

УДК 691
МРНТИ 67.09.33

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2023.1-21>

**Р.Е. Лукпанов¹, Д.С. Дюсембинов¹, А.Д. Алтынбекова^{1,2,*},
С.Б. Енкебаев, Ж.Б. Жантлесова^{1,2}**

¹ТОО «Solid Research Group»

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Информация об авторах:

Лукпанов Рауан Ермагамбетович – PhD, ассоциированный профессор, научный руководитель, ТОО «Solid Research Group», Астана, Казахстан

<http://orcid.org/0000-0003-0085-9934>, e-mail: rauan_82@mail.ru

Дюсембинов Думан Серикович – к.т.н., доцент, старший научный сотрудник, ТОО «Solid Research Group», Астана, Казахстан

<http://orcid.org/0000-0001-6118-5238>, e-mail: dusembinov@mail.ru

Алтынбекова Алия Досжанкызы – докторант PhD, кафедра «Технология промышленного и гражданского строительства», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-1010-9328>, e-mail: kleo-14@mail.ru

Енкебаев Серик Бейсенгалиевич – к.т.н., доцент, старший научный сотрудник, ТОО «Solid Research Group», Астана, Казахстан

<http://orcid.org/0000-0002-5984-9346>, e-mail: yenkebayev-serik@mail.ru

Жантлесова Жибек Бейсембаевна – докторант PhD, кафедра «Технология промышленного и гражданского строительства», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

<http://orcid.org/0000-0002-2010-3715>, e-mail: zhibek81@mail.ru

*Автор корреспонденции: kleo-14@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЕСКА И ЦЕМЕНТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕНОБЕТОНА

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментальных исследований свойств песка и цемента. Выполнено сравнительное исследование цементов разных заводоизготовителей на физико-механические характеристики, а также проанализированы участки добычи карьерного песка на территории Акмолинской области и дана их характеристика на физико-механические показатели. Оценка физико-механических характеристик портландцементов произведена для трех типов. Основными оценочными параметрами, являлись: сроки схватывания, прочность при сжатии и изгибе. Выполненные исследования показали, что песок месторождений «Ельтоқ» (Тип 1) по физико-механическим показателям могут быть использованы для строительных целей при производстве пенобетона. Сравнительный анализ данных сроков схватывания и прочностных свойств портландцементов показывает, что наиболее положительное действие на кинетику набора прочности бетона оказывает «Кокше-Цемент» (Тип 3). Исходя из параметров, а также с учетом их эффективности на физико-механические показатели бетона для дальнейших исследований был выбран состав Тип 3. В результате исследования свойств показано, что пески и цементы пригодны для использования при производстве пенобетона.

Ключевые слова: цемент, песок, пенобетон, физико-механические показатели, granulометрический состав.

Введение

В связи с бурным развитием строительного производства появилось множество строительных материалов, одним из которых является пенобетон [1-3]. Современное условие развития создают благоприятные условия для развития

строительства в частности: государственная программа жилищно-коммунального развития «Нұрлы-Жер» на 2020-2025 годы [4], государственная программа инфраструктурного развития «Нұрлы-Жол» на 2015-2019 годы [5] и государственная программа индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2015-2019 годы [6].

Актуальность исследования обусловлена высоким спросом пенобетона на строительном рынке. Пенобетон обладает различными физико-механическими характеристиками, простотой производства, дешевизной, сравнительно небольшой массой блоков. Благодаря этому он стал широко применяться в строительстве. Причинами большого интереса к материалу являются характеристики пенобетона, его плотность, теплопроводность и особенности ячеистой структуры. Основной отличительной особенностью этих материалов является их пористая структура [7].

В настоящее время существуют различные виды сырья для производства пенобетона. Пенобетон производится путем введения готовой пены в цементно-песчаную смесь, что позволяет получить замкнутую систему пор [8, 9]. Для достижения необходимой прочности важно применять качественные компоненты. Даже при использовании одного некачественного заполнителя приводит к снижению прочности пенобетона [10-12].

Не маловажным фактором является долговечность ячеистого бетона, в основе состава которого лежит цементное вяжущее и мелкий заполнитель [13]. Для определения качества песка служит такой показатель, как соотношение зерен разных фракций [14, 15]. При производстве пенобетона используется мелкий и очень мелкий песок. Иногда в песке присутствуют и иные вредные примеси — сернистые и сернокислые соединения, слюда, аморфные модификации кремнезема. Последние вообще очень опасны для пенобетонов, т.к. они способны вступать в прямую химическую реакцию со щелочами и образовывать вещества, вызывающие растрескивание цементной матрицы [16, 17].

Целью исследования является сравнительная оценка цементных растворов разных заводов-изготовителей на физико-механические характеристики, а также анализ качества карьерного песка на физико-механические показатели для дальнейшего использования в производстве пенобетона.

Для достижения поставленной цели, были решены следующие задачи:

1. Лабораторные исследования карьерного песка на физико-механические показатели;
2. Сравнительный анализ результатов испытаний цементных образцов разных заводов-изготовителей на физико-механические характеристики.

Материалы и методы

Сравнения песков выполнены для следующих образцов:

Тип 1: Месторождение строительных песков Ельток расположено в Аршатынском районе Акмолинской области в непосредственной близости от с. Волгоуновка, в 44 км к юго-востоку от г. Астана.

Тип 2: Ильиновское месторождение строительных песков расположено в Целиноградском районе Акмолинской области, в 4 км к северо-северо-западу от п. Ильинка, в 15 км на юго-запад от г. Астана.

Тип 3: Воздвиженское месторождение строительных песков расположено в Целиноградском районе Акмолинской области в пойме р. Козыкош - левого притока Ишима, в 6 км к юго-востоку от с. Воздвиженка и в 15 км к западу от г. Астана.

Тип 4: Месторождение строительных песков Рождественское-2 расположено в Целиноградском районе Акмолинской области, в 37 км к югу от г. Астана, в 2,5 км к северу от аула Кабанбай батыра.

Были проведены лабораторные исследования свойств карьерного песка: гранулометрический состав, содержания пылевидных и глинистых частиц насыпная и истинная плотность, влажность и модуль крупности. Отбор проб песка и подготовка к контролю качества осуществлялись в соответствии с требованиями ГОСТ 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы». Были выбраны точечные пробы песка, из которого путем смешивания была получена одна объединенная проба, методом квартования.

Гранулометрический состав песка оценивали путем просеивания его через стандартный набор сит. По результатам отсева определяли частные и полные остатки на ситах, модуль крупности и содержание зерен. Проведение испытаний гранулометрического состава: пылевидные частицы 0-0,05 мм (остаток на поддоне); песок мелкий 0,05-0,25 мм (остаток сита 0,05); песок средний 0,25-0,5 мм (остаток сита 0,25); песок крупный 0,5-2,0 мм (остаток сита 0,5); гравий >2,0 мм (остаток сита 2,0).

Мелким заполнителем служил тот тип песка (формовочный), который показал наиболее пригодные для производства пенобетона результаты, согласно реализации задачи 1 (Ельток, Ильиновское, Воздвиженское и Рождественское-2), соответствует требованиям ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия».

В качестве цементных образцов были использованы: портландцемент ПЦ400Д0 марки ЦЕМ I 42,5 Н (Карагандинского (Central Asia Cement), Жамбыл-Цемент и Кокше-Цемент) цементных заводов, соответствующего требованиям ГОСТ 31108-2020 Цементы общестроительные. Технические условия.

Согласно требованиям ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия», в мелком песке содержание пылевидных и глинистых частиц не должно превышать более 5% по массе песка. Следовательно, определяющим фактором является различное содержание глинистых и пылевидных частиц в песке, которое оказывает большое влияние на прочность сцепления зерен заполнителя с цементным камнем. Оно должно быть минимальным [9].

Результаты исследований цемента были определены в соответствии с требованиями ГОСТ 310.1-76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема» и ГОСТ 30744-2011 «Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка».



Рисунок 1 – Испытание образцов [материал авторов]

Результаты и обсуждение

На рисунке 2 представлены виды песков, для которых был проведен сравнительный анализ гранулометрического состава.

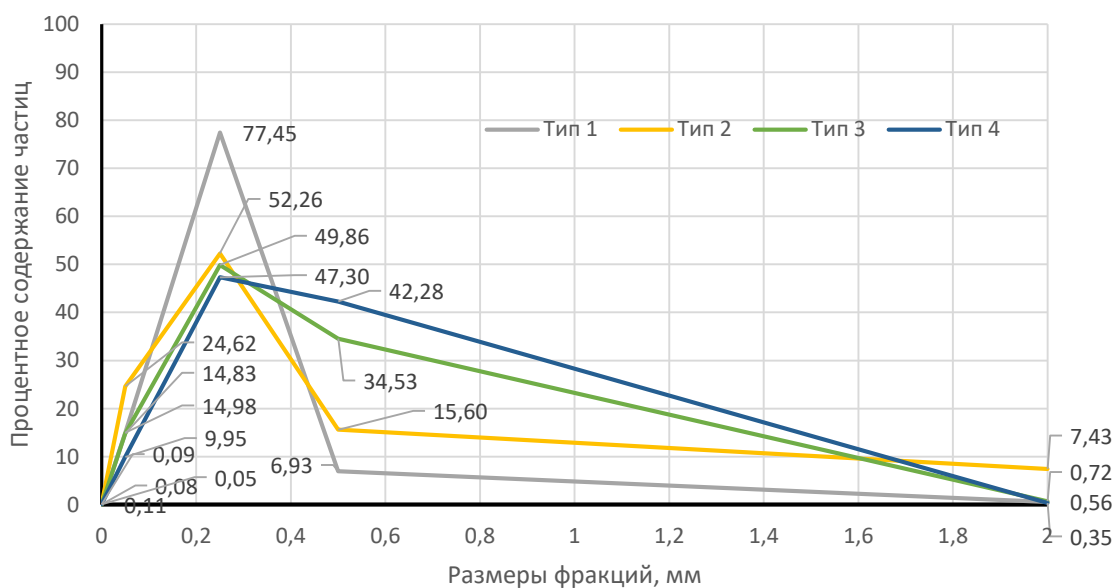


Рисунок 2 – Гранулометрический состав сравниваемых типов песка [материал авторов]

Образец типа 1 показал наилучший результат, который составляет 77,45%. При этом средние значения гранулометрического состава варьируется в диапазоне от 0,08 до 77,45%.

Образец типа 2 показал результат, который составляет 52,26%. Средние значения гранулометрического состава варьируется в диапазоне от 0,09 до 52,26%.

Образец типа 3 показал результат, который составляет 49,86%. Средние значения гранулометрического состава варьируется в диапазоне от 0,05 до 49,86%.

Образец типа 4 показал результат, который составляет 47,30%. Средние значения гранулометрического состава варьируется в диапазоне от 0,11 до 47,30%. Сводная таблица распределения зерен по гранулометрическому составу 4 типов приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Сводная таблица распределения зерен по гранулометрическому составу

Тип песка		Процентное содержание частиц по размерам фракций, %				
		< 2 мм	> 2; < 0,5 мм	> 0,5; < 0,25 мм	> 0,25; < 0,05 мм	> 0,05 мм
Тип 1	Среднее значение	0.56	6.93	77.45	14.98	0.08
	Квадратичное отклонение	0.11	0.85	1.40	1.86	0.02
	Коэффициент вариации	19.87	12.31	1.80	12.39	19.59
Тип 2	Среднее значение	7.43	15.60	52.26	24.62	0.09
	Квадратичное отклонение	0.63	0.62	1.33	0.93	0.03
	Коэффициент вариации	8.42	3.98	2.55	3.77	34.41
Тип 3	Среднее значение	0.72	34.53	49.86	14.83	0.05
	Квадратичное отклонение	0.11	1.21	1.25	0.83	0.01
	Коэффициент вариации	14.78	3.49	2.51	5.60	24.45
Тип 4	Среднее значение	0.35	42.28	47.30	9.95	0.11
	Квадратичное отклонение	0.07	1.35	1.59	0.98	0.02
	Коэффициент вариации	19.19	3.20	3.36	9.84	18.31

Характеристики песков по физико-механическим показателям приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические показатели

Вид	Истинная плотность, г/см ³	Насыпная плотность, г/см ³	Влажность, %	Модуль крупности, Мк, бар	Содержание пылевидных и глинистых частиц, %
Тип 1	2,67	1,35	0,8	1,6	1
Тип 2	2,68	1,42	0,7	1,8	1
Тип 3	2,70	1,62	1	1,85	1,5
Тип 4	2,69	1,57	0,9	1,7	1

Истинная плотность составляет от 2,67 г/см³ до 2,70 г/см³, в среднем составляет 2,685 г/см³. Насыпная плотность составляет от 1,35 до 1,62 г/см³, в среднем 1,49 г/см³. Содержание пылевидных и глинистых частиц варьируется от 1 до 1,5%, составляет 1,16%. Сопоставляя требования ГОСТ 8736-93 «Песок для строительных работ. Технические условия» и результаты анализов показывают, что песок типа 1 по физико-механическим показателям могут быть использованы для строительных целей при производстве пенобетона. Соотношения песков по группам крупности приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Соотношение групп крупности песков

Сумма	Группы песков, модуль крупности, %			
	Повышенной крупности (3,0-3,5)	Крупный (2,5-3,0)	Средний (2,0-2,5)	Мелкий (1,5-2,0)
24 100%	1 4,2%	5 20,8%	5 20,8%	13 54,2%

В зависимости от гранулометрических составов проанализированных проб, песок представлен группами: песок, повышенной крупности – 1 проба (4,2%), крупный – 5 проб (20,8%), средний – 5 проб (20,8%), мелкий – 13 проб (54,2%). По модулю крупности пески $M_{кр} = 1,6-1,85$ в среднем относятся к группе мелких песков, таблица 3.

Были проведены лабораторные исследования свойств цементных растворов: сроки схватывания и предел прочности через 28 суток.

В экспериментах использовались три типа цемента (Тип 1 - Жамбыл-Цемент, Тип 2 - Карагандинский (Central Asia Cement) и Тип 3 - Кокше-Цемент), выбор портландцементов был определен его наличием на строительном рынке Акмолинской области. Основные характеристики принятых, цементных вяжущих приведены в таблице 4 и 5.

Таблица 4 – Минералогический состав цементов марки ЦЕМ I 42,5 Н

№	Вид	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
1	Тип 1	57,27	14,87	8,28	14,28
2	Тип 2	47,92	19,09	8,65	13,6
3	Тип 3	47,92	19,09	8,65	13,6

Таблица 5 – Химический состав цементов ЦЕМ I 42,5 Н

№	Вид	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O ₃	K ₂ O	КН
1	Тип 1	24,81	6,06	2,81	64,49	2,97	3,12	0,23	0,87	0,77
2	Тип 2	27,16	5,92	3,03	63,67	2,75	3,03	0,26	1,01	0,69
3	Тип 3	27,52	5,79	3,33	59,10	2,36	3,01	0,28	1,02	0,62

Важным показателем строительных и технических цементов является время схватывания, поскольку этот показатель зависит от того, насколько экономно используется вода как один из важных ресурсов в строительстве и сколько времени потребуется на это строительство (рис. 3). На диаграмме времени схватывания первый пик соответствует началу схватывания, второй — концу.

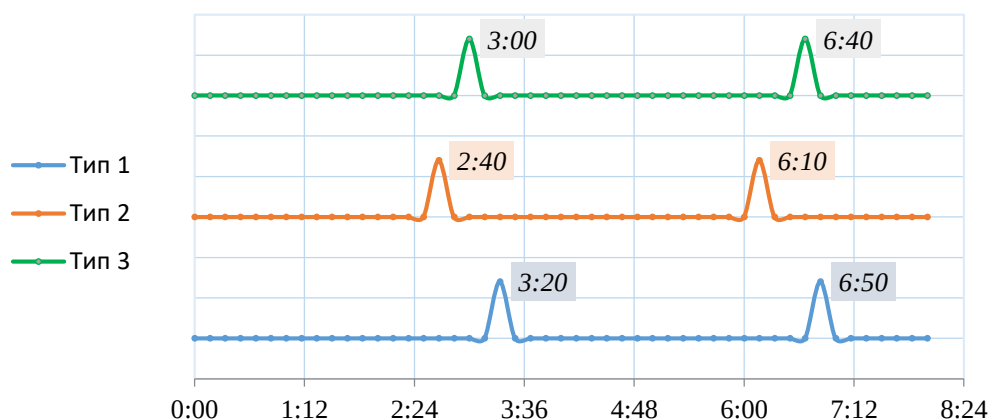


Рисунок 3 – Сроки схватывания портландцементов различного минералогического состава [материал авторов]

Из рисунка 3 видно, что все три исследуемых цемента имели сроки схватывания, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 310.1-76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема». Однако, Джамбульский цемент (Жамбыл-Цемент) обладает более длительными сроками схватывания, чем Карагандинский (Central Asia Cement) и Кокше-Цемент. При сравнении сроков схватывания этих цемента, разница в начале сроков схватывания составляет 3 ч 20 мин, а конца схватывания – 6 ч 50 мин для Жамбыл-Цемент, начало 2 ч 40 мин, а конец 6 ч 10 мин для Карагандинского цемента и начало 3 ч 00 мин, а конец 6 ч 40 мин для Кокше-Цемент.

Показатели прочностных свойств портландцементов определялись на образцах (40x40x160мм), изготовленных из цементного раствора, состоящего из песка, цемента и воды, твердевших в нормальных условиях. Прочностные показатели цемента приведены (28 суток) на рисунке 4.

Тип 1 образец (Жамбыл-Цемент) показали наименьшую прочность, в процентном соотношении меньше на 7,62% образца Тип 2 и на 10,92% образца Тип 3. Средняя прочность при сжатии на 28 суток составила 36,37 МПа. Результаты испытаний прочности при изгибе составило $R = 6,8$ МПа.

Тип 2 образец (Central Asia Cement) показали прочность, в процентном соотношении меньше на 3,57% образца Тип 3 и на 8,24% больше образца Тип 1. Средняя прочность при сжатии на 28 суток составила 39,37 МПа. Результаты испытаний прочности при изгибе составило $R = 7,32$ МПа.

Тип 3 образец (Кокше-Цемент) показали наибольшую прочность, превышающую прочность образцов Тип 1 и Тип 2, на 12,26% и 3,70%. Средняя прочность при сжатии на 28 суток составила 40,83 МПа. Результаты испытаний прочности при изгибе составило $R = 8,158$ МПа.

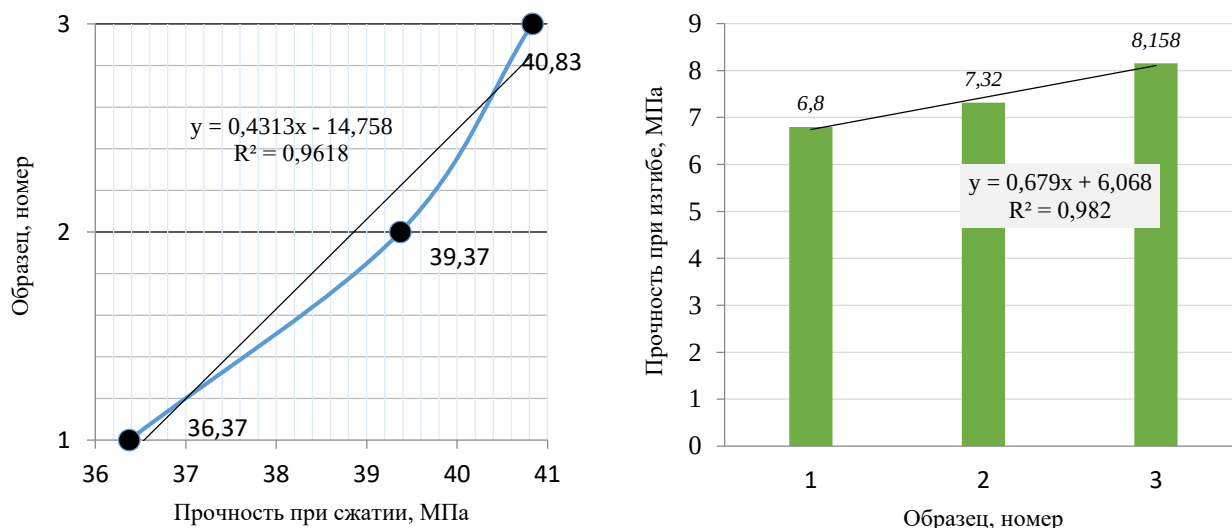


Рисунок 4 – Испытание цемента на прочностные показатели
[материал авторов]

Максимальная прочность – 40,83 МПа наблюдается в образцах Тип 3. Исходя из параметров, а также с учетом их эффективности на прочностные показатели бетона для дальнейших исследований был выбран состав с Тип 3. Среди полученных результатов минимальное значение предела прочности при сжатии и изгибе, равное 36,37 МПа и 6,8 МПа относится к составу Тип 1. Анализ полученных результатов показывает, что наиболее положительное действие на кинетику набора прочности бетона оказывает Тип 3.

Заклучение

На основании экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. В зависимости от гранулометрических составов проанализированных проб, образец типа 1 показал наилучший результат, который составляет 77,45%. Образец типа 2 показал результат, который составляет 52,26%. Образец типа 3 показал результат, который составляет 49,86%. Образец типа 4 показал результат, который составляет 47,30%. Сопоставляя требования ГОСТ 8736-93 «Песок для строительных работ. Технические условия» и результаты анализов показывают, что песок типа 1 по физико-механическим показателям могут быть использованы для строительных целей при производстве пенобетона.

2. При сравнении сроков схватывания цемента, разница в начале сроков схватывания составляет 3 ч 20 мин, а конца схватывания — 6 ч 50 мин для Жамбыл-Цемент, начало 2 ч 40 мин, а конец 6 ч 10 мин для Карагандинского цемента и начало 3 ч 00 мин, а конец 6 ч 40 мин для Кокше-Цемент. Однако, Джамбульский цемент (Жамбыл-Цемент) обладает более длительными сроками схватывания, чем Карагандинский (Central Asia Cement) и Кокше-Цемент.

3. По результатам прочности при изгибе и сжатии Тип 1 показали наименьшую прочность, которая составила 36,37 и 6,8 МПа. Средняя прочность Типа 1 составила 39,37 и 7,32 МПа. Тип 3 показали наибольшую прочность, ко-

торая составила 40,83 и 8,158 МПа. Полученные результаты прочностных характеристик показывает, что наиболее положительное действие на кинетику набора прочности бетона оказывает Тип 3. Исходя из параметров, а также с учетом их эффективности на прочностные показатели бетона для дальнейших исследований был выбран состав с Тип 3.

Выражение благодарности

Данная работа была выполнена в рамках проекта по грантовому финансированию молодых ученых 2022-2024 КН МОН РК (Комитет науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан) «Разработка мобильной установки по производству пенобетона методом двухстадийного введения пены с использованием модифицированной добавки из отходов промышленности» ИРН AP13068424.

Литература:

1. Liu J, Ge T, Wu Y, Chen R. Effect of Sand-to-Cement Ratio on Mechanical Properties of Foam Concrete. *Buildings*. 2022; 12(11):1969. <https://doi.org/10.3390/buildings12111969> (в международном журнале)
2. Liu J, Ren Y, Chen R, Wu Y, Lei W. The Effect of Pore Structure on Impact Behavior of Concrete Hollow Brick, Autoclaved Aerated Concrete and Foamed Concrete. *Materials*. 2022; 15(12):4075. <https://doi.org/10.3390/ma15124075> (в международном журнале)
3. Gencel O, Nodehi M, Hekimoğlu G, Ustaoglu A, Sari A, Kaplan G, Bayraktar OY, Sutcu M, Ozbakkaloglu T. Foam Concrete Produced with Recycled Concrete Powder and Phase Change Materials. *Sustainability*. 2022; 14(12):7458. <https://doi.org/10.3390/su14127458> (в международном журнале)
4. Постановление Правительства Республики Казахстан. Государственная программа жилищно-коммунального развития «Нұрлы-Жер» на 2020-2025 годы: утв. 31 декабря 2019 года, №1054 // <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1900001054>
5. Постановление Правительства Республики Казахстан. Государственная программа инфраструктурного развития «Нұрлы-Жол» на 2015-2019 годы: утв. 30 июля 2018 года, № 470 // <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1800000470>
6. Указ Президента Республики Казахстан. Государственная программа индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2015-2019 годы: утв. 1 августа 2014 года, № 874 // <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U1400000874>
7. Fu, Y., Wang, X., Wang, L., Li, Y. Foam Concrete: A State-of-the-Art and State-of-the-Practice Review. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2020. 2020. Pp. 1–25. DOI: 10.1155/2020/6153602 (в международном журнале)
8. Gołaszewski J, Klemczak B, Smolana A, Gołaszewska M, Cygan G, Mankel C, Peralta I, Röser F, Koenders EAB. Effect of Foaming Agent, Binder and Density on the Compressive Strength and Thermal Conductivity of Ultra-Light Foam Concrete. *Buildings*. 2022; 12(8):1176. <https://doi.org/10.3390/buildings12081176> (в международном журнале)
9. Zhongwei Liu, Kang Zhao, Chi Hu, Yufei Tang, "Effect of Water-Cement Ratio on Pore Structure and Strength of Foam Concrete", *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2016, Article ID 9520294, 9 pages, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/9520294> (в международном журнале)
10. Fu, Y., Wang, X., Wang, L., Li, Y. Foam Concrete: A State-of-the-Art and State-of-the-Practice Review. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2020. 2020. Pp. 1–25. DOI: 10.1155/2020/6153602 (в международном журнале)
11. N.Z. Muhammad, A. Keyvanfar, M.Z. Abd. Majid, A. Shafaghat, J. Mirza. Waterproof performance of concrete: A critical review on implemented approaches. *Construction and Building Materials*. 2015, 101 (1), 80–90. (в международном журнале)

12. Plank, E. Sakai, C.W. Miao, C. Yu, J.X. Hong. Chemical admixtures-Chemistry, applications and their impact on concrete microstructure and durability. *Cement and Concrete Research*. 2015, 78 (1), 81–99. (в международном журнале)
13. Y. Tian, S. Shuaifeng, H. Shuguang. Mechanical and dynamic properties of high strength concrete modified with lightweight aggregates presaturated polymer emulsion. *Construction and Building Materials*. 2015, 93 (1), 1151–1156. (в международном журнале)
14. Yu.D. Chistov, A.S. Tarasov. Development of multi-mineral binders. *Russian Chemical Journal*. 2003, 4 (1), 12–17. (в международном журнале)
15. Гуляев В.Т., Ганик С.В. Влияние качества песка на свойства пенобетона. *Вологдинские чтения*. 2012, 80, 35-36. (в русскоязычном журнале)
16. Ружинский С., Портник А., Савиных А. Все о пенобетоне. Спб.: Строй-Бетон, 2006. 632с.
17. Баженов Ю.М. Технология бетона: учеб. Пособие. М.: Стройиздат, 1987. 209 с.

References:

1. Liu J, Ge T, Wu Y, Chen R. Effect of Sand-to-Cement Ratio on Mechanical Properties of Foam Concrete. *Buildings*. 2022; 12(11):1969. <https://doi.org/10.3390/buildings12111969> (in Eng.)
2. Liu J, Ren Y, Chen R, Wu Y, Lei W. The Effect of Pore Structure on Impact Behavior of Concrete Hollow Brick, Autoclaved Aerated Concrete and Foamed Concrete. *Materials*. 2022; 15(12):4075. <https://doi.org/10.3390/ma15124075> (in Eng.)
3. Gencel O, Nodehi M, Hekimoğlu G, Ustaoglu A, Sari A, Kaplan G, Bayraktar OY, Sutcu M, Ozbakkaloglu T. Foam Concrete Produced with Recycled Concrete Powder and Phase Change Materials. *Sustainability*. 2022; 14(12):7458. <https://doi.org/10.3390/su14127458> (in Eng.)
4. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan. Gosudarstvennaya programma zhilishchno-kommunal'nogo razvitiya «Nұrly-ZHer» na 2020-2025 gody [State Program of Housing and Communal Development "Nurly-Zher" for 2020-2025]: utv. 31 dekabrya 2019 goda, №1054 // <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1900001054>. (in Russ.)
5. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan. Gosudarstvennaya programma infrastruktturnogo razvitiya «Nұrly-ZHol» na 2015-2019 gody [State Program of Infrastructural Development «Nurly Zhol» for 2015-2019]: utv. 30 iyulya 2018 goda, № 470 // <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1800000470>. (in Russ.)
6. Ukaz Prezidenta Respubliki Kazakhstan. Gosudarstvennaya programma industrial'no-innovacionnogo razvitiya Respubliki Kazakhstan na 2015-2019 gody [State Program of Industrial and Innovative Development of the Republic of Kazakhstan for 2015-2019]: utv. 1 avgusta 2014 goda, № 874 // <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U1400000874>. (in Russ.)
7. Fu, Y., Wang, X., Wang, L., Li, Y. Foam Concrete: A State-of-the-Art and State-of-the-Practice Review. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2020. 2020. Pp. 1–25. DOI: 10.1155/2020/6153602 (in Eng.)
8. Gołaszewski J, Klemczak B, Smolana A, Gołaszewska M, Cygan G, Mankel C, Peralta I, Röser F, Koenders EAB. Effect of Foaming Agent, Binder and Density on the Compressive Strength and Thermal Conductivity of Ultra-Light Foam Concrete. *Buildings*. 2022; 12(8):1176. <https://doi.org/10.3390/buildings12081176> (in Eng.)
9. Zhongwei Liu, Kang Zhao, Chi Hu, Yufei Tang, "Effect of Water-Cement Ratio on Pore Structure and Strength of Foam Concrete", *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2016, Article ID 9520294, 9 pages, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/9520294> (in Eng.)
10. Fu, Y., Wang, X., Wang, L., Li, Y. Foam Concrete: A State-of-the-Art and State-of-the-Practice Review. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2020. 2020. Pp. 1–25. DOI: 10.1155/2020/6153602 (in Eng.)
11. N.Z. Muhammad, A. Keyvanfar, M.Z. Abd. Majid, A. Shafaghat, J. Mirza. Waterproof performance of concrete: A critical review on implemented approaches. *Construction and Building Materials*. 2015, 101 (1), 80–90. (in Eng.)

12. Plank, E. Sakai, C.W. Miao, C. Yu, J.X. Hong. Chemical admixtures-Chemistry, applications and their impact on concrete microstructure and durability. *Cement and Concrete Research*. 2015, 78 (1), 81–99. (in Eng.)
13. Y. Tian, S. Shuaifeng, H. Shuguang. Mechanical and dynamic properties of high strength concrete modified with lightweight aggregates presaturated polymer emulsion. *Construction and Building Materials*. 2015, 93 (1), 1151–1156(in Eng.)
14. Yu.D. Chistov, A.S. Tarasov. Development of multi-mineral binders. *Russian Chemical Journal*. 2003, 4 (1), 12–17. (in Eng.)
15. Gulyaev V.T., Ganik S.V. Vliyanie kachestva peska na svoystva penobetona [The influence of sand quality on the properties of foam concrete]. *Vologdinskije chteniya = Vologda Readings*. 2012, 80, 35-36. (in Russ.)
16. Ruzhinskij S., Portik A., Savinyh A (2006). Vse o penobetone [All about foam concrete] - Spb.: Stroj-Beton, 632. (in Russ.)
17. Bazhenov YU.M (1987). Tekhnologiya betona [Concrete Technology] ucheb. Posobie. - M.: Strojizdat, 209. (in Russ.)

**Р.Е. Лукпанов¹, Д.С. Дюсембинов¹, А.Д. Алтынбекова^{1,2,*},
С.Б. Енкебаев, Ж.Б. Жантлесова^{1,2}**

¹ЖШС «Solid Research Group», Астана, Қазақстан

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Авторлар туралы ақпарат:

Лукпанов Рауан Ермагамбетович – PhD, қауымдастырылған профессор, ғылыми жетекші, ЖШС «Solid Research Group», Астана, Қазақстан

<http://orcid.org/0000-0003-0085-9934>, e-mail: raуan_82@mail.ru

Дюсембинов Думан Серикович – т.ғ.к., доцент, аға ғылыми қызметкер, ЖШС «Solid Research Group», Астана, Қазақстан

<http://orcid.org/0000-0001-6118-5238>, e-mail: dusembinov@mail.ru

Алтынбекова Алия Досжанкызы – PhD докторант, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-1010-9328>, e-mail: kleo-14@mail.ru

Енкебаев Серик Бейсенғалиевич – т.ғ.к., доцент, аға ғылыми қызметкер, ЖШС «Solid Research Group», Астана, Қазақстан

<http://orcid.org/0000-0002-5984-9346>, e-mail: yenkebayev-serik@mail.ru

Жантлесова Жибек Бейсембаевна – PhD докторант, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

<http://orcid.org/0000-0002-2010-3715>, e-mail: zhibek81@mail.ru

КӨБІКТІ БЕТОН ӨНДІРІСІ ҮШІН ҚОЛДАНЫЛАТЫН ҚҰМ МЕН ЦЕМЕНТТІҢ ФИЗИКА-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Андатпа. Мақалада құм мен цементтің қасиеттерін тәжірибелік зерттеулердің нәтижелері берілген. Физика-механикалық көрсеткіштері бойынша әртүрлі өндірушілердің цементтеріне салыстырмалы зерттеу жүргізілді, сонымен қатар Ақмола облысындағы карьер құмын өндіретін учаскелер талданып, физика-механикалық көрсеткіштері бойынша сипаттамалары берілді. Портландцементтердің физика-механикалық сипаттамаларын бағалау үш түрі бойынша жүргізілді. Негізгі бағалау параметрлері: қату уақыты, қысу және иілу күші. Жүргізілген зерттеулер физика-механикалық көрсеткіштері бойынша Елтоқ кен орнындағы құмды (1 типті) көбікті бетон өндірісінде құрылыс мақсатында пайдалануға болатынын көрсетті. Портландцементтердің қату уақыттары мен беріктік қасиеттерін салыстырмалы талдау бетонның беріктігінің даму кинетикасына ең жақсы әсер ететін Көкше-цементтің (3 типті) екенін көрсетеді. Параметрлер негізінде, сонымен

қатар олардың бетонның физика-механикалық қасиеттеріне тиімділігін ескере отырып, одан әрі зерттеу үшін 3 типті құрам таңдалды. Қасиеттерді зерттеу нәтижесінде құмдар мен цементтердің көбікті бетон өндірісінде қолайлы екендігі көрсетілді.

Түйін сөздер: цемент, құм, көбікті бетон, физика-механикалық көрсеткіштері, гранулометриялық құрамы.

**R.E. Lukpanov¹, D.S. Dyusembinov¹, A.D. Altynbekova^{1,2,*},
S.B. Yenkebayev¹, Zh.B. Zhantlesova^{1,2}**

¹LLP «Solid Research Group», Astana, Kazakhstan

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Information about authors:

Lukpanov Rauan Ermagambetovich – PhD, associated professor, scientific supervisor, LLP «Solid Research Group», Astana, Kazakhstan

<http://orcid.org/0000-0003-0085-9934>, e-mail: rauan_82@mail.ru

Dyusembinov Duman Serikovich – Cand. Sc. (Technology), associated professor, senior researcher, LLP «Solid Research Group», Astana, Kazakhstan

<http://orcid.org/0000-0001-6118-5238>, e-mail: dusembinov@mail.ru

Altynbekova Aliya Doszhankyzy – Doctoral student, Department of Technology of Industrial and Civil Construction, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-1010-9328>, e-mail: kleo-14@mail.ru

Yenkebayev Serik Beisengalieovich – Cand. Sc. (Technology), associate professor, senior researcher, LLP «Solid Research Group», Astana, Kazakhstan

<http://orcid.org/0000-0002-5984-9346>, e-mail: yenkebayev-serik@mail.ru

Zhantlesova Zhibek Beisembayevna – Doctoral student, Department of Technology of Industrial and Civil Construction, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

<http://orcid.org/0000-0002-2010-3715>, e-mail: zhibek81@mail.ru

RESEARCH PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SAND AND CEMENT FOR FOAM CONCRETE PRODUCTION

Abstract. The article presents the results of experimental studies of the properties of sand and cement. A comparative study of cements from different manufacturers for physical and mechanical characteristics, as well as analyzed the mining sites of quarry sand in Akmola region and their characteristics on the physical and mechanical properties. Evaluation of the physical and mechanical characteristics of Portland cement was made for the three types. The main evaluation parameters were: setting time, compressive and flexural strength. Performed studies have shown that the sand deposits «Eltok» (Type 1) on the physical and mechanical properties can be used for building purposes in the production of foamed concrete. A comparative analysis of the data setting time and strength properties of Portland cement shows that the most positive effect on the kinetics of concrete strength has «Kokshe-Cement» (Type 3). Based on the parameters, as well as taking into account their effectiveness on the physical and mechanical properties of concrete for further studies, the composition of Type 3 was chosen. As a result of the study of properties it is shown that the sands and cements are suitable for use in the foam concrete production.

Keywords: cement, sand, foam concrete, physical and mechanical properties, granulometric composition.