

Анализ эффективности использования доменного шлака в качестве компонента композиционного вяжущего для полистиролбетона

¹РАХИМОВ Мурат Аманжолович, к.т.н., доцент, m.rakhimov@kstu.kz,

¹РАХИМОВА Галия Мухамедиевна, к.т.н., доцент, g.rakhimova@kstu.kz,

^{1*}САМОЙЛОВА Татьяна Юрьевна, докторант, tanya.fedulova.18@mail.ru,

²ЖУМАГУЛОВА Адия Аскарровна, к.т.н., доцент, zaaskarovna@gmail.com,

¹РАХИМОВА Жанара Байболсыновна, магистр, преподаватель, zhanara.rakhimova.87@mail.ru,

¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Казахстан, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

²НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Казахстан, Астана, ул. Сатпаева, 2,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Приведены результаты исследования химико-минералогического состава доменного шлака и его влияние на свойства легкого бетона. В работе применялись стандартные методики и методы исследования для определения химико-минералогического состава. Выполненные исследования позволило установить влияние доменного шлака на прочностные и деформативные показатели легкого бетона, а также пригодность применения шлаков для композиционного вяжущего. Введение разрабатываемого состава позволяет получить экономическую и экологическую выгоду. Проведенные исследования показали возможность использования доменного шлака для композиционного вяжущего и его соответствие нормативной документации.

Ключевые слова: бетон, полистиролбетон, энергоэффективный материал, композиционное вяжущее, химическая добавка, теплопроводность, прочность.

Введение

В условиях развития строительной отрасли по всему миру остро встал вопрос об увеличении уровня потребляемой зданиями энергии. Около 35% всей энергии и средств расходуется на теплоизоляцию зданий и сооружений. В связи с этим встает вопрос о возможных путях снижения затрат на возведение зданий и сооружений с сохранением требуемого качества и норм. Однако возведение зданий с массивными стенами не является экономически и архитектурно выгодным решением.

Легкий пористый бетон в настоящее время является наиболее востребованным материалом с точки зрения тепло- и звукоизоляции зданий и сооружений. Огромное количество работ посвящено исследованию легкого бетона на основе легких заполнителей, таких как аглопорит, перлит, керамзит, шлаковая пемза. Однако недостаточно количество внимания уделено такому заполнителю, как полистирол.

Для снижения передаваемого количества тепла от помещения во внешнюю среду и повыше-

ния теплоизоляционных свойств конструкций выгодным решением является создание стеновых панелей с теплоизоляционным слоем из высокопоризованного легкого бетона. Такой бетон не проводит тепло за счет большого количества пор. При использовании какого-либо материала для строительной индустрии необходимо изучить его свойства и их влияние на конструкцию в целом. Из-за его низкой плотности, которая дает огромные преимущества за счет уменьшения поперечных сечений компонентов, растет спрос на полистирол во многих современных архитектурных сооружениях. Существует две категории легких заполнителей: природные, такие как диатомит, вулканическая зола и т.д., и промышленные, такие как вспученный сланец, глина и шифер. Полистирол – промышленный материал с плотностью менее 300 кг/м³ и отсутствием абсорбционных свойств. Бетон на основе полистирола можно использовать для всех частей здания (конструктивных и неструктурных) в качестве очень легкого материала, изменяя процентное соотношение его заполнителей. С изменением соотношения поли-

стирола в бетоне изменяется и его назначение. В отличие от легких промышленных заполнителей, полистирол доступен в продаже повсеместно.

Несмотря на то, что исследованию полистиролбетона посвящено огромное количество статей, монографий и различных пособий, его свойства изучены неостаточно. Например, авторы [1] изучили сравнительные характеристики обычного бетона и полистиролбетона. На основании сделанных ими выводов, стоит сказать, что по коррозионной стойкости полистиролбетон значительно превосходит обычный бетон.

Проведя анализ существующих решений в данной области, стало ясным, что использование гранул полистирола для легкого бетона является лучшим из них по ряду причин:

- во-первых, гранулы полистирола имеют очень низкий вес и пустотность, благодаря которой в бетоне будет еще больше пор, а значит, и теплоизоляционные свойства будут выше;

- во-вторых, полистирол является отходом промышленности, а значит, и стоимость на изделия с его составом будут ниже;

- в-третьих, если это отходы промышленности, тогда стоит говорить о благоприятном воздействии на экологию.

Принципиальное отличие полистиролбетона от его ближайшего по схожим свойствам материала – ячеистого бетона заключается в повышенной прочности на растяжение и на сжатие (в среднем около 12% выше), а также большей стойкостью к влаге и пару.

Для строительства пенополистиролбетон применяется как сверхлегкий искусственный бетон. Сам полистирол является выгодным для строительной отрасли материалом. Кроме того, у полистирола закрытая ячеистая структура, что делает его благоприятным для получения необходимой консистенции без увеличения водопотребности бетонной смеси. Учитывая постоянное повышение требований к системе теплоизоляции зданий и сооружений, целесообразным будет реализация новых материалов и изделий, а также совершенствование и развитие уже существующих материалов и технологий. Полистиролбетон, о котором идет речь, отвечает предъявляемым на сегодняшний день требованиям к теплоизоляционным материалам.

При таком количестве положительных сторон, у полистиролбетона есть и недостатки, а именно невысокая прочность и усадка. Такого рода недостатки можно максимально снизить при помощи добавок и правильной технологии изготовления [2]. Для решения данной проблемы проводился ряд исследований: изучение влияния различных добавок на свойства полистиролбетона, влияние использования модифицированных цементов, а также различной фракции заполнителя.

Одной из важнейших проблем полистиролбетонной смеси является ее расслаивание вследствие разной массы входящих в нее компонентов,

а также слабым сцеплением полистирольных гранул с цементной матрицей. Такая проблема вдохновила казахстанских ученых [3] на создание комплексной добавки. В составе комплексной модифицирующей добавки использовались: суперпластификатор, гидрофобизатор, а также ускоритель твердения. В результате исследования удалось получить комплексную добавку, которая позволяет увеличить прочность на сжатие полистиролбетона на 20-30%, и наряду с этим увеличивает его теплопроводность и морозостойкость.

Проблему прочности полистиролбетона решали в своих исследованиях ученые, которые улучшили прочностные и антикоррозионные свойства бетона путем добавления в его состав гранитной пыли.

Ученые считают, что при добавлении стекловолокна в состав полистиролбетона увеличиваются его прочность на растяжение и сжатие, потому как отрицательным качеством легкого бетона являются его низкая прочность и усадка.

Введение в легкий бетон таких компонентов, как пеностекло и пенополистирол, позволяют значительно снизить теплопроводность с незначительным снижением прочности на изгиб и на сжатие или без него. В ходе исследования оценивались плотность легкого бетона, теплопроводность, прочность на сжатие, изгиб, водопоглощение, деформации, структура композита, морозостойкость. Изменив количество портландцемента и заменив часть пеностекла на пенополистирол, удалось снизить теплопроводность с 0,0977 до 0,0720 Вт/(мК).

Присутствие пенополистирола не ухудшало прочность на сжатие и изгиб или долговременное водопоглощение легкого бетона. Влияние количества пористых заполнителей и портландцемента на устойчивость к замерзанию и оттаиванию исследовали двумя методами. В одном случае морозостойкость исследовали методом одностороннего замораживания структурных показателей ЛВК, а в другом – морозостойкость определяли по снижению прочности на сжатие после 25, 100 и 200 циклов замораживания-оттаивания. За счет модификации конструкции пенополистиролом была увеличена долговечность изделий из ЛВК и уменьшены деформации.

Штрепи и др. [4] исследовали звукопоглощение легкого бетона и обнаружили, что эти материалы также полезны для эффективного практического применения в помещениях и на открытом воздухе. Бетон с легким заполнителем широко используется в специальных проектах или сооружениях, поскольку он легкий, морозостойкий, трещиностойкий, сейсмостойкий, а также обладает свойствами рассеивания и поглощения энергии [5].

Был исследован композиционный материал из отходов пенополистирола, портландцемента и различных добавок. Плотность полученного материала составляла 150-350 кг/м³. Автор установил,

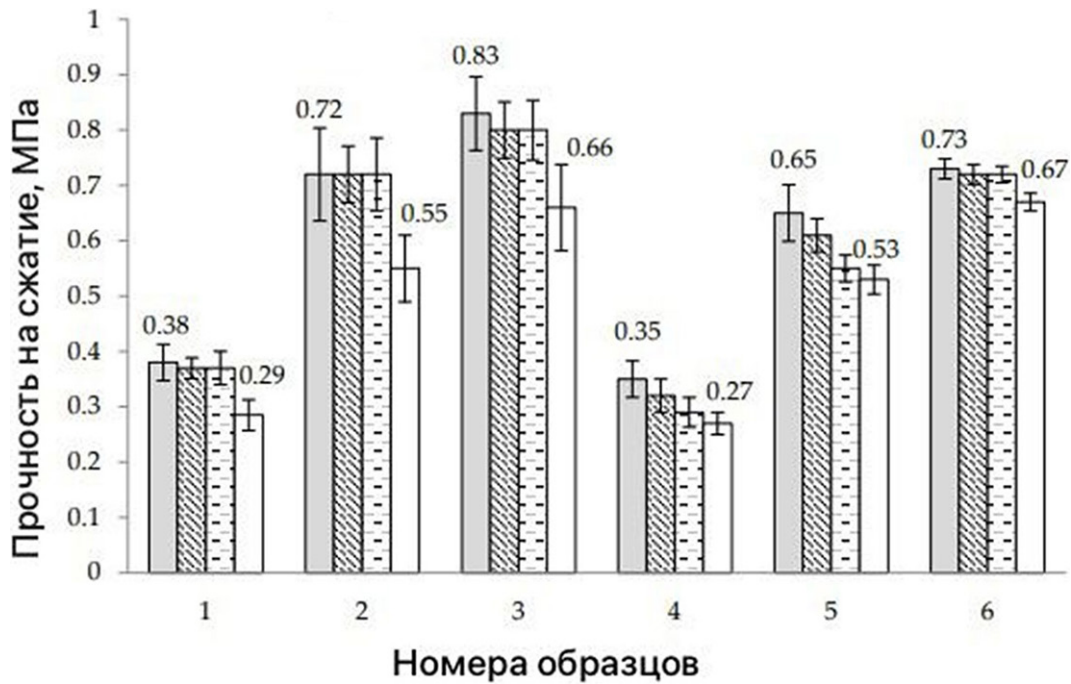


Рисунок 1 – Испытания образцов кубов на прочность на сжатие с разной дозировкой заполнителей (1, 2, 3 – с пеностеклом; 4, 5, 6 – с пеностеклом и полистиролом)

что прочность на сжатие такого композиционного материала невысока (0,05-0,42 МПа), но снижение плотности и прочности на сжатие позволило получить низкий коэффициент теплопроводности в пределах 0,0493-0,0955 Вт/(мК). Ученые провели испытания образцов ячеистого бетона с использованием гранул пенополистирола. Они обнаружили, что замена песка гранулами пенополистирола в ячеистом бетоне снижает прочность на сжатие на 47,2%. Авторы использовали 1,54-1,65 кг пенополистирольных шариков на 1 м³ ячеистого бетона.

Ряд авторов подчеркивает, что материалы, содержащие легкий заполнитель, менее устойчивы к морозу, но обладают достаточной морозостойкостью для использования в стеновых конструкциях. Морозостойкость легкого бетона особенно снижается при увеличении количества полистирола и размеров самих заполнителей.

Также стоит отметить, что морозостойкость легкого бетона в основном определяется пористостью изделия. Устойчивость бетона к замерзанию определяется не только системой воздушных промежутков в изделии, но и связями между заполнителем и матрицей. Для повышения морозостойкости материалов, содержащих легкий заполнитель, не нужно увеличивать плотность (как в случае тяжелого бетона), а нужно либо уменьшать открытую пористость, либо увеличивать плотность цементного камня. Достаточная морозостойкость достигается применением пористого заполнителя или применением воздухововлекающей добавки в цементный камень. Морозостойкость этих материалов можно повысить за счет

использования гидрофобных добавок.

Экономическая составляющая производства бетона подталкивает ученых и производителей применять разного рода отходы или избыточные материалы в состав бетона с целью снижения его себестоимости. Применение отходов промышленности в производство полистиролбетона подразумевает двойную выгоду: экономическую и экологическую. В зарубежных странах заполнителями для бетона служат избыточные отходы, приходящие для той или иной страны.

Учеными [6] было также доказано положительное влияние золы-уноса с Астанинской ТЭЦ на свойства цементной матрицы. Установлено, что использование гранул золы-уноса различной фракции оказывает положительное влияние на реологические свойства полистиролбетона за счет уменьшения его вязкости, а также наличие гранул полистирола разной фракции оказывает положительное влияние на свойства легкого бетона.

Также в исследовании [7] показано благоприятное влияние золы-уноса, собранной мокрым способом, в стойкости бетона к сульфатной агрессии.

В качестве заполнителей для легкого бетона применяются также и заполнители растительного происхождения, а именно с гранулами кукурузных початков и подсолнечника. Наряду с низкой плотностью такого бетона, была выявлена и его низкая прочность. Это объясняется высокой водопоглощающей способностью таких заполнителей. Однако при сравнении этих двух заполнителей, бетон с использованием гранул подсолнечника показал более высокие прочностные

свойства [8].

Доказана целесообразность применения отходов производства как экономически и экологически выгодное решение. Многие исследования посвящены применению зол и шлаков в производстве строительных конструкций [9-12].

Известно, что на одну тонну портландцемента приходится выброс 0,96 тонны CO_2 , а бетона – 0,108 тонн CO_2 . Исходя из статистики специалистов, в среднем около 8% выбросов парниковых газов приходится на бетонные сооружения.

Устойчивое развитие предполагает повторное использование отходов промышленности в строительной отрасли. Гранулы полистирола используются в качестве упаковочного материала и являются отходом промышленности. Использование этих гранул для изготовления легкого бетона является экологически верным решением, поскольку гранулы полистирола не склонны к биологическому разложению.

Поскольку Казахстан уделяет должное внимание экологическим аспектам как строительства, так и других отраслей, верным решением будет создание композиционного вяжущего на основе портландцемента и шлаков. Исследования будут проводиться для выявления наиболее оптимального состава вяжущего для изготовления стеновых панелей с отсылкой на экономическую, экологическую и механическую выгоду. Ограниченный запас сырья также диктует свои регламенты по его использованию.

С возникновением ТЭЦ встал вопрос изучения и использования шлаков, которые образуются в процессе производства. Поскольку больше 50% всех затрат на строительство приходится на материалы, частичная или полная замена материалов отходами производства становится более актуальной. Важной составляющей применения шлаков является охрана окружающей среды. Запасы природного сырья постепенно уменьшаются, а их качество становится хуже, в то время как число отходов от производства только растет.

Применение шлака в качестве композиционного материала к вяжущему имеет ряд особенностей:

- используется для строительства массивных сооружений, однако в условиях зимнего бетонирования с применением шлаковых вяжущих рекомендуется прогревание;
- увеличивает сроки начала и окончания схватывания, что, в свою очередь, ведет к сохранению удобоукладываемости бетонной смеси;
- увеличивает стойкость к воздействию агрессивных сред (стойкость к сульфатной агрессии, щелочам, кислотостойкость и т.д.);
- увеличивает морозостойкость и водонепроницаемость изделий.

Морозостойкость бетонов на таком композиционном вяжущем объясняется снижением капиллярных пор, а также увеличением содержания низкоосновных гидросиликатов кальция.

Таким образом, нами планируется создание композиционного вяжущего как основа для полистиролбетона с целью удешевления производства, а также сохранения природных ресурсов и утилизации отходов промышленности.

Применение шлаков в строительной индустрии описано в трудах многих казахстанских и зарубежных ученых.

Морозостойкость структур цементного камня в возрасте 28 суток в условиях нормального твердения достигается только при условии, что величина удельной поверхности шлака ниже $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ либо ее содержание по массе вяжущего будет более 70%. На морозостойкость бетонов на композиционном шлаковом вяжущем также влияют условия твердения. Так, в условиях ТВО (теплолажностной обработки) бетон характеризуется более высокой морозостойкостью, чем тот же бетон в условиях нормального твердения.

Вяжущие и гидратационные свойства шлаков напрямую зависят от его химико-минералогического состава, микропримесей в его составе, а также режима охлаждения шлакового расплава. Наибольшее влияние на свойства доменного шлака оказывает степень содержания в нем оксида алюминия, а также наличие кислых или основных оксидов. Так, степень гидратации кислого шлака в несколько раз меньше гидратации основных шлаков, а это в свою очередь ухудшает физико-механические свойства бетона.

Микроструктура камня из цемента со шлаковым вяжущем аналогична микроструктуре камня из обычного портландцемента, различие заключается в меньшем содержании гидроксида кальция в первом.

Методы исследования и оборудование

В исследовании использовались сертификационные испытания химико-минералогического состава доменного шлака [13, 14]. Проба доменного шлака отобрана с залежей отходов производства ТОО «Arcelor Mittal» в г. Темиртау.

Применяемый метод заключается в разности масс исследуемого оксида до и после прокаливании в муфельной печи. Для этого навеску массой

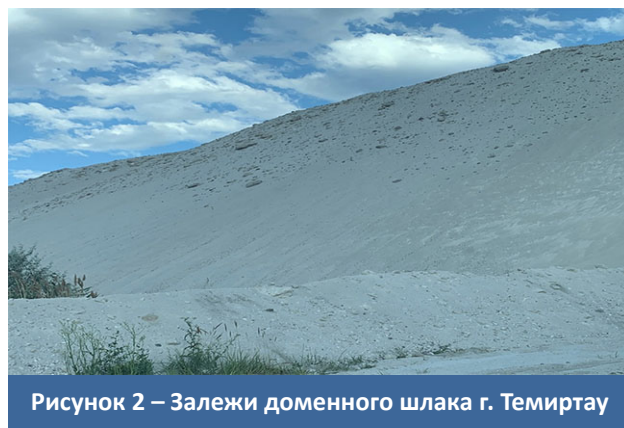


Рисунок 2 – Залежи доменного шлака г. Темиртау

0,5 г заключают в платиновый тигель, опрыскивают водой и добавляют определенное количество капель раствора H_2SO_4 и HF , после чего помещают в теплое место со слабым нагревом (песчаную баню), затем выпаривают содержимое и повторно добавляют HF и выпаривают досуха. Остаток, прокаленный в муфельной печи, охлаждают, взвешивают и с помощью формулы вычисляют содержание оксида.

Результаты исследования

Согласно проведенным методам по исследованию химико-минералогического состава доменного шлака, получены результаты (см. таблицу).

Выводы

Результаты исследования доказали, что доменный шлак ТОО «Arcelor Mittal» в г. Темиртау подходит для включения его в состав композици-

онного вяжущего, поскольку его химико-минералогический состав соответствует нормативным документам.

В перспективе исследования будут использованы добавки для предотвращения вышеуказанных проблем, а именно суперпластификатор, воздухововлекающая и водоредуцирующая добавки, стандартные компоненты легкого бетона (цемент, песок, вода, гипс, шлак и гранулы полистирола).

Наличие в бетоне воздухововлекающей добавки снижает коэффициент теплопроводности бетона примерно на 20%. Это происходит за счет меньшего диаметра образовавшихся пор в сравнении с диаметром пор, в которых находятся гранулы полистирола. Для предотвращения снижения прочностных показателей готовых изделий предполагается использование водоредуцирующей добавки, которая позволит сохранить его деформативные показатели.

Химико-минералогический состав доменного шлака			
Наименование показателя	Обозначение НД на методы испытаний	Требования НД	Фактически полученные результаты
1 Влажность, %	ГОСТ 3476	-	9,27
2 Массовая доля, %	ГОСТ 5382		
2.1 Al_2O_3			13,95
2.2 MgO		15,0, не более	9,45
2.3 TiO_2		4,0, не более	0,57
2.4 CaO		-	
2.5 SiO_2		-	
2.6 MnO		2,0, не более	0,8
3 Коэффициент качества	ГОСТ 3476	Не менее 1,65, 1 сорт	1,68
4 Содержание иона Cl^- , %	ГОСТ 3476	Не более 0,1	0,038

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мальдонадо-Бандала, ЕЕ; Ньевес-Мендоса, Д.; Ромеро-Лопес, Р.; Тобиас-Харамильо, Р.; Альмерая-Кальдерон, Ф.; Барриос-Дурстевич, СР; Нуньес Хакес Р.Э. Электрохимические и механические свойства легких бетонных блоков с пенополистиролом // Междунар. Дж. Электрохим. Sci 2015, 10, 472-485.
2. Рахимов М.А., Сулеймбекова З.А. Исследование подвижности цементно-зольных паст с гиперпластификаторами // Республиканский журнал «Труды университета». Караганда, 2020. № 2 (79). С. 110-114.
3. Ткач Е.В., Рахимов М.А., Рахимова Г.М., Мудренко В.В. Исследование влияния комплексного модификатора на физико-механические свойства полистиролбетона // Республиканский журнал «Труды университета». Караганда, 2022. № 1 (70). С. 167-169.
4. Shtrepi, L.; Astolfi, A.; Badino, E.; Volpatti, G.; Zampini, D. More Than Just Concrete: Acoustically Efficient Porous Concrete with Different Aggregate Shape and Gradation. Appl. Sci. 2021, 11, 4835.
5. Yang, K.-H.; Kim, H.-Y.; Lee, H.-J. Mechanical Properties of Lightweight Aggregate Concrete Reinforced with Various Steel Fibers. Int. J. Concr. Struct. Mater. 2022, 16, 48.
6. Niyazbekova R., Mukhambetov G., Tlegenov R., Aldabergenova S., Shansharova L., Mikhhalchenko V and Bembenek M. The Influence of Addition of Fly Ash from Astana Heat and Power Plants on the Properties of the Polystyrene Concrete. Energies 2023, 16, 4092.
7. Diaconu, L.I.; Rujanu, M.; Diaconu, A.C.; Serbanoiu, A.A.; Babor, D.; Plian, D. Improvement of the concrete behaviour to sulphate corrosion using fly ash admixture collected by wet process. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2020, 789, 012018.
8. Grădinaru, C.M.; Muntean, R.; Serbanoiu, A.A.; Ciocan, V.; Burlacu, A. Sustainable Development of Human Society in Terms of Natural Depleting Resources Preservation Using Natural Renewable Raw Materials in a Novel Ecological Material Production. Sustainability 2020, 12, 2651.

9. Рахимов М.А., Рахимов А.М. Модифицированный легкий бетон на стекловидном заполнителе из отходов промышленности // Республиканский журнал «Труды университета». Караганда, 2019. № 2 (75). С. 90-94.
10. Станевич В.Т., Столбоушкин А.Ю., Рахимова Г.М., Вышарь О.В., Рахимов М.А. Экологические аспекты использования вскрышных пород угледобычи в производстве строительной керамики // В сборнике: Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России: Труды III всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Новокузнецк, 2022. С. 212-216.
11. Rakhimov M., Rakhimova G., Tkach E., Assan A. Determining the difference between three different seismic modular methods // Республиканский журнал «Труды университета». Караганда, 2021. № 4 (85). С. 203-211.
12. Байджанов Д.О., Рахимов М.А., Рахимов А.М. Технология получения пеностеклокристаллических теплоизоляционных материалов на основе отходов промышленности // Республиканский журнал «Труды университета». Караганда, 2017. № 4 (69). С. 73-76.
13. ГОСТ 3476-2019 Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цемента.
14. ГОСТ 5382-2019 Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа.

Домна қожын полистирол бетонға арналған композициялық байланыстырғыштың құрамдас бөлігі ретінде пайдалану тиімділігін талдау

¹**РАХИМОВ Мурат Аманжолович**, т.ғ.к., доцент, m.rakhimov@kstu.kz,

¹**РАХИМОВА Галия Мухамедиевна**, т.ғ.к., доцент, g.rakhimova@kstu.kz,

¹***САМОЙЛОВА Татьяна Юрьевна**, докторант, tanya.fedulova.18@mail.ru,

²**ЖУМАГУЛОВА Адия Аскарровна**, т.ғ.к., доцент, zaaskarovna@gmail.com,

¹**РАХИМОВА Жанара Байболсыновна**, магистр, оқытушы, zhanara.rahimova.87@mail.ru,

¹«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

²«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Астана, Сәтпаев көшесі, 2,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Домна шлактарының химиялық және минералогиялық құрамын, және оның жеңіл бетонның қасиеттеріне әсерін зерттеу нәтижелері берілген. Жұмыста химиялық және минералогиялық құрамын анықтау үшін стандартты әдістер мен зерттеу әдістері қолданылды. Жүргізілген зерттеулер жеңіл бетонның беріктігі мен деформациялық қасиеттеріне домна қожының әсерін, сондай-ақ композиттік байланыстырғыштар үшін қожды қолданудың жарамдылығын анықтауға мүмкіндік берді. Жүргізілген зерттеулер композиттік байланыстырғыштар үшін домна қожын пайдалану мүмкіндігін және оның нормативтік құжаттамаға сәйкестігін көрсетті.

Кілт сөздер: бетон, полистирол бетон, энергия үнемдейтін материал, композит байланыстырғыш, химиялық қоспа, жылу өткізгіштік, беріктік, шлак.

Analysis of the Effectiveness of Using Blast Furnace Slag as a Component of a Composite Binder for Polystyrene Concrete

¹**RAKHIMOV Murat**, Cand. of Tech. Sci., Docent, m.rakhimov@kstu.kz,

¹**RAKHIMOVA Galiya**, Cand. of Tech. Sci., Docent, g.rakhimova@kstu.kz,

¹***SAMOILOVA Tatyana**, Doctoral Student, tanya.fedulova.18@mail.ru,

²**ZHUMAGULOVA Adiya**, Cand. of Tech. Sci., Docent, zaaskarovna@gmail.com,

¹**RAKHIMOVA Zhanara**, Master, Teacher, zhanara.rahimova.87@mail.ru,

¹NPJSC «Abylqas Saginov Karaganda Technical University», Kazakhstan, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

²NPJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Kazakhstan, Astana, Satpayev Street, 2,

*corresponding author.

Abstract. The results of a study of the chemical and mineralogical composition of blast furnace slag and its effect on the properties of lightweight concrete are presented. The work used standard techniques and research methods to determine the chemical and mineralogical composition. The studies carried out made it possible to establish the influence of blast furnace slag on the strength and deformation properties of lightweight concrete, as well as to establish the suitability of using slag for composite binders. The introduction of the developed composition allows for economic and environmental benefits. The conducted studies showed the possibility of using blast furnace slag for composite binders and its compliance with regulatory documentation.

Keywords: concrete, polystyrene concrete, energy-efficient material, composite binder, chemical additive, thermal conductivity, strength.

REFERENCES

1. Maldonado-Bandala, EE; Neves-Mendosa, D.; Romero-Lopes, R.; Tobias-Haramilo, R.; Almeraya-Kalderon, F.; Barrios-Durstevis, CP; Nunes Hakes R.E. Elektrohimicheskie i mehanicheskie svoystva legkih betonnykh blokov s penopolistirolokom // Mezhdunar. Dzh. Elektrohim. Sci 2015, 10, 472-485.
2. Rahimov M.A., Suleymbekova Z.A. Issledovanie podvizhnosti tsementno-zolnykh past s giperplastifikatorami // Respublikanskiy zhurnal «Trudy universiteta». Karaganda, 2020. No. 2 (79). Pp. 110-114.
3. Tkach E.V., Rahimov M.A., Rahimova G.M., Mudrenko V.V. Issledovanie vliyaniya kompleksnogo modifikatora na fiziko-mechanicheskie svoystva polistirolobetona // Respublikanskiy zhurnal «Trudy universiteta». Karaganda, 2022. No. 1 (70). Pp. 167-169.
4. Shtrepi, L.; Astolfi, A.; Badino, E.; Volpatti, G.; Zampini, D. More Than Just Concrete: Acoustically Efficient Porous Concrete with Different Aggregate Shape and Gradation. Appl. Sci. 2021, 11, 4835.
5. Yang, K.-H.; Kim, H.-Y.; Lee, H.-J. Mechanical Properties of Lightweight Aggregate Concrete Reinforced with Various Steel Fibers. Int. J. Concr. Struct. Mater. 2022, 16, 48.
6. Niyazbekova R., Mukhambetov G., Tlegenov R., Aldabergenova S., Shansharova L., Mikhhalchenko V and Bembenek M. The Influence of Addition of Fly Ash from Astana Heat and Power Plants on the Properties of the Polystyrene Concrete. Energies 2023, 16, 4092.
7. Diaconu, L.I.; Rujanu, M.; Diaconu, A.C.; Serbanoiu, A.A.; Babor, D.; Plian, D. Improvement of the concrete behaviour to sulphate corrosion using fly ash admixture collected by wet process. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2020, 789, 012018.
8. Grădinaru, C.M.; Muntean, R.; Serbanoiu, A.A.; Ciocan, V.; Burlacu, A. Sustainable Development of Human Society in Terms of Natural Depleting Resources Preservation Using Natural Renewable Raw Materials in a Novel Ecological Material Production. Sustainability 2020, 12, 2651.
9. Rahimov M.A., Rahimov A.M. Modifitsirovannyiy legkiy beton na steklovidnom zapolnitele iz othodov promyshlennosti // Respublikanskiy zhurnal «Trudy universiteta». Karaganda, 2019. No. 2 (75). Pp. 90-94.
10. Stanevich V.T., Stolboushkin A.Yu., Rahimova G.M., Vyishar O.V., Rahimov M.A. Ekologicheskie aspekty ispolzovaniya vskryishnykh porod ugledobyichi v proizvodstve stroitelnoy keramiki // V sbornike: Aktualnyie voprosyi sovremennogo stroitelstva promyshlennykh regionov Rossii: Trudy III vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnyim uchastiem. Novokuznetsk, 2022. Pp. 212-216.
11. Rakhimov M., Rakhimova G., Tkach E., Assan A. Determining the difference between three different seismic modular methods // Respublikanskiy zhurnal «Trudy universiteta». Karaganda, 2021. No. 4 (85). Pp. 203-211.
12. Baydzhанov D.O., Rahimov M.A., Rahimov A.M. Tehnologiya polucheniya penosteklokristallicheskiy teploizolyatsionnykh materialov na osnove othodov promyshlennosti // Respublikanskiy zhurnal «Trudy universiteta». Karaganda, 2017. No. 4 (69). Pp. 73-76.
13. GOST 3476-2019 Shlaki domennyye i elektrotermofosfornyye granulirovannyye dlya proizvodstva tsementov.
14. GOST 5382-2019 Tsementyi i materialyi tsementnogo proizvodstva. Metodyi himicheskogo analiza.