



МРНТИ 67.09

Научная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-152-3-247-256>

Оценка влияния модифицированной добавки на физико-механические свойства инъекционных растворов

Ж.Б. Жантлесова *, Р.Е. Лукпанов , А.Д. Алтынбекова ,
Д.В. Цигулев , А. Е. Джексембаева 

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

E mail: proyekt.2022@bk.ru

Аннотация. Целью данного исследования является оценка влияния модифицированной добавки, содержащей парафиновый компонент, на физико-механические свойства инъекционных растворов, применяемых для глубокой цементации грунтов. Применение инъекционных растворов широко используется в практике геотехнического строительства, особенно при необходимости укрепления слабых и водонасыщенных грунтов. Качество и долговечность упрочнения во многом зависят от состава раствора и его устойчивости в процессе твердения. В ходе лабораторных испытаний при различной концентрации добавки (от 0,2 до 1,0%) были исследованы такие ключевые параметры, как подвижность смеси, склонность к водоотделению и прочностные характеристики полученного материала. Результаты экспериментов показали, что введение парафиновой добавки способствует повышению подвижности раствора, облегчает процесс его инъекции, одновременно снижает водоотделение и обеспечивает более равномерное распределение смеси в грунтовом массиве. Кроме того, наблюдалось заметное увеличение механической прочности по сравнению с контрольными образцами.

Оптимальный диапазон концентраций добавки, определённый в ходе исследований, составил 0,6–0,8%. Такой состав обеспечивает наилучший баланс между улучшенными свойствами раствора и его стабильностью. Полученные данные подтверждают возможность практического применения данной добавки для повышения эффективности цементации грунтов в сложных инженерно-геологических условиях.

Ключевые слова: Модифицированная добавка, стабилизация грунта, цементно-песчаный раствор, парафин, механические свойства

Введение

Глубинная цементация является одним из наиболее эффективных методов укрепления слабых грунтов, особенно в условиях сложной геологической обстановки [1]. Этот метод активно используется в строительстве транспортной и промышленной инфраструктуры, при стабилизации склонов и защите от оползней [2]. Однако традиционные цементные растворы подвержены расслоению и снижению прочности из-за высокой пористости и водоотделения [3].

Современные исследования показывают, что модифицированные добавки, такие как наночастицы и полимеры, значительно улучшают механические свойства растворов. Однако применение парафиновых компонентов в инъекционных растворах остается малоизученным направлением, несмотря на их потенциал для повышения пластичности и снижения водоотделения [4]. История метода глубинной цементации уходит корнями в начало XX века, когда инженеры впервые начали применять инъекционные растворы для стабилизации оснований зданий и инфраструктурных объектов. Первоначально использовались простые цементные смеси, однако с развитием науки и технологий начали появляться различные модифицированные добавки, направленные на улучшение механических свойств растворов. В середине XX века активно исследовались полимерные и химические добавки, а в XXI веке на смену им пришли наноматериалы и биоактивные компоненты, повышающие прочность и долговечность укрепленных грунтов.

Современные исследования в области глубинной цементации показывают, что применение модифицированных добавок позволяет добиться значительного улучшения характеристик инъекционных растворов. В странах с высокой сейсмической активностью, таких как Япония и США, цементные растворы с нанодобавками и полимерами стали стандартной практикой. Например, исследования Университета Токио показали, что введение наночастиц диоксида кремния увеличивает плотность и прочность инъекционного цементного камня на 15-20%. В аналогичных работах, проведенных в США, использование полимерных добавок позволило снизить усадку и водоотделение растворов, что улучшает их долговечность. Сравнивая существующие исследования, можно отметить, что применение парафиновых компонентов в инъекционных растворах до сих пор остается малоизученной областью. В отличие от наноматериалов и полимеров, парафин позволяет улучшить подвижность растворов, снижая риск их расслоения. Однако исследования в данном направлении ограничены, что обуславливает актуальность данной работы. Введение парафиновой добавки в цементный раствор может стать альтернативным решением для укрепления слабых грунтов в различных климатических и геологических условиях [5]. Цель исследования – оценить влияние модифицированной добавки на основе парафинового компонента на физико-механические свойства инъекционных растворов, применяемых для метода глубокой цементации, и определить оптимальный диапазон концентраций для повышения эффективности укрепления грунтов.

Методология

Для анализа эффективности модифицированной добавки были проведены лабораторные испытания подвижности, сроков схватывания, прочности на сжатие и изгиб, а также водоотделения инъекционного раствора. Методика определения подвижности выполнена по ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения подвижности»,

водоотделения – по ГОСТ 310.6-85 «Цементы. Методы определения водоотделения» [6]. Контрольным образцом являлся цементный раствор без добавки. Контрольный образец без добавки показал водоотделение 10,5%, что соответствует условно-стабильному состоянию. Введение добавки в количестве 0,2% снизило водоотделение до 9,1%, а при 0,6% – до 7,7%, что соответствует переходу в категорию стабильных растворов. В отличие от полимеров, парафиновые компоненты обеспечивают снижение водоотделения без изменения прочности. Это объясняется формированием гидрофобной пленки на границах цементных частиц, что уменьшает скорость выделения свободной воды.

Методологическая основа исследований включала:

- Проведение испытаний на подвижность методом расплыва конуса:
- Испытания проводились в соответствии с Испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения подвижности» [7]. Метод заключается в измерении диаметра расплыва цементного раствора при его нанесении на гладкую поверхность.
 - Использовался стандартный металлический конус с высотой 300 мм и диаметром основания 100 мм.
 - Раствор замешивался в течение 3 минут и выливался через конус на стеклянную пластину.
 - После удаления конуса измерялся диаметр расплыва раствора в двух взаимно перпендикулярных направлениях, а затем рассчитывалось среднее значение.
 - Эксперименты проводились на растворах с различным содержанием добавки (0,2–1,0%) и контролем водоцементного отношения (0,3–0,5).
 - Анализ результатов позволил выявить влияние добавки на текучесть и пластичность раствора [9]



Рисунок 1. Характеристики испытания на проницаемость

Анализ водоотделения с использованием стандартной методики фильтрации. Для

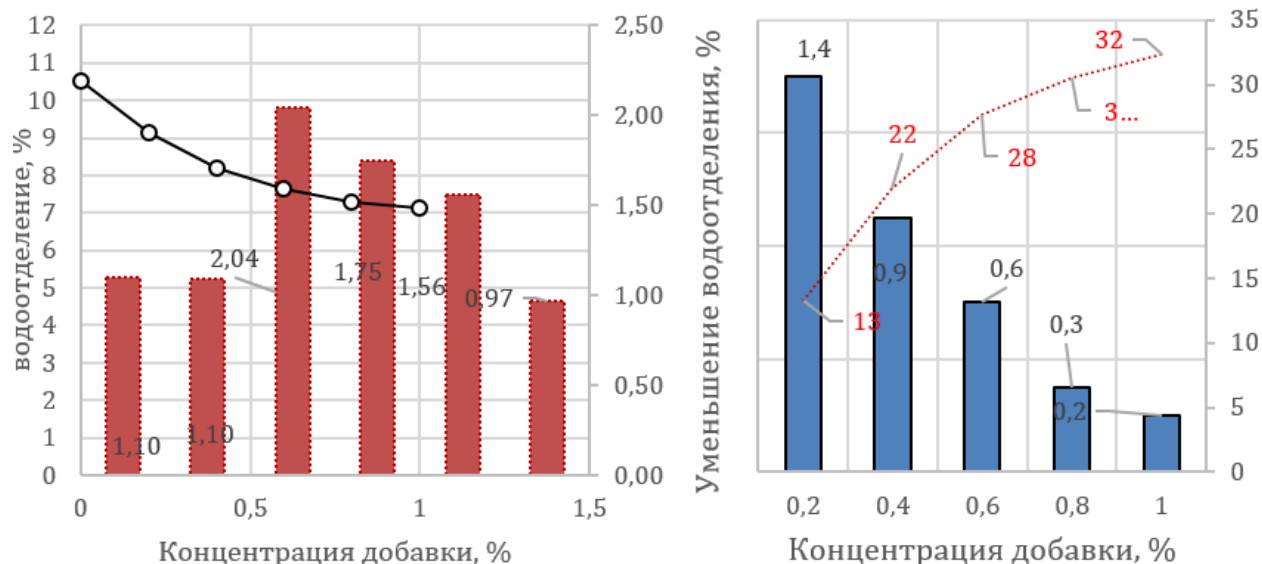
определения степени водоотделения инъекционного раствора были проведены испытания с использованием стандартной методики фильтрации, соответствующей ГОСТ 310.6 «Цементы. Методы определения водоотделения» [8].

Методика включает:

- Приготовление контрольных образцов раствора с различными концентрациями добавки (0,2–1,0%).
- Заливку смеси в мерные цилиндры объемом 500 мл.
- Удержание смеси в статичном состоянии при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение 3 часов.
- Измерение объема выделенной воды с последующим расчетом процентного содержания водоотделения.

На рисунке 2 показаны результаты испытаний цементных образцов на водоотделение. На рисунке 2А по оси абсцисс показано процентное содержание добавки в растворе, по оси ординат водоотделение и коэффициенты вариаций каждой серии испытаний определенного процентного содержания добавки.

На рисунке 2Б по оси ординат показаны значения уменьшения водоотделения при пошаговом увеличении добавки в составе смеси, а также процентное снижение показателя водоотделения относительно контрольного образца (смеси без добавки).



А – Контрольные образцы

В – Смесь 0,2% добавок

Рисунок 2. Результаты измерения прочности образцов на сжатие

Результаты и Обсуждение

- Контрольный образец без добавки показал водоотделение 10,5%, что соответствует условно-стабильному состоянию раствора.
- Добавка в концентрации 0,2% снизила водоотделение до 9,1%.

- При концентрации 0,4% водоотделение составило 8,2%, что является нижней границей условно-стабильных растворов.
 - При концентрации 0,6% водоотделение уменьшилось до 7,7%, что свидетельствует о переходе в категорию стабильных растворов.
 - При концентрации 0,8% водоотделение составило 7,3%, а при 1,0% – 7,1%, что показывает минимальный эффект при дальнейших увеличениях концентрации добавки.
- Подвижность раствора: Добавка увеличивает расплыв конуса раствора с 150 мм (контрольный образец) до 187 мм при максимальной концентрации 1,0%.
- Максимальный прирост подвижности наблюдается при концентрации 0,6%.
- При дальнейшем увеличении концентрации эффект насыщения снижает динамику увеличения подвижности.

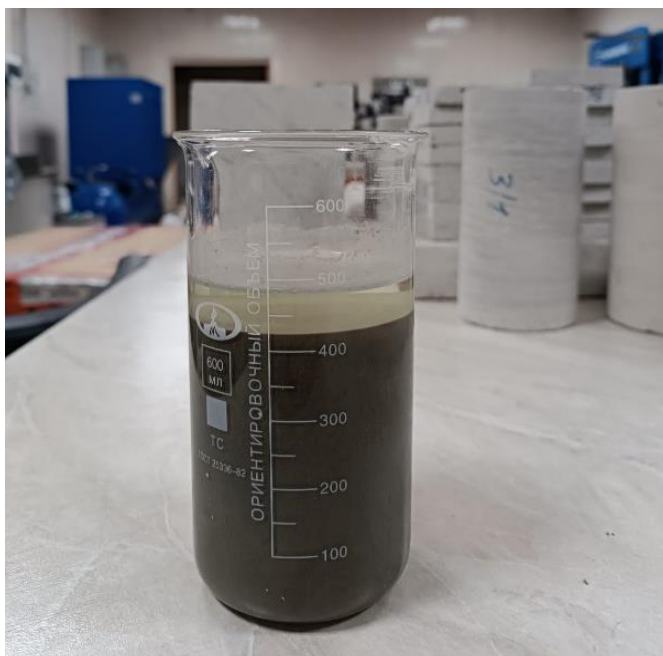


Рисунок 3. Результаты измерения водоотделение

Водоотделение: контрольный образец показал водоотделение 10,5%.

При добавке 0,6% водоотделение снизилось до 7,7%, что соответствует стабильным растворам.

Дальнейшее увеличение концентрации добавки незначительно снижает водоотделение, но не оказывает значимого эффекта.

Данные результаты согласуются с исследованиями в области модифицированных цементных растворов. Например, исследования Казахского научно-исследовательского института строительных материалов показали, что применение гидрофобных добавок на основе полимерных компонентов снижает водоотделение цементных смесей до 6-7%, однако при этом возможны изменения в прочностных характеристиках. В отличие от полимерных добавок, парафиновые компоненты позволяют добиться схожего эффекта без значительного изменения прочности.

Анализ данных показал, что наиболее эффективная концентрация добавки для уменьшения водоотделения без существенного влияния на прочностные характеристики составляет 0,6–0,8%. При дальнейшем увеличении концентрации наблюдается снижение эффекта, что свидетельствует о достижении предела влияния парафиновой добавки на этот показатель.

Исследования показывают, что введение модифицированной добавки на основе парафинового компонента положительно влияет на физико-механические свойства инъекционных растворов. Оптимальная концентрация добавки составляет 0,6–0,8%, поскольку при этом достигается баланс между повышением подвижности, снижением водоотделения и увеличением прочностных характеристик.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение влияния добавки на долговечность раствора и его взаимодействие с различными типами грунтов.

Применение инновационных материалов и технологий, таких как наночастицы и геополимерные компоненты, может значительно повысить эффективность цементных растворов в строительстве, а также снизить их воздействие на окружающую среду. Это открывает перспективы для дальнейших исследований и совершенствования методик глубокой цементации грунтов.

Заключение

Установлено, что модифицированная добавка на основе парафинового компонента оказывает комплексное влияние на свойства инъекционных растворов, повышая их подвижность и снижая водоотделение.

Выявлен диапазон оптимальной концентрации добавки (0,6–0,8%), при котором достигается баланс между повышением подвижности и устойчивостью структуры раствора.

Полученные результаты позволяют рекомендовать применение добавки для повышения эффективности глубокой цементации слабых грунтов в сложных инженерно-геологических условиях.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант BR21882278 «Создание строительно-технического инжинирингового центра по оказанию полного цикла аккредитованных услуг строительного, дорожно-строительного сектора Республики Казахстан»).

Вклад авторов.

Жибек Жантлесева — методология, ресурсы, сбор данных, тестирование, моделирование, анализ.

Рауан Лукпанов — концепция, методология, анализ.

Алтынбекова Алия — анализ, интерпретация, составление.

Денис Цигулев — сбор данных, визуализация, тестирование.

Джексембаева Асель — редактирование.

Список литературы

1. А. Алтынбекова, Р. Лукпанов, С. Енкебаев, Д. Цыгулев, М. Нурбаева, Комплексные лабораторные исследования влияния модифицированных добавок на физико-

- механические свойства бетона, *International Journal of GEOMATE*, Том 23, Выпуск 100, стр. 26–33 (декабрь, 2022). – журнал
2. А. Алдунгарова, А. Мухамеджанова, Н. Алибекова, С. Караулов, Д. Ахметов, Методология геотехнической интерполяции для определения промежуточных значений свойств грунта, *Technobius*, Том 4, № 1, стр. 0053 (2024). – журнал
3. ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения подвижности, Москва: Стандартиздат, https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30039052 – ГОСТ
4. Н. Консоли, Ф. Роса, Р. Круз, Роль добавок в улучшении характеристик цементных инъекционных растворов, *Cement and Concrete Research*, стр. 1257–1278, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.10.004> (2011). – журнал
5. Р. Лукпанов, Д. Цыгулёв, Ж. Жантлесова, А. Алтынбекова, С. Енкебаев, М. Кожахмет, Подбор эквивалентного материала для испытаний грунта с использованием свай на модельном стенде, *International Journal of GEOMATE*, стр. 33–41 (2024). – журнал
6. ГОСТ 310.6-85 «Цементы. Методы определения водоотделения», <https://meganorm.ru/Data1/3/3534/index.htm> – ГОСТ
7. ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения подвижности», <https://meganorm.ru/Index2/1/4294853/4294853167.htm> – ГОСТ
8. ГОСТ 310.6 «Цементы. Методы определения водоотделения», <https://meganorm.ru/Data/738/73884.pdf> – ГОСТ
9. Ж. Жантлесова, Р. Е. Лукпанов, Д. Дусембинов, Д. В. Цыгулёв, С. Б. Енкебаев, М. Каракасу, Влияние парафинового воска на подвижность цементных инъекционных растворов, *Technobius*, Том 5, № 2, статья 0080 (2025), DOI: <https://doi.org/10.54355/tbus/5.2.2025.0080> – журнал

Ж.Б. Жантлесова*, Р.Е. Лукпанов, А.Д. Алтынбекова,

Д.В. Цигулев, А.Е. Джексембаева

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Модификацияланған қоспаның инъекциялық ерітінділердің физика-механикалық қасиеттеріне әсерін бағалау

Аңдатпа. Бұл зерттеудің мақсаты – парафин компонентін қамтитын модификацияланған қоспаның топырақты тереңдетіп цементациялау үшін қолданылатын инъекциялық ерітінділердің физика-механикалық қасиеттеріне әсерін бағалау. Зертханалық сынақтар барысында қоспаның әртүрлі концентрацияларында (0,2–1,0%) қоспаның жылжымалылығы, су бөлуі және ерітіндінің беріктік сипаттамалары зерттелді. Зерттеу нәтижелері қоспаны енгізу ерітіндінің жылжымалылығын арттыратынын, су бөлінуін азайтатынын және оның механикалық беріктігін жоғарылататынын көрсетті. Эксперимент барысында анықталған қоспаның оңтайлы концентрация диапазоны 0,6–0,8% құрады, бұл ерітінді қасиеттерін жақсарту мен оның тұрақтылығын сақтаудың оңтайлы тепе-теңдігін қамтамасыз етеді. Зерттеу барысында алынған деректер күрделі геологиялық жағдайларда топырақты нығайту тиімділігін арттыру үшін осы қоспаны

қолдануды ұсынуға сенімді негіз береді.

Түйін сөздер: Модификацияланған қоспа, топырақты тұрақтандыру, цемент-құм ерітіндісі, парафин, механикалық қасиеттер

Zh.B. Zhantlessova*, R.E. Lukpanov, A.D. Altynbekova, D.V. Tsigulev, A.E. Jeksembayeva

¹ *L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

Evaluation of the Effect of a Modified Additive on the Physico-Mechanical Properties of Injection Grouts

Abstract. The aim of this study is to evaluate the effect of a specially modified additive containing a paraffin component on the physico-mechanical properties of injection grouts used for deep soil cementation. Soil reinforcement by injection grouting is a widely applied technique in geotechnical engineering, particularly in conditions where conventional methods are limited due to high groundwater levels or unstable soils. Improving the performance characteristics of grouts can significantly enhance the reliability and durability of soil stabilization. In this research, a series of laboratory experiments was conducted to determine how different concentrations of the additive (ranging from 0.2% to 1.0% by weight) influence key parameters of the grout mixture, including workability, bleeding tendency, and strength development. The experimental results demonstrated that the introduction of the paraffin-based additive leads to increased workability of the grout mixture, which facilitates injection and improves penetration into fine soil pores. At the same time, bleeding was noticeably reduced, contributing to better homogeneity and stability of the hardened material. Mechanical strength measurements indicated a consistent improvement compared to control samples without the additive.

Keywords: Modified additive, soil stabilization, cement-sand grout, paraffin, mechanical properties

References

1. A. Altynbekova, R. Lukpanov, S. Yenkebayev, D. Tsygulyov, M. Nurbayeva. Complex laboratory studies of modified additive influence on concrete physical and mechanical properties. *International Journal of GEOMATE*, Dec. 2022, Vol. 23, Issue 100, pp. 26–33. – Journal
2. Aldungarova, A., Mukhamejanova, A., Alibekova, N., Karaulov, S., Akhmetov, D. Geotechnical interpolation methodology for determining intermediate values of soil properties. *Technobius*, 2024, Vol. 4, No. 1, p. 0053. – Journal
3. **GOST 310.4-81.** Cements. Methods for Determining Flowability. Moscow: Standard Publishing. – Standard
4. Consoli, N. C., Rosa, F. V., & Cruz, R. C. The Role of Additives in Improving the Performance of Cement-Based Grouts. *Cement and Concrete Research*, 2011, pp. 1257–1278. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.10.004> – Journal
5. R. Lukpanov, D. Tsygulyov, Zh. Zhantlessova, A. Altynbekova, S. Yenkebayev, M. Kozhahmet. Selection of equivalent material for soil testing using piles on a scale model testing apparatus. *International Journal of GEOMATE*, 2024, pp. 33–41. – Journal
6. **GOST 310.6-85.** Cements. Methods for Determining Bleeding. Moscow: Standard Publishing. – Standard
7. **GOST 310.4-81.** Cements. Methods for Determining Flowability. Moscow: Standard Publishing. – Standard

8. **GOST 310.6.** Cements. Methods for Determining Bleeding. Moscow: Standard Publishing. – Standard
9. Zh. Zhantlessova, R. E. Lukpanov, D. Dusembinov, D. V. Tsigulyov, S. B. Yenkebayev, M. Karacasu. Effect of paraffine wax on the mobility of injection cement mortars. *Technobius*, 2025, 5(2), 0080. <https://doi.org/10.54355/tbus/5.2.2025.0080> – Journal

Сведения об авторах:

Жибек Жантлессова – PhD студент, Астана, Казахстан. Кафедра «Технологии промышленного и гражданского строительства», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, 010008, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан, zhibek81@mail.ru

Рауан Лукпанов - доктор технических наук, профессор, «Технологии промышленного и гражданского строительства», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, 010008, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан, rauan_82@mail.ru

Алия Алтынбекова - PhD, кафедра «Технологии промышленного и гражданского строительства», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, 010008, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан, kleo-14@mail.ru Денис Цыгулев - кандидат технических наук, доцент, кафедра «Строительство» Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, denis_72@mail.ru

Джексембаева А. Е. -PhD, Директор Департамента развития инноваций, Адрес: 010008, Республика Казахстан, г. Астана, ул.Сатпаева 2, E-mail: dzhexembayeva_aye@enu.kz

Zhibek Zhantlesova – PhD student, Astana, Kazakhstan. Department of Industrial and Civil Engineering Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 010008, 2 Satpayeva Street, Astana, Kazakhstan, zhibek81@mail.ru

Rauan Lukpanov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Industrial and Civil Engineering Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 010008, 2 Satpayeva Street, Astana, Kazakhstan, rauan_82@mail.ru

Aliya Altynbekova - PhD, Department of Industrial and Civil Engineering Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 010008, 2 Satpayeva Street, Astana, Kazakhstan, kleo-14@mail.ru

Denis Tsygulev - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Construction, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, denis_72@mail.ru

A. E. Dzheksembayeva, PhD, Director of the Department of Innovation Development, Address: 010008, Republic of Kazakhstan, Astana, Satpayeva Street 2, E-mail: dzhexembayeva_aye@enu.kz

Жібек Жантлессова-PhD студенті, Астана, Қазақстан. "Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиялары" кафедрасы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 010008, Сәтпаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан, zhibek81@mail.ru

Рауан Лұқпанов-техника ғылымдарының докторы, профессор, "өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиялары" кафедрасының профессоры, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 010008, Сәтпаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан, rauan_82@mail.ru

Әлия Алтынбекова-PhD, "Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиялары" кафедрасы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 010008, Сәтпаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан, kleo-14@mail.ru

Денис Цигулев-техника ғылымдарының кандидаты, доцент, "құрылыс" кафедрасы Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан. denis_72@mail.ru
А. Е. Джексембаева. - PhD, инновацияларды дамыту департаментінің директоры, мекенжайы: 010008, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Сәтпаев к-сі, 2, E-mail: dzhexembayeva_aye@enu.kz



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).