

**Р.Е. Лукпанов\*<sup>1</sup>, Д.С. Дюсембинов<sup>2</sup>, Д.О. Базарбаев<sup>3</sup>,  
Д.В. Цыгулев<sup>4</sup>, С.Б. Енкебаев<sup>5</sup>**

<sup>1,3</sup>Научно-производственный центр ЕНУ-Lab Евразийского национального университета  
им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup>Кафедра «Технология промышленного и гражданского строительства»

Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<sup>4,5</sup>Кафедра «Проектирование зданий и сооружений» Евразийского национального университета  
им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

\*Автор для корреспонденции: [rauan\\_82@mail.ru](mailto:rauan_82@mail.ru)

## **Пропиточный состав для цементно-бетонного покрытия дорог для улучшения ледофобных свойств**

**Аннотация.** В статье предлагается пропиточный состав для цементно-бетонных дорог, используемый для улучшения ледофобных свойств покрытия. В основе состава лежит технология производства кератина. Отличительным компонентом состава является добавление водорастворимых полимеров. Одним из исследовательских критериев являлась оценка работоспособности пропиточного состава, его адгезийная стойкость к механическому воздействию. Испытания проведены для больших образцов (площадью поверхности 1925 см<sup>2</sup>) в лабораторных условиях с приложением вибрационной и ударной нагрузок. Результаты испытаний показали эффективность ледофобного покрытия, поскольку во всех экспериментах образцы без покрытия показали большую стойкость ледяной корки к механическим воздействиям.

**Ключевые слова:** бетонные дороги, ледофобное покрытие, цементно-бетон, прочность, лабораторные испытания, строительные материалы.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2021-134-1-39-49>

### **Введение**

Дорожное строительство является важным аспектом инфраструктуры, экономического и социального развития государства. Для улучшения социально-экономического развития страны необходимо не только строительство дорог, но и качественный уход за ними [1]. Уход за дорогами определяется в зависимости от климатических условий региона [2]. Так для регионов с резко-континентальным климатом большой проблемой является сезонное обледенение поверхности дорог [3].

Традиционные решения данных проблем сводятся к применению химических реагентов или солей, а также использованию абразивного материала (в частности песок) [4]. Использование химических реагентов приводит к разрушению дорожного покрытия, а также вызывает коррозию автомобильного транспорта [5]. Обработка дорожного покрытия реагентом требует периодического ухода при каждом образовании обледенения [6]. С учетом частой цикличности климатических условий данный метод имеет низкую эффективность и экономически не целесообразен. Метод с использованием песка не решает проблему в целом, носит кратковременный эффект, образует дополнительные источники грязи и требует постоянного ухода [7].

В мировой практике широкое применение находят пропиточные составы с использованием полимерных ледофобных нанопокровов [8]. Данное техническое решение является дорогостоящим и требует наличия высокотехнологичного оборудования. Поэтому решение поставленной проблемы обледенения бетонных дорог остается актуальным. Предложенный в статье пропиточный состав изготавливается на основе кератиносодержащих компонентов, получаемых из отходов животноводства [9]. Состав обеспечивает обволакивание поровой структуры бетона, создавая прослойку разности натяжения, тем самым не позволяя

льду и бетону стать единым монолитом, в связи с чем лед разбивается даже при малом механическом воздействии [10]. Также в состав входят водорастворимые полимеры, что позволяет достичь большого эффекта гидрофобности структуры бетонных дорог, защищая их от обледенения [11].

Исследования по оценке качества дорожного покрытия проведены в лабораторных условиях. Основным сравнительным критерием являлась оценка адгезии ледяной корки к цементобетонному покрытию дороги. Как и оговаривалось ранее, характер сцепления льда к бетону зависит от площади контакта двух составляющих (лед и бетон). При этом прочность сцепления (адгезийное сопротивление) льда и бетона - это результат условного аддитивного эффекта следующих факторов: первый фактор – это адгезия льда к бетону как к материалу; второй фактор - это заземление (анкеровка) льда в поровой (микро и макро) структуре по поверхности бетона [12]. При этом здесь четко наблюдается эффект синергии, то есть если рассматривать эти факторы отдельно друг от друга, то эффективность их адгезийного сопротивления существенно снижается по сравнению с совместным адгезийным сопротивлением, при котором наблюдается взаимовлияние [13]. Поэтому, исключив один из факторов, в нашем случае это первый фактор – адгезия льда, мы существенно снижаем эффективность второго фактора – анкеровка ледяной корки.

### Методы исследования

Технология производства основана на промышленном производстве кератина [14].

В реактор загружается 1/3 воды и дозированное количество кератинового сырья. Далее в реактор загружается каустическая сода или его водный раствор требуемой концентрации. Соотношение (кератиновое) сырья: жидкая фаза – 1: 3, затем сюда же в реактор загружается требуемое количество мочевины (карбамида) и вводится оставшаяся часть воды, т.е. ее 2/3 часть. После этого реактор герметично закрывается, и загруженное сырье подвергается тепловому воздействию. Температура в процессе гидролиза не должна превышать 135оС. Продолжительность гидролиза зависит от вида кератинового сырья, может составлять 4-8 часов. После завершения процесса гидролиза гидролизат должен остыть до температуры окружающего воздуха. Из остывшего раствора гидролизата отбирают 1 литр пробы, замеряют начальное рН, приступают к его нейтрализации сернокислым железом - (Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>). После нейтрализации полученного гидролизата он подвергается фильтрованию пропусканием продукта через фильтр-пресс. Затем кератинодержательный состав в смесителе перемешивают с акриловым латексом в процентном соотношении 60:40 соответственно.

На первой стадии исследования важны анализ эффективности ледофобного покрытия, а также оценка характера обледенения в сравнении образцов с покрытием и без. Для решения поставленной задачи нет необходимости в моделировании расчетных нагрузений, воспринимающихся покрытием при движении автотранспорта, а достаточно моделирование расчетных схем, при которых возможно дать оценку качества адгезии льда к бетону. Поэтому были приняты расчетные ситуации, при которых происходит отслоение ледяного покрова от обледенелого покрытия. С этой целью были проведены лабораторные эксперименты с применением вибрационных и ударных нагрузок на опытные образцы:

- вибрационное воздействие на образец на вибрационном стенде частотой вибрации до 50 Гц, амплитудой вибрации до 20 мм.

- ударное воздействие на образец методом свободного сбрасывания пригруза, максимальной высотой 200 мм, массой пригруза 290 г.

Испытания проведены для больших образцов, размерностью: высота  $h=80$ мм, ширина  $b=350$ мм, и длина  $l=550$ мм (Рисунок 1). Состав образцов представлен следующими компонентами: цемент – 10 кг, песок - 30 кг, послеспиртовая барда – 20мл, полимер ПВА – 5 мл, остальное - вода. После истечения 28 суток на рабочую поверхность первого образца был нанесен ледофобный пропиточный состав, толщиной 0,2-0,3 мм, поверхность второго образца не обрабатывалась. Для лучшей визуальной поверхности в пропиточный состав был введен желтый краситель.

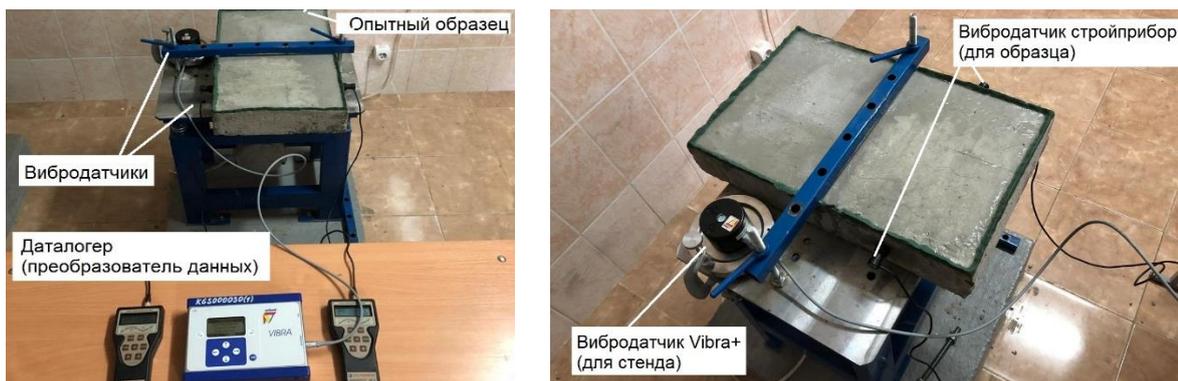
Заморозка образцов производилась в морозильной камере Controls по двум программам воссоздания обледененного слоя воды:

- посредством локализации воды на поверхности образцов до полной ее заморозки и образования ледяной корки;
- посредством моделирования климатических условий в морозильной камере до образования ледяной корки.

В первом случае по контуру рабочей поверхности был выполнен бортик для удержания необходимого количества воды на поверхности образца. Во втором случае, для чистоты эксперимента, климатическим воздействиям была подвергнута только рабочая поверхность образца, остальные грани образца (боковые и нижняя) были изолированы теплоизоляционным материалом.

При испытании на вибрационное воздействие образцы были жестко зафиксированы на поверхности вибростолика во избежание нарушения сплошности образцов. Также для оценки влияния вибрационной нагрузки на ледяную корку были использованы вибродатчики для фиксации частоты и амплитуды вибрации (Рисунок 1А). Измерительные приборы были жестко зафиксированы на теле бетона и поверхности вибростолика: измеритель вибрации Profound Vibra+ - на вибростолике; вибротест-МГ4.01 – на теле образца, с обеих сторон. Испытания проводились при минимальной частоте вибрации (10 Гц) стеном, с приращением амплитуды вибрации. Приращение вибрационной нагрузки (амплитуды) проводилось ступенями, с выдержкой каждой ступени – 10 секунд, либо до обрушения ледяной корки, либо до максимальной мощности испытательного вибрационного стенда.

Для испытаний образцов на ударную нагрузку был выполнен специальный стенд, представленный стойкой с мерной лентой, к которой примыкал направляющий элемент трубчатого сечения. Максимальная высота подъема пригруза составляла 2,0 метра. Пригруз выполнен из сплошного металла цилиндрической формы, а ударная часть пригруза представлена конусом и полусферой (Рисунок 1Б). Приращение энергии удара осуществлялось за счет использования дополнительного пригруза, представленного цилиндрическими элементами. Приращение энергии удара проводилось либо до обрушения ледяной корки, либо ее точечного или локализованного прокола.



А. Испытания на вибрационное нагружение



Б. Испытание на ударную нагрузку

Рисунок 1. Испытание образцов нагрузкой

Также предполагалось испытание образцов на вибрационном стeнде после их испытаний на ударную нагрузку в случае недостаточности мощностей вибрационного воздействия для обрушения ледяной корки. В этом случае ударное точечное воздействие на образец должно быть равномерно, а главное, равнозначно для обоих образцов, распределено по их поверхности на равноудаленном расстоянии. Таким образом, искусственное нарушение сплошности ледяной корки приведет к ее сегментации и тем самым ослабит ее общее адгезийное сопротивление.

### Результаты и обсуждения

На рисунке 2 представлен график испытаний образцов на вибрационное воздействие. Испытания проведены при постоянной частоте колебаний вибрационной площадки  $\lambda=10$  Гц, с приращением амплитуды вибрации. На рисунке 2А представлены результаты испытаний образцов без предварительного воздействия на них ударной нагрузки, на рисунке 2 Б – результаты испытаний образцов после воздействия ударной нагрузкой. Первый пик на графике показывает момент первого нарушения сплошности ледяной корки (период времени, когда было освидетельствовано первое растрескивание льда или его скол), второй пик – момент полного нарушения сплошности (более 80% площади).

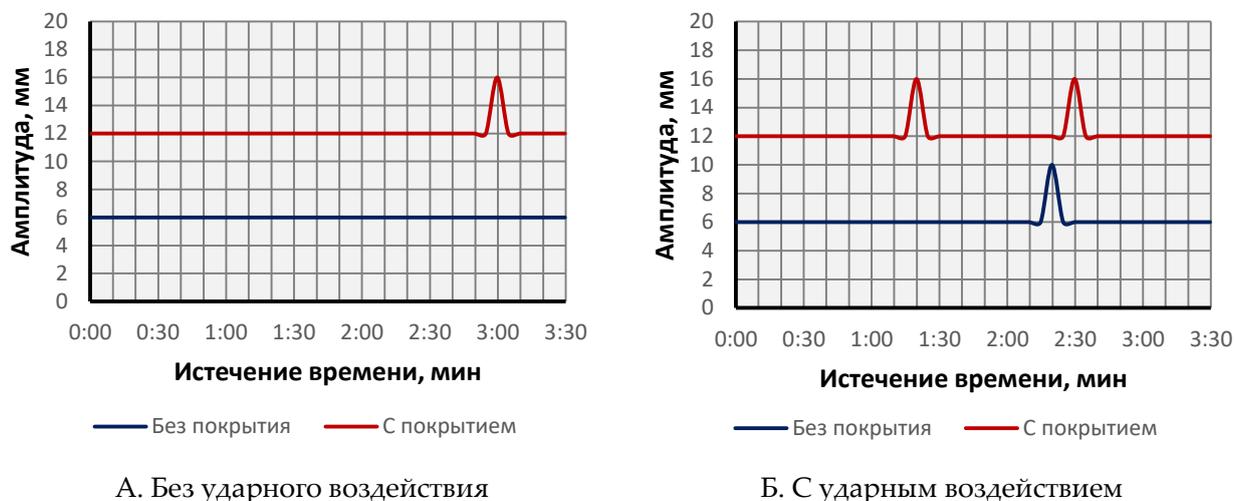


Рисунок 2. Результаты испытаний образцов на виброплощадке

Согласно результатам испытаний образцов без предварительного воздействия на них ударной нагрузки, выявлено, что нарушение сплошности наблюдалось только у образцов с ледофобным покрытием. При этом растрескивание ледяной корки носило локальный характер, с незначительным распространением растрескивания при увеличении амплитуды вибрации (Рисунок 3). Первичное нарушение сплошности наблюдалось по истечении 180 секунд после начала эксперимента, которому соответствует амплитуда колебаний – 18 мм. Образец без ледофобного покрытия оказался стойким к вибрационным нагрузкам (Рисунок 3), растрескиваний и нарушений сплошности не наблюдалось, что свидетельствует об относительно большом адгезивном сопротивлении ледяной корки по бетону без покрытия.

Согласно результатам испытаний образцов, предварительно подвергнутых ударной нагрузке, в обоих случаях выявлено нарушение сплошности. Первичное нарушение сплошности образца с ледофобным покрытием наблюдалось по истечении 80 секунд после начала эксперимента, при амплитуде колебаний 8 мм. У образцов без покрытия первичное нарушение сплошности наблюдается после 140 секунд, при амплитуде 14 мм. Поскольку первичное растрескивание произошло в результате ударной нагрузки, то первый пик на графике рисунка 3В соответствует моменту дальнейшего распространения трещин. Также у образца с ледофобным покрытием было освидетельствовано отслоение ледяной корки (Рисунок 3А), тогда как у образца без покрытия ледяная корка не имела каких-либо отслоений от бетонной поверхности (Рисунок 3Б).

Вышеизложенные факторы свидетельствуют о том, что у образцов без ледофобного покрытия наблюдается большее сцепление ледяной корки с бетонной поверхностью, чем у образцов с ледофобным покрытием.

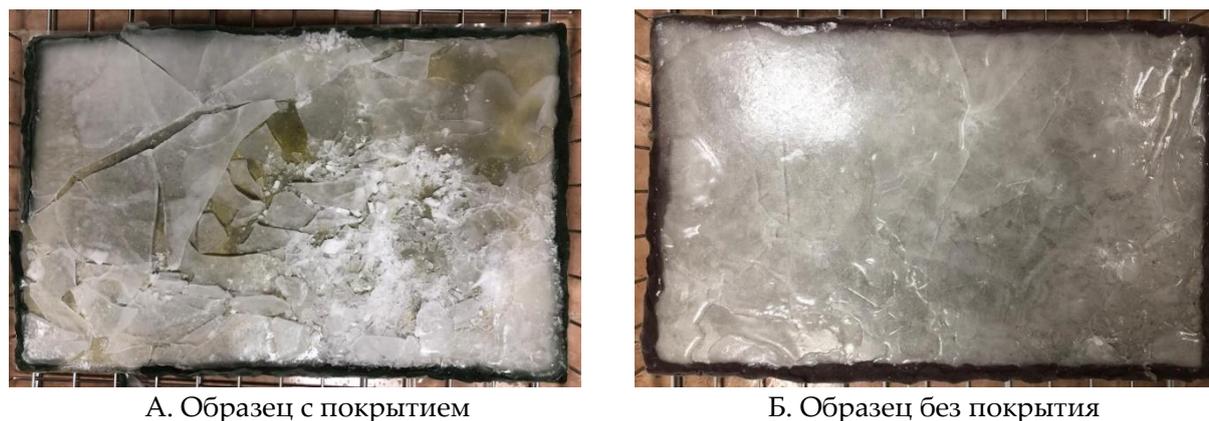


Рисунок 3. Образцы после испытаний на вибрационную нагрузку

На рисунке 4 представлены результаты испытаний образцов, подвергнутых ударной нагрузке. На ледяную поверхность каждого образца был сброшен пригруз общей массы 700 г, с высоты 2,0 м. Общее число ударов составляло – 25 ударов на каждый образец. Согласно визуальному освидетельствованию образцов после испытаний, была выявлена следующая тенденция: радиус распространения трещин у образцов без ледофобного покрытия меньше, чем у образцов с ледофобным покрытием. Трещины у образцов без покрытия сконцентрированы вблизи точки нанесения динамического удара, носят локальный характер, тогда как образцы с покрытием имеют большее радиальное распространение трещин, превышающее в 1,7-2,1 раза (по сравнению с образцами без покрытия). Также у образцов с покрытием наблюдается локальное скалывание ледяной корки, тогда как отслоений ледяной корки у образцов без покрытия не было освидетельствовано.

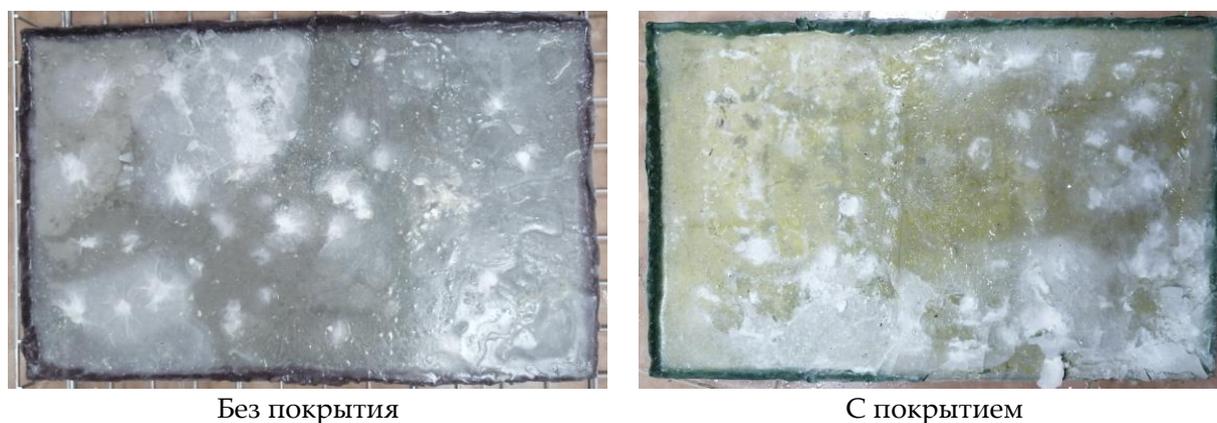
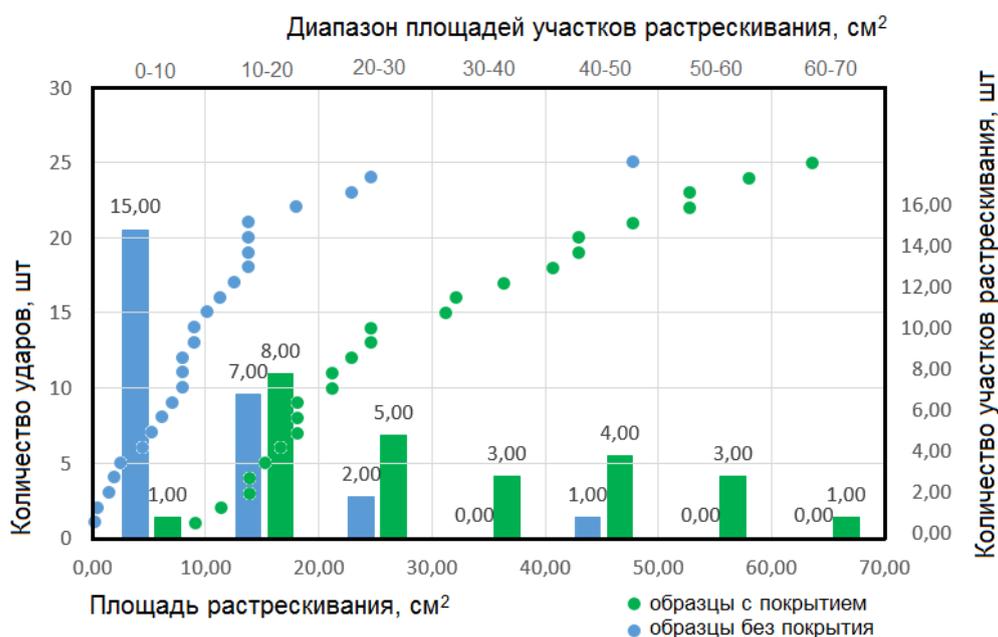


Рисунок 4. Образцы, после воздействия ударной нагрузки

На рисунке 5 представлены частные значения площадей растрескиваний отдельных ударов. Для составления диаграммы частные значения площадей растрескивания были сгруппированы по возрастающей – от меньшей площади к большей. На диаграмме каждой отдельной точке соответствует индивидуальная площадь растрескивания. Также на графике нанесены гистограммы, которые описывают статистические данные частных значений, то есть их принадлежность определенному диапазону площадей растрескивания, кратному 10 см<sup>2</sup>. Согласно данным, максимальное количество частных значений индивидуальных площадей растрескивания образцов без покрытий лежит в диапазоне от 0 до 10 см<sup>2</sup>, чему соответствует

60% общего количества ударов. При этом максимальный диапазон площади растрескивания не превышает 50 см<sup>2</sup>. Максимальное количество частных значений площадей образцов с покрытием в диапазоне от 10 до 20 см<sup>2</sup>. Другими словами, 32% от общего количества ударов имеют площадь раскрытия, не превышающую 20 см<sup>2</sup>. Также нужно отметить, что частные значения площадей растрескивания образца с покрытием имеют больший разброс данных по сравнению с частными значениями образца без покрытия. Максимальный диапазон площади растрескивания образца с покрытием составляет 70 см<sup>2</sup>.

Вышеизложенные факторы свидетельствуют об относительно меньшем адгезионном сопротивлении образцов с ледофобным покрытием по сравнению с образцами без покрытия.



**Рисунок 5. Частные значения площадей растрескивания**

### Выводы

- Технологической особенностью предложенного ледофобного покрытия является применение в его составе кератина, получаемого относительно не дорогим способом из отходов животноводческой промышленности. Ледофобное покрытие на основе кератина направлено на снижение адгезионного сопротивления ледяной корки бетонных дорог.

- Результаты лабораторных исследований на вибрационное воздействие показали, что покрытие обладает способностью снизить сцепление ледяной корки с бетонной поверхностью. У образцов с ледофобным покрытием наблюдалось существенное нарушение сплошности ледяной корки (до 80% от общей площади), с ее локальным отслоением, тогда как у образцов без покрытия было замечено лишь незначительное растрескивание ледяной корки.

- Результаты испытаний стойкости ледяной корки ударной нагрузке также показали положительный эффект применения ледофобного покрытия. Общая площадь растрескивания после нанесения 25 ударов у образца с ледофобным покрытием в 2,7 раз превышает площадь растрескивания образца без покрытия, а средний радиус распространения трещин превышает в 2 раза, что также подтверждает относительно меньшее адгезионное сопротивление образцов с применением ледофобного покрытия.

• В целом результаты исследований показали эффективность применения покрытия для бетонных дорог в качестве ледофобного материала. В результате снижения общей площади контакта от сплошной до точеной проявляется необходимое нам свойство льда – его хрупкость, которая имеет меньшую способность сопротивляться механическому воздействию и разрушаться при контакте с колесом, тем самым снижая риск управления автотранспортом при отрицательных температурах.

### Список литературы

1. Bertolini L., Elsener B., Pedferri P., Polder R. Corrosive Agents and Their Interaction with Materials / L. Bertolini, B. Elsener, P. Pedferri, R. Polder. -Wiley: Weinheim, 2014. - 392 p.
2. Shen Y. et al. Ice phobic materials: Fundamentals, performance evaluation, and applications // Progress in Materials Science. - 2019. - V. 103. - P. 509-557. doi: 10.1016/j.pmatsci.2019.03.004.
3. Zhang Z., Yao X., Wang H. Potential application of geopolymers as protection coatings for marine concrete III. Field experiment //Applied Clay Science. - 2012. - V. 67. - P. 57-60. DOI:10.1016/j.clay.2012.05.008.
4. Zhang Y. et al. Effect of surface energy on freezing temperature of water //ACS applied materials & interfaces. - 2016. - V. 8. - №. 27. – P. 17583-17590. doi:10.1021/acsami.6b02094.
5. Mundo R. D. et al. Recent Advances in Hydrophobic and Icephobic Surface Treatments of Concrete //Coatings. - 2020. - V. 10. - №. 5. - P. 449. doi: 10.3390/COATINGS10050449.
6. Hossain S. M. K., Fu L., Lu C. Y. Deicing performance of road salt: Modeling and applications // Transportation Research Record. - 2014. - V. 2440. - №. 1. - P. 76-84. doi: 10.3141/2440-10.
7. Boinovich L. B. et al. Modus operandi of protective and anti-icing mechanisms underlying the design of longstanding outdoor icephobic coatings //ACS nano. - 2019. - V. 13. - №. 4. - P. 4335-4346. doi:10.1021/acs.nano.8b09549.
8. Janjua Z. A. Icephobic nanocoatings for infrastructure protection // Nanotechnology in Eco-efficient Construction. - 2019. - P. 281-302. doi: 10.1016/B978-0-08-102641-0.00013-X.
9. Kahl S. C. Agricultural by-products for anti-icing and deicing use in Michigan. [Электрон.ресурc]. - 2021. - URL: <https://trid.trb.org/view/875403> (дата обращения: 01.02.2021).
10. He Y. et al. Reducing ice adhesion by hierarchical micro-nano-pillars // Applied Surface Science. - 2014. -V. 305. – P. 589-595. doi:10.1016/j.apsusc.2014.03.139.
11. Feng Z. et al. Integral hydrophobic concrete without using silane // Construction and Building Materials. – 2019. – V. 227. – P. 116678. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.116678.
12. Jia Q. et al. Experimental study on adhesion strength of freshwater ice frozen to concrete slab //Advanced Materials Research. – Trans Tech Publications Ltd, 2011. – V. 243. – P. 4587-4591. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.243-249.4587.
13. Makkonen L. Ice adhesion—theory, measurements and countermeasures // Journal of Adhesion Science and Technology. - 2012. - V. 26. - № 4-5. - P. 413-445. doi:10.1163/016942411X574583.
14. Шинтемиров К., Нургазиев Б., Аидарова С., Орынбеков С., Баиболов С., Шинтемиров Т., Базарбаев А. Кератиновый пенообразователь для производства пенобетонov. [Электрон.ресурc]. - 2021. - URL: [URL:https://kzpatents.com/0-pp9111-keratinovyjj-penoobrazovatel-dlya-proizvodstva-penobetonov.html](https://kzpatents.com/0-pp9111-keratinovyjj-penoobrazovatel-dlya-proizvodstva-penobetonov.html) (дата обращения: 01.02.2021).

Р.Е. Лукпанов<sup>1</sup>, Д.С. Дюсембинов<sup>2</sup>, Д.О. Базарбаев<sup>3</sup>, Д.В. Цыгулев<sup>4</sup>, С.Б. Енкебаев<sup>5</sup>

<sup>1,3</sup>Д. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің ЕНУ-Lab ғылыми-өндірістік орталығы,  
Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>2,4,5</sup>Д. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-сұлтан, Қазақстан

### Цементті бетонды жол жабынының мұзды-фобты қасиеттерін жақсартуға арналған сіңетін құрамы

**Аңдатпа.** Мақалада жабынның мұзды-фобты қасиеттерін жақсарту үшін қолданылатын цемент-бетон жолдарына арналған сіңетін құрамы қарастырылған. Сіңетін құрам кератинді өндіру технологиясына негізделген. Сіңетін құрамның айрықша компоненті - суда еритін полимерлерді қосуы болып табылады. Зерттеу критерийлерінің бірі – сіңдіру құрамының өнімділігі, оның механикалық әсерге адгезияға төзімділігі. Зерттеулер зертханалық жағдайда діріл мен соққы жүктемелерін қолдана отырып, үлкен үлгілерге (бетінің ауданы 1925 см<sup>2</sup>) жүргізілді. Сынақ нәтижелері мұзды-фобты жабынның тиімділігін көрсетті, өйткені барлық тәжірибелерде қапталмаған сынамалар мұз қабығының механикалық әсерге үлкен төзімділігін көрсетті.

**Түйін сөздер:** бетон жолдары, мұзды-фобты жабын, цемент-бетон, беріктік, зертханалық зерттеулер, құрылыс материалдары.

R.E. Lukpanov<sup>1</sup>, D.S. Dyusseminov<sup>2</sup>, D.O. Bazarbayev<sup>3</sup>, D.V. Tsygulyov<sup>4</sup>, S.B. Yenkebayev<sup>5</sup>

<sup>13</sup>Research and Production Centre ENU-Lab, L.N. Gumilyov Eurasian National University,  
Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>2</sup>Department "Technology of industrial and civil construction", L.N. Gumilyov Eurasian National University,  
Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>45</sup> Department "Design of Buildings and Structures", L.N. Gumilyov Eurasian National University,  
Nur-Sultan, Kazakhstan

### Impregnation composition for cement-concrete road pavement to improve its ice-phobic properties

**Abstract.** The article proposes an impregnation composition for cement concrete roads used to improve the ice-phobic properties of the pavement. The composition is based on the keratin production technology. The distinctive component of the composition is the addition of water-soluble polymers. One of the study criteria was to evaluate the performance of the impregnation composition, its adhesion resistance to mechanical impact. Tests were conducted for large samples (surface area 1925 cm<sup>2</sup>) in laboratory conditions with the application of vibration and shock loads. The test results showed the effectiveness of the ice-resistant coating, as in all experiments the uncoated specimens showed greater resistance of the ice crust to mechanical stress.

**Keywords:** concrete roads, ice-reflective coating, cement concrete, durability, laboratory tests, building materials

## References

1. Bertolini L., Elsener B., Pedferri P., Polder R., Corrosive Agents and Their Interaction with Materials (Weinheim, Wiley, 2014, 392 p.).
2. Shen Y. et al. Ice phobic materials: Fundamentals, performance evaluation, and applications, Progress in Materials Science. 2019. V. 103. P. 509-557. doi: 10.1016/j.pmatsci.2019.03.004.
3. Zhang Z., Yao X., Wang H. Potential application of geopolymers as protection coatings for marine concrete III. Field experiment, Applied Clay Science. 2012. V. 67. P. 57-60. DOI:10.1016/j.clay.2012.05.008.
4. Zhang Y. et al. Effect of surface energy on freezing temperature of water, ACS applied materials & interfaces. 2016. V. 8. No. 27. P. 17583-17590. doi:10.1021/acsami.6b02094.
5. Mundo R. D. et al. Recent Advances in Hydrophobic and Ice phobic Surface Treatments of Concrete, Coatings. 2020. V. 10. No. 5. P. 449. doi: 10.3390/COATINGS10050449.
6. Hossain S. M. K., Fu L., Lu C. Y. Deicing performance of road salt: Modeling and applications, Transportation Research Record. 2014. V. 2440. No. 1. P. 76-84. doi: 10.3141/2440-10.
7. Boinovich L. B. et al. Modus operandi of protective and anti-icing mechanisms underlying the design of longstanding outdoor ice phobic coatings, ACS nano. 2019. V. 13. No. 4. P. 4335-4346. doi:10.1021/acsnano.8b09549.
8. Janjua Z. A. Ice phobic nanocoatings for infrastructure protection, Nanotechnology in Eco-efficient Construction. 2019. P. 281-302. doi: 10.1016/B978-0-08-102641-0.00013-X.
9. Kahl S. C. Agricultural by-products for anti-icing and deicing use in Michigan, Available at: <https://trid.trb.org/view/875403> (accessed 01.02.2021).
10. He Y. et al. Reducing ice adhesion by hierarchical micro-nano-pillars, Applied Surface Science. 2014. V. 305. P. 589-595. doi:10.1016/j.apsusc.2014.03.139.
11. Feng Z. et al. Integral hydrophobic concrete without using silane, Construction and Building Materials. 2019. V. 227. P. 116678. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.116678.
12. Jia Q. et al. Experimental study on adhesion strength of freshwater ice frozen to concrete slab, Advanced Materials Research. Trans Tech Publications Ltd, 2011. V. 243. P. 4587-4591. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.243-249.4587.
13. Makkonen L. Ice adhesion - theory, measurements and countermeasures, Journal of Adhesion Science and Technology. 2012. V. 26. No. 4-5. C. 413-445. doi:10.1163/016942411X574583.
14. Shintemirov, K., Nurgaziev, B., Aidarova, S., Orynbekov, S., Baibolov, S., Shintemirov, T., Bazarbaev, A. Keratinovyy penoobrazovatel' dlya proizvodstva penobetonov [Keratin foaming agent for the production of foam concrete]. Available at: <https://kzpatents.com/0-pp9111-keratinovyjj-penoobrazovatel-dlya-proizvodstva-penobetonov.html> [in Russian], (accessed 01.02.2021).

### Сведения об авторах:

Лукпанов Рауан Ермагамбетович – Ph.D. по специальности «Строительство», ассоциированный профессор, директор НПЦ «ЕНУ-лаб», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

Дюсембинов Думан Серикович – к.т.н., доцент кафедры «Технология промышленного и гражданского», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

Базарбаев Данияр Омарович – Ph.D. по специальности «Строительство», доцент, главный специалист НПЦ «ЕНУ-лаб», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

*Цыгулев Денис Владимирович* – к.т.н., доцент кафедры «Проектирование зданий и сооружений», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

*Енкебаев Серик Бейсенгалиевич* – Ph.D. по специальности «Строительство», к.т.н., доцент кафедры «Проектирование зданий и сооружений», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

*Лукранов Рауан Ермагамбетович* - Ph.D. in Construction, Associate Professor, Director of RDC "ENU-Lab", L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Dusembinov Duman Serikovich* - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of "Technology of industrial and civil" chair, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Bazarbayev Daniyar Omarovich* - Ph.D. in Construction, associate professor, chief specialist of RPC "ENU-lab", L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Tsygulev Denis Vladimirovich* - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department "Design of buildings and structures", L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Enkebayev Serik Beisengaliyevich* - Ph.D. in Construction, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Design of Buildings and Structures", L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.