [21], карбонатный заполнитель содержащий  $\text{CaCO}_3$  вступает в реакцию с минералами цементного клинкера образуя систему  $\text{CaCO}_3\text{-Ca(OH)}_2\text{-H}_2\text{O}$ .

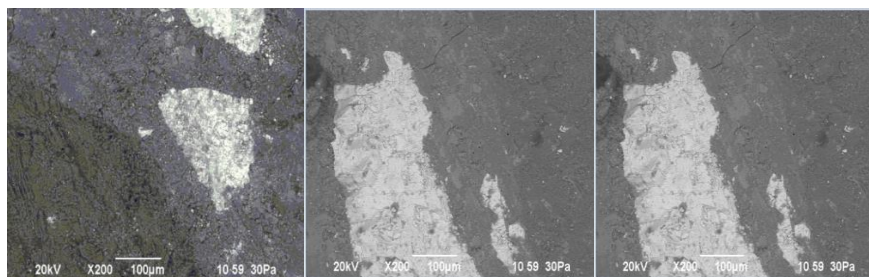


Рис. 5. Микрофотография контактной зоны бетона на основе отсеков Ансайского (Anskhv) месторождения

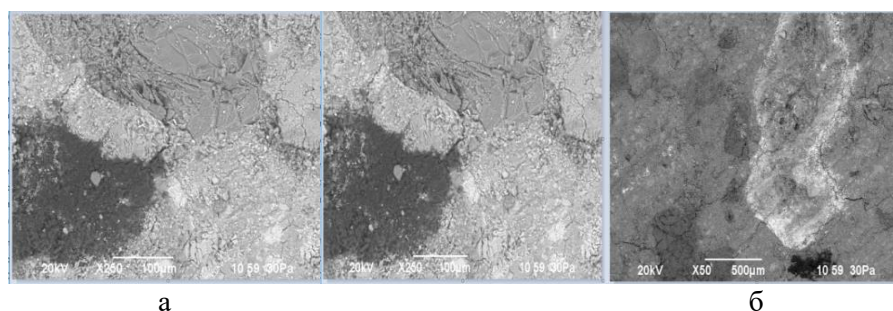


Рис. 6. Микрофотография контактной зоны бетона на основе отсеков Ачисайского месторождения (Achots)

На рисунке 6 представлена фотография контактной зоны между цементом и ачисайским отсеком. Наблюдается близкая контактная адгезия, за счет шероховатости и неровности поверхности. Это происходит по видимому из-за того, что диоксид кремния заполнителя вступает в реакцию с гидроксидом кальция образуя низкоосновные гидросиликаты кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{SiO}_2 + m\text{H}_2\text{O} = \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

Плотность бетона будет зависеть от плотности заполнителей. Если заполнитель имеет более высокую плотность, чем обычный песок или щебень, то бетон станет тяжелее. Например, если плотность песка составляет около  $1600\text{--}1800 \text{ кг/м}^3$ , а плотность Anskhv –  $2000\text{--}2200 \text{ кг/м}^3$ , то увеличение содержания Anskhv повысит плотность бетона, что может повысить его прочность, но одновременно сделает его более тяжелым.

Водопоглощение бетона с Anskhv будет зависеть от свойств самого материала. Техногенные отходы могут иметь разную пористость, что влияет на способность бетона поглощать воду. Увлажнение бетона важно для его долговечности, особенно в условиях низких температур.

Для упрощения расчета использовали типичные объемные доли компонентов в смеси бетона. Плотность бетона с техногенными отходами будет зависеть от плотности компонентов. Допустим, плотность Anskhv равна  $2200 \text{ кг/м}^3$ , плотность песка –  $1800 \text{ кг/м}^3$ , плотность цемента –  $1500 \text{ кг/м}^3$ .

– Объем Anskhv:

$$V_{\text{Anskhv}} = 600 / 2200 = 0,2727 \text{ м}^3$$

– Объем песка:

$$V_{\text{sand}} = 360 / 1800 = 0,2 \text{ м}^3$$

– Объем цемента:

$$V_{\text{cement}}=4321500=0,288 \text{ м}^3$$

– Объем воды:

$$V_{\text{water}}=1821000=0,182 \text{ м}^3$$

Общий объем смеси:

$$V_{\text{total}}=0,2727+0,2+0,288+0,182=0,9427 \text{ м}^3$$

Плотность бетона с 50% Anskhv:

$$\rho_{\text{concrete}}=600+360+432+1820,9427=15740,9427 \approx 1670 \text{ кг}$$

Плотность бетона с 50% Anskhv составит приблизительно 1670 кг/м<sup>3</sup>.

Прочность бетона с 50% Anskhv можно ожидать на уровне 50-55 МПа, если Anskhv обладает хорошими прочностными характеристиками. При этом прочность бетона будет зависеть от качества самого Anskhv и от соотношения воды и цемента. Водопоглощение может быть немного выше для бетона с Anskhv, особенно если этот материал обладает более высокой пористостью, чем обычный заполнитель. Однако для этого состава можно ожидать водопоглощение в пределах 5-7% (при условии, что Anskhv имеет более низкое водопоглощение, чем традиционные заполнители).

Морозостойкость образцов определяли по ускоренному методу. По мнению автора [22] морозостойкость бетонов можно увеличить двумя основными способами: понижением показателя В/Ц путем уменьшения количества вводимой в бетонную смесь воды и увеличением показателя вовлеченного воздуха посредством образования в теле бетона условно-замкнутых пор. В нашем случае увеличивается плотность бетонов за счет формирования плотной структуры с проникновением цементного камня в глубь заполнителя, которая снижает водопоглощение образцов с повышением морозостойкости.

Для расчета состава бетона с использованием техногенного отхода Achots в качестве заполнителя, были проведены аналогичные расчеты, учитывающие влияние этого материала на состав, физико-механические характеристики бетона и его эксплуатационные свойства.

Как и в случае с другими техногенными отходами, были учтены такие характеристики Achots, как плотность, прочность и водопоглощение.

**Заключение.** Результаты физико-химических исследований показали наличие в исследуемых техногенных отходах карбоната кальция, кварцита, доломита пригодных для использования в виде заполнителей и минеральных добавок для бетонов. В Achots содержание карбоната кальция и кварцита больше, чем в Anskhv;

На основании математического моделирования и полученных зависимостей определили, что наиболее сильное влияние на изменение средней плотности оказывает расход цемента ( $X_1$ ). Ввиду достаточно значительной разности плотностей цементного камня и заполнителей на основе техногенных отходов, данный эффект является вполне очевидным.

Был выявлен отрицательный линейный эффект водоцементного отношения ( $X_2$ ) на плотность композита. Это объясняется повышением пористости цементного камня при повышении его водосодержания, что в последующем приводит к снижению плотности материала.

Установлен положительный эффект изменения прочности тяжелого бетона при повышении содержания цемента ( $x_1 = + 0,99$ ) и водоцементного отношения ( $x_2 = + 1,9$ ). Как и большинство бетонов гидратационного твердения, увеличение содержания, вяжущего благоприятно влияет на формирование прочностных характеристик материала.

Установлено что, самый весомый вклад в формирование прочности оказывает водоцементное отношение. При минимальных значениях водоцементного отношения наблюдается резкое снижение прочности при сжатии. Это связано, во-первых, с нехваткой воды затворения для обеспечения реакции гидратации, во-вторых, миграцией части воды в поверхностные слои гранул заполнителя.

Экспериментальными исследованиями подтверждены полученные зависимости.

Бетон с 50% техногенных заполнителях может быть хорошим выбором, если заполнители на основе этих техногенных отходов обладают повышенными прочностными и плотными характеристиками. Такой состав бетона может быть применим в конструкциях, где требуется высокая плотность, но не требуется чрезмерная легкость. Основное преимущества данного бетона возможное улучшение прочности и экономичность за счет использования отходов. Также, это может быть экологически устойчивое решение, поскольку эти заполнители является отходом, который можно перерабатывать в строительный материал.

#### Список литературы

1. Методическое руководство по изучению и оценке техногенных минеральных объектов, представляемых на государственную экспертизу недр [Электронный ресурс]. Постановление Правительства Республики Казахстан от 21 января 2000 года № 108 «Об утверждении Правил предоставления права недропользования в Республике Казахстан». – Режим доступа: <https://onux-g.kz/rukovodstvo-tmo/>.
2. Таймасов Б.Т. Минерально-сырьевые источники для энергосберегающего производства порландцементного клинкера [Текст] / Б.Т. Таймасов, Н.Н. Жаникулов, А.П. Калтай // Комплексное использование минерального сырья. – 2016. – № 2. – С. 95-101.
3. Sensogut C., Ozdeniz A.H. Bricks manufactured from colliery wastes: a case study // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. – 2006. – Vol. 20, No. 4. – P. 267-271.
4. Salguero F., Grande J.A., Valente T., Garrido R., de la Torre M.L., Fortes J.C., Sanchez A. Recycling of manganese gangue materials from waste-dumps in the Iberian Pyrite Belt – Application as filler for concrete production // Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 54. – P. 363-368.
5. Shi J., He F., Ye C., Hu L., Xie J., Yang H., Liu X. Preparation and characterization of CaO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> glass-ceramics from molybdenum tailings // Materials Chemistry and Physics. – 2017. – Vol. 197. – P. 57-64.
6. Ismailov A., Ristavletov R., Kudabaev R., Saparov S., Sypabekova G. Different types of fillers in fine-grained concrete made from industrial waste with binding material // Journal of Mechanical Engineering Research and Developments. – 2018. DOI: 10.26480/jmerd.01.2018.14-17.
7. Ismailov A., Baybolov K., Ristavletov R., Kopzhasarov B., Kambarov M., Kudabaev R., Ussipbaev U., Mominova S. Effect of Cost-Effective Alkaline Additives on the Hydration of Slag-Cement Mixtures // Journal of Advanced Concrete Technology. – 2018. – Vol. 16. – P. 429-440. DOI: 10.3151/jact.16.429.
8. Omarov B., Montaeв S., Ristavletov R., Dosov K., Montayeva N., Dosaliev K. Sintering and Crystallization Intensifiers for Production of Ceramic Paving Blocks by Vibropressing Technology // Periodica Polytechnica Civil Engineering. – 2023. – Vol. 67, No. 3. – P. 706-715. DOI: 10.3311/PPci.21818.
9. Montaeв S., Ristavletov R., Omarov B., Ussenkulov Zh., Dosov K. Use of Granulated Metallurgy Slag in the Raw Mix for Producing Ceramic Paving Stones:

- Insights from an Experiment in Kazakhstan // ISVS e-journal. – 2023. – Vol. 10. – Issue 7.
10. Астахова Л.Г. Лекции по дисциплине «Математическая теория плагирирования эксперимента [Текст] / Л.Г. Астахова. – Владикавказ, 2013. – 96 с.
  11. Конопленко Е.И. Методические указания по курсу «Планирование эксперимента» для студентов заочной формы обучения [Текст] / Е.И. Конопленко. – Москва: Московский государственный университет Пищевой промышленности, 2011. – 41 с.
  12. Образцов И.В. Оптимизация зерновых составов цементно-минеральных смесей для производства строительных композитов методами компьютерного моделирования [Текст]: дис. ... канд. техн. наук. – Тверь, 2014. – 131 с.
  13. Таймасов Б.Т. Перспективная сырьевая база цементных заводов Казахстана [Текст] / Б.Т. Таймасов, А.Ж. Альжанова, С.Б. Есжанов // Наука и образование Южного Казахстана. – 2011. – № 1(87). – С. 100-105.
  14. Айменов Ж.Т. Получение композиционных цементов на основе техногенных отходов [Текст] / Ж.Т. Айменов, А.Ж. Айменов, Н.Б. Сарсенбаев, Б.К. Сарсенбаев // Вестник ГГНТУ. Технические науки. – 2021. – Т. XVII. – № 1(23).
  15. Хозин В.Г. Карбонатные цементы низкой водопотребности – зеленая альтернатива цементной индустрии России [Текст] / В.Г. Хозин, О.В. Хохряков, И.Р. Сибгатуллин, А.Р. Гиззатуллин // Строительные материалы. – 2014. – С. 76-82.
  16. Kongnenghol K. CEMENTBUREAU – the cement and energy market in Europe and the world // Cement and Its Application. – 2013. – No. 3. – P. 22-33.
  17. Рахимова Н.Р. Влияние добавок золы на свойства шлаковых вяжущих [Текст] / Н.Р. Рахимова, Р.З. Рахимов, Р.Ф. Гатауллин // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2007. – № 3. – С. 70-73.
  18. Tarun N.S., Kumar M.S., Kumar P. Investigating the fresh state performance of concrete containing iron slag and recycled concrete aggregates // Materials Today: Proceedings. – 2022. – Vol. 65. – Part 2. – P. 1467-1477. DOI: 10.1016/j.matpr.2022.04.462.
  19. Нурымбетова Р.У. Возможности применения отходов свинцового производства в производстве строительных материалов [Текст] / Р.У. Нурымбетова, Р.А. Риставлетов, Э.Н. Калшабекова, С.Т. Дуйсенбаева, Р.Б. Кудабаяев // Механика и технологии. – 2024. – № 3(85). – С. 229-239. DOI: 10.55956/ZSJC3549.
  20. Phạm Duy Hữu, Nguyễn Ngọc Long. Bê tông cường độ cao và chất lượng cao [High-Strength Concrete and High Quality]. – Hanoi: NXB Xây dựng, 2008. – 151 p. [in Vietnamese].
  21. Xie Song-shan. Investigation of adhesion in a contact zone of concrete // Journal of the Chinese Ceramic Society. – 1983. – No. 4. – P. 489-497. [In Chinese].
  22. Ахтямов В.Ф. Исследование возможности получения высокоэффективных бетонов на основе отходов от производства нерудных материалов и добавок эфиров поликарбоксилатов [Текст] / В.Ф. Ахтямов, А.С. Батулин, И.А. Елизаров, Э.Н. Хафизова // Международная научно-практическая конференция молодых ученых им. Д.И. Менделеева: материалы конференции. – Тюмень: ТИУ, 2016. – С. 315-318.

*Материал поступил в редакцию 29.10.25, принят 08.06.26.*

Р.У. Нурымбетова<sup>1</sup>, Р.А. Риставлетов<sup>1</sup>, Н.А. Сузев<sup>1</sup>, Э.Н. Калшабекова<sup>1</sup>,  
М.А. Камбаров<sup>1</sup>, Р.Б. Кудабаяев<sup>1</sup>, А.К. Орынбасаров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

### ТАУ-КЕН КӘСІПОРЫНДАРЫНЫҢ ҚАЛДЫҚТАРЫ НЕГІЗІНДЕ ТОЛТЫРҒЫШТАРДЫҢ АУЫР БЕТОННЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІН МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

**Аңдатпа.** Бұл мақалада табиғи толтырғыштар мен техногендік қалдықтарға ауыр бетон құрамының әсерін математикалық модельдеу нәтижелері келтірілген. Алынған тәуелділіктерге сүйене отырып, орташа тығыздықтың өзгеруіне цемент шығыны ( $X_1$ ) ең күшті әсер ететіні анықталды. Техногендік қалдықтарға негізделген цемент тасы мен толтырғыштардың тығыздығының айтарлықтай айырмашылығына байланысты бұл әсер айқын көрінеді. Композиттің тығыздығына су-цемент қатынасының ( $X_2$ ) теріс сызықтық әсері анықталды, бұл цемент тасының кеуектілігінің жоғарылауымен түсіндіріледі, бұл кейіннен материалдың тығыздығының төмендеуіне әкеледі. Цемент ( $X_1 = + 0,99$ ) және су-цемент қатынасы ( $x_2 = + 1,9$ ) жоғарылаған кезде ауыр бетонның беріктігін өзгертудің оң әсері анықталды. Көптеген гидратациялық қатайтылған бетондар сияқты, тұтқыр құрамның жоғарылауы материалдың беріктік сипаттамаларының қалыптасуына жағымды әсер етеді. Жауап беттерінің ( $Y_p$  және  $Y_R$ ) өзгерістері іс жүзінде бірдей бағытта, сондай-ақ кіріс факторларымен ( $X_1$  және  $X_2$ ) бірдей себеп-салдарлық байланыста болатыны анықталды. Барлық қоспаларда 50% факторлардың арақатынасы жақсы нәтиже берді.

**Тірек сөздер:** математикалық модельдеу, ауыр бетон, техногендік қалдықтар, физика-механикалық қасиеттері.

R. Nurymbetova<sup>1</sup>, R. Ristavletov<sup>1</sup>, N. Suzev<sup>1</sup>, E. Kalshabekova<sup>1</sup>,  
M. Kambarov<sup>1</sup>, R. Kudabaev<sup>1</sup>, A. Orynbasarov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

### MATHEMATICAL MODELING OF THE EFFECT OF AGGREGATES BASED ON MINING WASTE ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF HEAVY CONCRETE

**Abstract.** This article presents the results of mathematical modeling of the effect of the composition of heavy concrete on natural aggregates and man-made waste. Based on the obtained dependences, it was determined that cement consumption ( $X_1$ ) has the strongest effect on the change in average density. Due to the rather significant difference in the densities of cement stone and aggregates based on man-made waste, this effect is quite obvious. A negative linear effect of the water-cement ratio ( $X_2$ ) on the density of the composite was revealed, which is explained by an increase in the porosity of the cement stone with an increase in its water content, which subsequently leads to a decrease in the density of the material. The positive effect of changing the strength of heavy concrete with an increase in the cement content ( $x_1 = + 0.99$ ) and the water-cement ratio ( $x_2 = + 1.9$ ) has been established. Like most hydration-hardened concretes, an increase in the binder content has a beneficial effect on the formation of the strength characteristics of the material. It is determined that the changes in the response surfaces ( $Y_p$  and  $Y_R$ ) have almost the same direction, as well as identical causal relationships with the input factors ( $X_1$  and  $X_2$ ). In all mixtures, a 50% ratio of factors gave a good result.

**Keywords:** mathematical modeling, heavy concrete, man-made waste, physical and mechanical properties.

#### References

1. Methodical guidelines for the study and assessment of technogenic mineral objects submitted for state subsoil expertise [Electronic resource]. Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated January 21, 2000 No. 108 "On Approval of the Rules for Granting the Right of Subsoil Use in the Republic of Kazakhstan". – Access mode: <https://onyx-r.kz/rukovodstvo-tmo/>.
2. Taimasov B.T. Mineral'no-syr'evye istochniki dlya energosberegayushchego proizvodstva portlandtsementnogo klinkera [Mineral and raw material sources for energy-saving production of Portland cement clinker] // Complex Use of Mineral Resources. – 2016. – No. 2. – P. 95-101. [in Russian].
3. Sensogut C., Ozdeniz A.H. Bricks manufactured from colliery wastes: a case study // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. – 2006. – Vol. 20, No. 4. – P. 267-271.
4. Salguero F., Grande J.A., Valente T., Garrido R., de la Torre M.L., Fortes J.C., Sanchez A. Recycling of manganese gangue materials from waste-dumps in the Iberian Pyrite Belt – Application as filler for concrete production // Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 54. – P. 363-368.
5. Shi J., He F., Ye C., Hu L., Xie J., Yang H., Liu X. Preparation and characterization of CaO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> glass-ceramics from molybdenum tailings // Materials Chemistry and Physics. – 2017. – Vol. 197. – P. 57-64.
6. Ismailov A., Ristavletov R., Kudabaev R., Saparov S., Sypabekova G. Different types of fillers in fine-grained concrete made from industrial waste with binding material // Journal of Mechanical Engineering Research and Developments. – 2018. DOI: 10.26480/jmerd.01.2018.14-17.
7. Ismailov A., Baybolov K., Ristavletov R., Kopzhasarov B., Kambarov M., Kudabaev R., Ussipbaev U., Mominova S. Effect of Cost-Effective Alkaline Additives on the Hydration of Slag-Cement Mixtures // Journal of Advanced Concrete Technology. – 2018. – Vol. 16. – P. 429-440. DOI: 10.3151/jact.16.429.
8. Omarov B., Montaev S., Ristavletov R., Dosov K., Montayeva N., Dosaliev K. Sintering and crystallization intensifiers for production of ceramic paving blocks by vibropressing technology // Periodica Polytechnica Civil Engineering. – 2023. – Vol. 67, No. 3. – P. 706-715. DOI: 10.3311/PPci.21818.
9. Montaev S., Ristavletov R., Omarov B., Ussenkulov Zh., Dosov K. Use of granulated metallurgy slag in the raw mix for producing ceramic paving stones: insights from an experiment in Kazakhstan // ISVS e-journal. – 2023. – Vol. 10, Issue 7.
10. Astakhova L.G. Lektsii po distsipline «Matematicheskaya teoriya planirovaniya eksperimenta» [Lectures on the discipline "Mathematical theory of experiment planning"]. – Vladikavkaz, 2013. – 96 p. [in Russian].
11. Konoplenko E.I., Khoreeva N.K., Lapus A.P. Metodicheskie ukazaniya po kursu «Planirovanie eksperimenta» dlya studentov zaочноy formy obucheniya [Methodical instructions for the course "Planning experiments" for students of correspondence education]. – Moscow: Moscow State University of Food Production, 2011. – 41 p. [in Russian].
12. Obraztsov I.V. Optimizatsiya zernovykh sostavov tsementno-mineral'nykh smesey dlya proizvodstva stroitel'nykh kompozitov metodami komp'yuternogo modelirovaniya [Optimization of grain compositions of cement-mineral mixtures for construction composites by computer modeling methods]: PhD thesis. – Tver, 2014. – 131 p. [in Russian].
13. Taimasov B.T., Alzhanova A.Zh., Yeszhanov S.B. Perspektivnaya syr'yevaya baza tsementnykh zavodov Kazakhstana [Prospective raw material base of cement

- plants in Kazakhstan] // Science and Education of Southern Kazakhstan. – 2011. – No. 1(87). – P. 100-105. [in Russian].
14. Aimenov Zh.T., Aimenov A.Zh., Sarsenbaev N.B., Sarsenbaev B.K. Poluchenie kompozitsionnykh tsementov na osnove tekhnogennykh otkhodov [Production of composite cements based on technogenic waste] // Bulletin of GGNTU. Technical Sciences. – 2021. – Vol. XVII, No. 1(23). [in Russian].
  15. Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Sibgatullin I.R., Gizzatullin A.R. Karbonatnye tsementy nizkoy vodopotrebnosti – zelenaya al'ternativa tsementnoy industrii Rossii [Carbonate cements of low water demand – a green alternative to the cement industry in Russia] // Construction Materials. – 2014. – P. 76-82. [in Russian].
  16. Kongnengholl K. CEMBUREAU – the cement and energy market in Europe and the world // Cement and Its Application. – 2013. – No. 3. – P. 22-33.
  17. Rakhimova N.R., Rakhimov R.Z., Gataullin R.F. Vliyanie dobavok zoly na svoystva shlakovykh vyazhushchikh [Effect of ash additives on the properties of slag binders] // Construction Materials, Equipment, Technologies of the 21st Century. – 2007. – No. 3. – P. 70-73. [in Russian].
  18. Tarun N.S., Kumar M.S., Kumar P. Investigating the fresh state performance of concrete containing iron slag and recycled concrete aggregates // Materials Today: Proceedings. – 2022. – Vol. 65, Part 2. – P. 1467-1477. DOI: 10.1016/j.matpr.2022.04.462.
  19. Nurymbetova R.U., Ristavletov R.A., Kalshabekova E.N., Duisenbaeva S.T., Kudabaev R.B. Vozmozhnosti primeneniya otkhodov svintsovogo proizvodstva v proizvodstve stroitel'nykh materialov [Possibilities of using lead production waste in construction materials production] // Mechanics and Technologies. – 2024. – No. 3(85). – P. 229-239. DOI: 10.55956/ZSJC3549. [in Russian].
  20. Phạm Duy Hữu, Nguyễn Ngọc Long. Bê tông cường độ cao và chất lượng cao [High-strength concrete and high quality]. – Hanoi: NXB Xây dựng, 2008. – 151 p. [in Vietnamese].
  21. Xie Song-shan. Investigation of adhesion in a contact zone of concrete // Journal of the Chinese Ceramic Society. – 1983. – No. 4. – P. 489–497. [in Chinese].
  22. Akhtyamov V.F., Baturin A.S., Elizarov I.A., Khafizova E.N. Issledovanie vozmozhnosti polucheniya vysokoeffektivnykh betonov na osnove otkhodov ot proizvodstva nerudnykh materialov i dobavok efirov polikarboksilatov [Study of the possibility of producing high-performance concretes based on waste from non-metallic materials production and polycarboxylate ether additives] // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists named after D.I. Mendeleev. – Tyumen: TIU, 2016. – P. 315-318. [in Russian].