



СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2025_2_281
MPHTI 67.09.33

Р.Б. Тлегенов¹, Р. К. Ниязбекова², С.С. Алдабергенова³,
А.Е. Джексембаева⁴, М.Д. Конканов⁵

¹Казахский агротехнический исследовательский университет им. Сакена Сейфуллина,
Казахстан, г. Астана

E-mail: tlegenovrassul@gmail.com*

E-mail: rimea.n60@mail.ru

E-mail: ass_1982@mail.ru

²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

E-mail: dzheksembayeva_ae@mail.ru

E-mail: marcon@metrology.kz

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ПОЛИМЕРНОГО БЕТОНА НА ОСНОВЕ ЗАПОЛНИТЕЛЯ ИЗ ЛЕТУЧЕЙ ЗОЛЫ С ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В АСТАНЕ

АСТАНАДАҒЫ ЖЫЛУ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНАН ҰШАТЫН КҮЛ ТОЛТЫРҒЫШЫНЫҢ НЕГІЗІНДЕГІ ПОЛИМЕРЛІ БЕТОННЫҢ ЖЫЛУ ӨТКІЗГІШТІГІ

THERMAL CONDUCTIVITY OF POLYMER CONCRETE BASED ON AGGREGATE FROM FLY ASH FROM THERMAL POWER PLANT IN ASTANA

Аннотация. Включение летучей золы в качестве заполнителя в полимерный бетон позволяет эффективно снизить теплопроводность полимерного бетона, повышая его потенциал в качестве энергоэффективного строительного материала. Такое снижение теплопроводности особенно полезно для тех сфер применения, где требуется изоляция, поскольку модифицированный полимерный бетон может выполнять функцию теплового барьера в крышах, стенах и полах. Полимерный бетон с добавлением летучей золы, благодаря ее изоляционным свойствам, становится пригодным для применения в тех областях, где регулирование температуры и энергосбережение имеют решающее значение. Кроме того, эти результаты подчеркивают потенциал полимерного бетона с летучей золой для удовлетворения растущего спроса на энергоэффективные материалы в строительстве.

Будущие исследования необходимы для изучения влияния различных факторов, таких как тип и гранулометрический состав летучей золы, на теплопроводность полимерного бетона. Кроме того, необходимо изучить пригодность полимерного бетона на основе летучей золы для использования в других конструкциях, например, в мостостроении и инфраструктуре, где требуются высокая долговечность и устойчивость к воздействию факторов окружающей среды. Такие исследования позволят получить полное представление о более широких последствиях использования летучей золы в полимерном бетоне, способствуя развитию устойчивых методов строительства.

Ключевые слова: полимербетон, летучая зола, энергоменеджмент, энергоэффективность, теплопроводность, экологическое преимущество.

Аңдатпа. Күлді полимерлі бетонға агрегат ретінде қосу полимерлі бетонның жылу өткізгіштігін тиімді төмендетіп, оның энергияны үнемдейтін құрылыс материалы ретіндегі әлеуетін арттыра алады. Жылу өткізгіштіктің бұл төмендеуі әсіресе оқшаулауды қажет ететін қолданбалар үшін пайдалы, өйткені модификацияланған полимерлі бетон шатырларда, қабырғаларда және едендерде жылу тосқауылы ретінде әрекет ете алады. Шыбын күлінің оқшаулағыш қасиеттерін пайдалана отырып, полимерлі бетон

температураны бақылау және энергияны үнемдеу өте маңызды қолданбаларға жарамды болады.

Сонымен қатар, бұл нәтижелер құрылыстағы энергияны үнемдейтін материалдарға өсіп келе жатқан сұранысты қанағаттандыру үшін күлді полимерлі бетонның әлеуетін көрсетеді. Шыбын күлінің түрі мен бөлшектерінің мөлшерінің таралуы сияқты әртүрлі факторлардың полимерлі бетонның жылу өткізгіштігіне әсерін зерттеу үшін болашақ зерттеулер қажет. Сонымен қатар, күл негізіндегі полимерлі бетонның жоғары беріктігі мен қоршаған орта факторларына төзімділігі қажет көпір мен инфрақұрылым сияқты басқа құрылымдарда қолдануға жарамдылығын зерттеу қажет. Мұндай зерттеулер тұрақты құрылыс әдістерінің дамуына ықпал ете отырып, полимерлі бетондағы шыбын күлінің кеңірек әсерін жан-жақты түсінуге мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: полимербетон, ұшыа күл, энергия менеджменті, энергия тиімділігі, жылу өткізгіштік, экологиялық артықшылық.

Abstract. Incorporating fly ash as an aggregate in polymer concrete can effectively reduce the thermal conductivity of polymer concrete, increasing its potential as an energy efficient building material. This reduction in thermal conductivity is particularly useful for applications where insulation is required, as the modified polymer concrete can act as a thermal barrier in roofs, walls and floors. By utilising the insulating properties of fly ash, polymer concrete becomes suitable for applications where temperature control and energy conservation are critical.

In addition, these results highlight the potential of fly ash polymer concrete to meet the growing demand for energy efficient materials in construction. Future studies are needed to investigate the effect of various factors, such as type and particle size distribution of fly ash, on the thermal conductivity of polymer concrete. In addition, the suitability of fly ash based polymer concrete for use in other structures such as bridge and infrastructure where high durability and resistance to environmental factors are required needs to be investigated. Such studies will provide a comprehensive understanding of the wider implications of fly ash in polymer concrete, contributing to the development of sustainable construction methods.

Keywords: polymer concrete, fly ash, energy management, energy efficiency, thermal conductivity, environmental benefit.

Введение. Полимербетон – это композитный материал, который изготавливается путем смешивания полимерных смол с заполнителями и водой (Kumar, 2016). Полимерные смолы выступают в качестве связующего, а заполнители обеспечивают прочность и долговечность. Полимерный бетон имеет ряд преимуществ перед традиционным бетоном, в том числе:

- полимербетон легкий и удобный в работе;
- обладает хорошими теплоизоляционными свойствами (Varghese, 2015);
- устойчив к химическим веществам и коррозии;
- имеет длительный срок службы (Xu et al., 2024).

Летучая зола – это побочный продукт сжигания угля. Она представляет собой мелкий порошок, который обычно имеет серый или черный цвет (Poveda-Orjuela et al., 2019). Летучая зола обладает рядом свойств, которые делают ее хорошим кандидатом для использования в полимерном бетоне, в том числе:

- Легкость. Плотность летучей золы составляет около 2,2 г/см³, что примерно в два раза меньше плотности традиционных заполнителей для бетона;
- При благоприятных параметрах ($\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 \geq 70\%$, удельная поверхность $\geq 300 \text{ м}^2/\text{кг}$, $t \text{ гидратации} > 40^\circ\text{C}$) зола-унос проявляет пуццолановую активность – реагирует с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и образует вторичные C-S-H-фазы, повышая прочность бетона;
- При низком CaO ($< 5\%$) или удельной поверхности $< 250 \text{ м}^2/\text{кг}$, а также без щелочных/тепловых активаторов зола ведёт себя ****условно инертно**** и выполняет роль микрозаполнителя-разбавителя цементного камня;
- Сравнительно недорогой материал. Летучая зола — это отходы, поэтому ее получение обходится относительно недорого (Hamada et al., 2024).

Теплопроводность – это показатель того, насколько хорошо материал проводит тепло. Это важное свойство для строительных материалов, поскольку оно может влиять на количество энергии, необходимой для обогрева или охлаждения здания. Материалы с низкой теплопроводностью являются хорошими изоляторами, а материалы с высокой

теплопроводностью – хорошими проводниками (Niyazbekova et al., 2023)

В табл. 1 описаны особенности использования летучей золы в разных странах. Для каждой страны указываются основные направления применения летучей золы (например, производство бетона, дорожное строительство) и ключевые характеристики, такие как доступность золы, экологические нормы и усилия по ее утилизации. Основной акцент сделан на то, как каждая страна подходит к использованию летучей золы, например, в качестве замены цемента в производстве бетона или как строительного материала. Также затрагиваются вопросы экологической устойчивости и регулирования утилизации отходов, рассматривается потенциал для расширения применения летучей золы в будущем.

Таблица 1. Сравнительный анализ использования летучей золы в разных странах

Страна	Использование летучей золы	Характеристики
Соединенные Штаты	Производство бетона, дорожное строительство	Доступность в большом количестве, обычно используется в качестве частичной замены цемента
Китай	Производство бетона, изготовление кирпича	Большие объемы производства, значительное воздействие на окружающую среду, если не управлять им
Индия	Производство бетона, цементная промышленность	Высокое содержание золы в угле, все большее использование для устойчивого строительства (Wang et al., 2023)
Германия	Производство бетона, стабилизация почвы	Строгие правила утилизации летучей золы, высокие экологические стандарты
Австралия	Производство бетона, строительство насыпей	Ограниченное использование из-за опасений по поводу качества угля и выбросов в атмосферу
Канада	Производство бетона, цементная промышленность	Растущее использование в устойчивом строительстве, акцент на ответственном захоронении
Япония	Производство бетона, дорожное строительство	Высококачественная летучая зола, строгие правила удаления и утилизации
Бразилия	Производство бетона, производство кирпича	Растущее использование в строительстве, усилия по продвижению устойчивой практики
Казахстан	Производство бетона, тепловые электростанции, дорожное строительство	Значительное производство летучей золы, потенциал для увеличения утилизации, акцент на управление отходами и устойчивые практики

Примечание – составлено автором

Заполнитель из летучей золы является пуццолановым материалом. Это означает, что он вступает в реакцию с известью, образуя цементирующие соединения (Tlegenov et al., 2024). Эти цементирующие соединения могут повысить прочность и долговечность полимерного бетона. Заполнитель из летучей золы имеет небольшой вес, что может сделать полимербетон более энергоэффективным (Liu et al., 2023).

Летучая зола собирается из дымовых газов тепловой электростанции с помощью электрофильтров или багги. Затем летучая зола транспортируется на перерабатывающий завод, где она измельчается в мелкий порошок (Kalenі et al., 2022). Затем порошок

просеивается для удаления крупных частиц. Просеянный порошок летучей золы готов к использованию в полимерном бетоне (Jaganathan & Kumar, 2021).

Использование заполнителя из летучей золы в полимерном бетоне может дать ряд преимуществ, включая:

- снижение затрат. Летучая зола является отходом производства, поэтому ее получение обходится относительно недорого. Использование заполнителя из летучей золы может помочь снизить стоимость полимерного бетона (Sitarz et al., 2013);
- повышенная прочность и долговечность. Летучая зола обладает пуццолановыми свойствами, что означает, что она вступает в реакцию с известью, образуя цементирующие соединения. Эти цементирующие соединения могут повысить прочность и долговечность полимербетона;
- снижение теплопроводности. Летучая зола является хорошим изолятором, поэтому использование заполнителя из летучей золы может помочь снизить теплопроводность полимерного бетона, сделав полимербетон более энергоэффективным строительным материалом (Kowalska et al., 2024).

Материалы и методы исследования. Целью данного исследования является изучение теплопроводности полимербетона, изготовленного с использованием заполнителя из летучей золы с теплоэлектростанции в Астане. Результаты данного исследования будут использованы для оценки потенциала полимерного бетона, изготовленного с использованием заполнителя из летучей золы, для использования в строительстве, где требуется теплоизоляция.

Методы исследования. В работе использовали стандартизированные методы испытаний цементного теста: определение нормальной толщины, времени схватывания цементного теста, определение физико-механических параметров полистиролбетона в соответствии с международными стандартами. Размер частиц летучей золы определялся с помощью лазерного анализатора. Фазовый состав образцов гидратированного бетона изучали рентгеновским методом, структуру затвердевших образцов исследовали методами электронной микроскопии.

Использовались следующие материалы:

(1) в качестве вяжущего материала – портландцемент М400 (АО «Кокшетауский цемент», г. Кокшетау, Казахстан). Начальное время схватывания портландцемента составляет 107 мин, конечное время схватывания – 260 мин. Химический и минеральный составы описаны в табл. 2;

(2) суперпластификатор MasterGlenium 116 (Master Builders Solution, Астана, Казахстан). Рекомендуемая дозировка по Master Builders Solution составляет 0,4-2,0 % от массы цемента. Точное количество добавки должно быть определено в лаборатории путем приготовления пробных смесей. Текущее исследование показало, что 0,5 % является наилучшей консистенцией для добавления в цементную смесь;

(3) полистирольные гранулы того же типа весом 14-20 кг на 1 м³, размер гранул 1,0-1,6 мм, производства ОАО «Сибур-Химпром» (Российская Федерация);

(4) летучая зола с главной электростанции Астаны. Золу засыпали в шаровую мельницу и мололи в течение 2,4 ч мелющими шарами диаметром 40 мм.

Таблица 2. Химический состав портландцемента

№	Цемент	Химический состав, %							
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	O ₃	Потери при сжигании	Итого
1	Портландцемент	20,49	4,80	4,40	63,42	1,47	25	1,55	99,14

Примечание – составлено автором

В исследовании полистиролбетон был изготовлен в соответствии с рациональным распределением в процентах. Исследовался полистиролбетон с содержанием от 5 % до 15 % летучей золы от общей массы цементного раствора. Содержание полистирола во всех образцах составляет 60 % заполнения по объему образца.

Результаты анализа состава образцов приведены в табл. 3.

Таблица 3. Состав золы Астанинской ТЭЦ

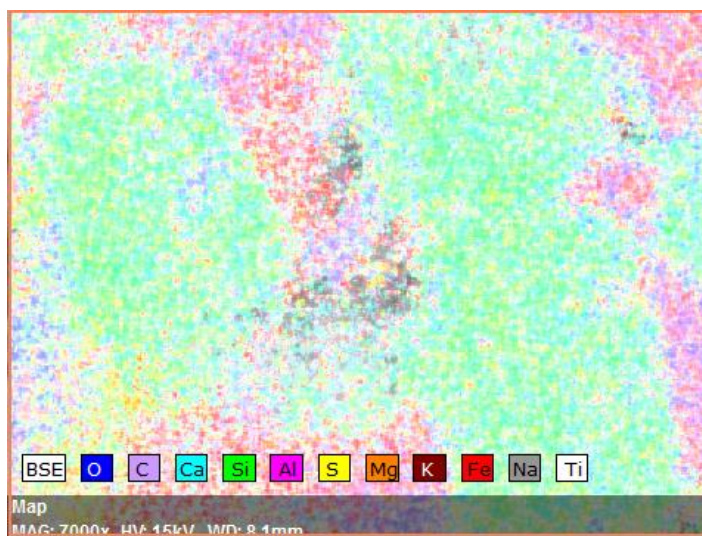
№	Элемент	Образец № 1 (Пор.)	Образец № 2 (Пор.)	Образец № 3 (Пор.)	Образец № 4 (Жид.)	Образец № 5 (Жид.)	Образец № 6 (Жид.)	Образец № 7 (Жид.)	Образец № 8 (Жид.)
1	Al	17,346	19,755	19,608					
2	Si	40,919	50,989	52,327	13,720	9,509	10,431	7,887	5,853
3	P	0,610	0,695	0,717			6,514	22,341	20,289
4	S	0,199	0,091	0,079	2,436	1,219	1,253	1,207	
5	Cl	0,126	0,171	0,172	0,003	0,007	0,204	0,000	1,138
6	K	1,629	2,094	2,207	3,260	1,089	1,814		3,418
7	Ca	9,926	4,155	3,350	74,143	78,754	72,453	57,317	56,565
8	Ti	2,847	2,998	3,170	0,608	1,033	1,043		
9	V	0,059	0,055	0,060		0,013			
10	Mn	0,405	0,321	0,303	0,168	0,255			
11	Fe	24,916	17,659	16,999	4,981	7,795	3,567	2,224	2,689
12	Ni	0,001	0,004						
13	Si	0,045	0,053	0,051					
14	Zn	0,018	0,069	0,032					
15	Ga	0,013	0,013	0,014					
16	As	0,004	0,004	0,004					
17	Rb	0,012	0,014	0,015					
18	Sr	0,236	0,230	0,237		0,023			
19	Y	0,025	0,025	0,025					
20	Zr	0,140	0,155	0,166					
21	Nb	0,006	0,006	0,006					
22	Sb	0,028	0,026	0,025	0,340	0,139	1,440	4,773	5,296
23	Te	0,018	0,021	0,017	0,288	0,113	1,261	4,243	4,573
24	Ba	0,287	0,251	0,254					
25	Eu	0,162	0,120	0,115	0,053	0,041			
26	Yb	0,017	0,015	0,016					
27	Re	0,000	0,000	0,000					

28	Os	0,000	0,000	0,000					
29	Ir	0,000	0,000	0,000					
30	Pb	0,004	0,008	0,009					
31	Nd		0,002	0,002					
32	Lu			0,014					
33	Rh				0,000			0,009	
34	Cr					0,10			
Примечание – составлено автором									

Результаты и их обсуждение. Экспериментальная методология, использованная в данном исследовании, представляет собой стандартный метод измерения теплопроводности материалов. Испытания теплопроводности и термического сопротивления строительных материалов проводились на ИТП-МГ4«250», предназначенном для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов при стационарном режиме по ГОСТ 7076 и методом теплового зонда по ГОСТ 30256. Тепловой поток через образец измерялся, а теплопроводность рассчитывался.

При проведении расчетов значение объемной теплоемкости уменьшают в 10 раз для зонда диаметром 1 мм и в 10 раз – для зондов диаметрами 3 и 5 мм.

Заполнитель из летучей золы, полимерная смола и добавки были смешаны вместе в миксере Controls. Смесь перемешивалась в течение 3 минут на низкой скорости, а затем в течение 1 минуты на высокой скорости. Затем полимерный бетон заливался в формы и отвердевал при комнатной температуре в течение 28 дней.



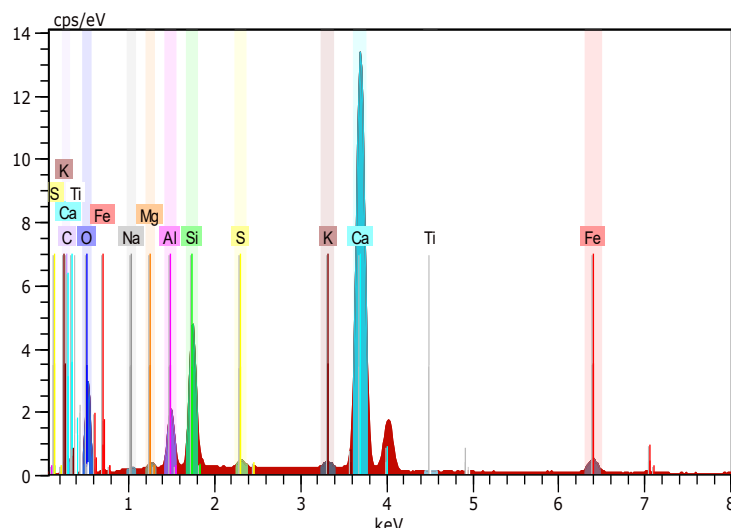


Рисунок 1. РМ Размер изображения: 480 x 360. Увеличение: 7000х

Примечание – составлено автором

Было обнаружено, что теплопроводность полимерного бетона уменьшается по мере увеличения содержания летучей золы. Теплопроводность полимерного бетона с 0 % золы составляла 0,340 Вт/м·К, а теплопроводность полимерного бетона с 15 % золы и суперпластификатора составляла 0,165 Вт/м·К. Это объясняется тем, что зола является хорошим изолятором, поэтому с увеличением содержания золы теплопроводность полимербетона уменьшается.

С увеличением дозировки золы в качестве заменителя заполнителя теплопроводность уменьшается по сравнению с контрольным образцом, как показано в табл. 4. Самые низкие значения теплопроводности были также получены для образца № 21.

Таблица 4. Физико-механические свойства испытанного полистиролбетона

№	Образец	Летучая зола %	Дни	Теплопроводность
1	Контрольный образец	0	3	0,35
2		0	7	0,34
3		0	28	0,34
4	С добавлением летучей золы	5	3	0,3
5		10	3	0,29
6		15	3	0,29
7		5	7	0,3
8		10	7	0,29
9		15	7	0,29
10		5	28	0,3
11		10	28	0,29
12		15	28	0,29
13	С добавлением летучей золы и суперпластификатора	5	3	0,170
14		10	3	0,166
15		15	3	0,166
16		5	7	0,169

17		10	7	0,166
18		15	7	0,165
19		5	28	0,169
20		10	28	0,166
21		15	28	0,165
<i>Примечание – составлено автором</i>				

Полученные результаты показывают, что все показатели прочности бетона с полистиролом, содержащим летучую золу, выше, чем у контрольного образца бетона. Наименьшее значение связано с контрольным образцом, не содержащим золу и суперпластификатор. Наилучшие показатели по теплопроводности показал образец, содержащий 60 % полистирола и 15 % золы по сравнению с контрольным образцом, где разница в теплопроводности составляет 51,47 %.

Результаты данного исследования показывают, что теплопроводность полимерного бетона может быть снижена за счет использования заполнителя из летучей золы. Использование заполнителя из летучей золы может сделать полимербетон более энергоэффективным строительным материалом. Это связано с тем, что зола является хорошим изолятором, поэтому при увеличении содержания золы теплопроводность полимербетона снижается (Aiken et al., 2021).

Результаты данного исследования также показывают, что добавление летучей золы в качестве заполнителя оказывает значительное влияние на теплопроводность полимербетона. С добавлением летучей золы теплопроводность полимербетона уменьшается.

Последствия результатов данного исследования заключаются в том, что использование заполнителя из летучей золы может сделать полимербетон более энергоэффективным строительным материалом (Bumanis, Bajare, Korjakins, 2013). Это связано с тем, что зола является хорошим изолятором, поэтому при увеличении содержания золы теплопроводность полимербетона снижается.

Результаты данного исследования также имеют значение для использования полимербетона в строительстве, где требуется теплоизоляция. Например, полимербетон можно использовать в качестве теплоизоляционного материала в крышах, стенах и полах.

Заключение.

Использование заполнителя из летучей золы в полимерном бетоне может снизить теплопроводность полимерного бетона. Это может сделать полимербетон более энергоэффективным строительным материалом. Результаты данного исследования также имеют значение для использования полимерного бетона в строительстве, где требуется теплоизоляция. Например, полимерный бетон может использоваться в качестве теплоизоляционного материала в крышах, стенах и полах.

Будущие исследования необходимы для изучения влияния других факторов, таких как тип летучей золы и ее гранулометрический состав, на теплопроводность полимербетона. Эти исследования также необходимы для изучения использования заполнителя из летучей золы в полимерном бетоне для других применений, например, при строительстве мостов и других сооружений. И, наконец, необходимы исследования для изучения долгосрочной долговечности полимерного бетона, изготовленного с использованием заполнителя из летучей золы.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Данное исследование финансируется в рамках программно-целевого финансирования Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR21882278 «Создание строительного-технического инжинирингового центра по оказанию полного цикла аккредитованных услуг строительного,

дорожно-строительного сектора Республики Казахстан»).

«Уведомление об использовании генеративного ИИ и технологиях с его помощью в процессе написания рукописи». При подготовке данной работы автор(ы) использовали Open AI с целью структурирования текста.

Список литературы

- Kumar, R. (2016). A review on epoxy and polyester based polymer concrete and exploration of polyfurfuryl alcohol as polymer concrete. *Journal of Polymers*, 2016(1), 7249743.
- Xu, X., Bao, S., Zhang, Y., & Ping, Y. (2024). Sustainable enhancement of fly ash-based geopolymers: Impact of Alkali thermal activation and particle size on green production. *Process Safety and Environmental Protection*, 191, 478-489.
- Poveda-Orjuela, P. P., García-Díaz, J. C., Pulido-Rojano, A., & Cañón-Zabala, G. (2019). ISO 50001: 2018 and its application in a comprehensive management system with an energy-performance focus. *Energies*, 12(24), 4700.
- Hamada, H. M., Abed, F., Al-Sadoon, Z. A., & Alashkar, A. (2024). Enhancing pozzolanic activity of fly ash via dry and wet milling: A comparative study for sustainable construction material enhancement. *Journal of CO2 Utilization*, 83, 102811.
- Niyazbekova, R., Mukhambetov, G., Tlegenov, R., Aldabergenova, S., Shansharova, L., Mikhachenko, V., & Bembek, M. (2023). The Influence of Addition of Fly Ash from Astana Heat and Power Plants on the Properties of the Polystyrene Concrete. *Energies*, 16(10), 4092.
- Tlegenov, R.B., Niyazbekova, R.K., Jexembayeva, A.E., Korniejenco, K., Aruova, L.B., Aldabergenova, S.S., & Maykonov, A. S. (2024). The effect of fly ash additive on the thermal conductivity of polystyrene concrete. *Buildings*, 14(9), 2850.
- Liu, W., Zhu, H., Wu, X., Wan, Y., Zheng, W., & Li, H. (2023). Comparative study on the performance of ultra-fine fly ash prepared by different techniques in Portland cement and alkali-activated material. *Construction and Building Materials*, 397, 132362.
- Kaleni, A., Magagula, S. I., Motloutse, M. T., Mochane, M. J., & Mokhele, T. C. (2022). Preparation and characterization of coal fly ash reinforced polymer composites: An overview. *Express Polymer Letters*, 16(7).
- Jaganathan, K., & Kumar, G. R. (2021). An experimental study on polymer impregnated concrete with fly ash. In *Journal of Physics: Conference Series* (7).
- Kowalska, B. Z., Szajding, A., Zakrzewska, P., Kuźnia, M., Stanik, R., & Gude, M. (2024). Disposal of rigid polyurethane foam with fly ash as a method to obtain sustainable thermal insulation material. *Construction and Building Materials*, 417, 135329.
- Varghese, P. C. (2015). *Building materials*. PHI Learning Pvt. Ltd..
- Wang, J., Fan, Y., Che, Z., Zhang, K., & Niu, D. (2023). Study on the durability of eco-friendly recycled aggregate concrete with supplementary cementitious materials: The combined action of compound salt solution of MgSO₄, Na₂SO₄, and NaCl and dry-wet cycles. *Construction and Building Materials*, 377, 131149.
- Sitarz, M., Figiela, B., Łach, M., Korniejenco, K., Mróz, K., Castro-Gomes, J., & Hager, I. (2022). Mechanical response of geopolymer foams to heating—Managing coal gangue in fire-resistant materials technology. *Energies*, 15(9), 3363.
- Bumanis, G., Bajare, D., & Korjaks, A. (2013). Mechanical and thermal properties of lightweight concrete made from expanded glass. *Journal of sustainable architecture and civil engineering*, 2(3), 19-25.
- Aiken, T. A., Kwasny, J., Sha, W., & Tong, K. T. (2021). Mechanical and durability properties of alkali-activated fly ash concrete with increasing slag content. *Construction and Building Materials*, 301, 124330.

Information about authors

Tlegenov Rassul Bolatuly – Doctoral student on speciality ‘Standardisation and Certification’, Technical Faculty, Kazakh Agrotechnical Research University named after Saken Seyfullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, tlegenovrassul@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-1959-9414>, 8-775-950-90-43

Niyazbekova Rimma Kalmanbaevna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Technical Faculty, Kazakh Agrotechnical Research University named after Saken Seyfullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, rimma.n60@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8688-1408>, 8-775-134-36-30

Aldabergenova Saule Salimzhanovna – PhD, Head of Department ‘Standardisation and Certification’, Technical Faculty, Kazakh Agrotechnical Research University named after Saken Seyfullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, ass_1982@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6297-7632>, 8-707-854-49-61

Jexembayeva Assel Ermekeovna – PhD, Director of Innovation Development Department, Eurasian National University named after L.N. Gumilev. L.N. Gumilev Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, dzheksembayeva_ae@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-6153-9580>, 8-701-888-25-87

Konkanov Marat Dzhumataevich – PhD, Director of Scientific and Production Centre ‘ENU-Lab’, L.N. Gumilev Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, 8-701-801-25-88. L.N. Gumilev Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, marcon@metrology.kz, <https://orcid.org/0009-0006-9365-4127>, 8-777-008-08-07
