

## АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D074500 «Транспортное строительство»  
Есентай Дәурен Ерланұды на тему: **«Исследование влияния негигроскопических химических реагентов на разрушения структуры снежно-ледяного образования на автомобильных дорогах с цементобетонным покрытием»**

**Актуальность темы:** с быстрым ростом автомобильного парка, значительным увеличением грузооборота и объема перевозок пассажиров возрастают требования к содержанию автомобильных дорог и обеспечению безопасности дорожного движения. Особенно неблагоприятные условия для движения автомобилей возникают в зимнее время, когда на дорожном покрытии образуется слой снежно-ледяных накатов. По данным статистики Дорожной полиции Министерства юстиции Республики Казахстан на обледенелых дорогах отмечается до 35 % несчастных случаев и аварий. На скользкой дороге снижается скорость движения автомобилей и уменьшается производительность на 25-30 %.

Проблема зимнего содержания автомобильных магистралей на территории Республики Казахстан является весьма актуальной, так как величина их грузонапряженности, интенсивности и скорости движения постоянно возрастает. Протяженность автомобильных дорог с цементобетонным покрытием в Казахстане составляет более 1500 км, и они расположено в зонах с повышенной гололедопасностью.

Климатические условия Казахстана весьма разнообразны. Средняя температура воздуха самого холодного месяца в Акмолинской области в среднем составляет -25-27°C, в Восточных -31-36 °С, в Северных – -26-29 °С, а в Южных – 3-10 °С. Годовое количество осадков соответственно – 260-300, 340-370, 300-340 и около 150 мм, продолжительность холодного периода в году колеблется в пределах: 6-7, 6-7, 5-6 и 3-4 месяцев. Кроме того, в настоящее время в автодорожной сети Казахстана появляются дороги с цементобетонным покрытием. Специфическая особенность данной покрытий является в том, что здесь применения химических реагентов могут повреждать покрытие, повышается опасность шелушение бетона и потеря прочности из-за низкой солеустойчивости данного материала.

Принципиальных различий в технологии зимнего содержания автомагистралей разных стран нет. Для ликвидации зимней скользкости за рубежом используют хлориды, как твердые, так и жидкие, а для предотвращения снежных заносов применяют различные виды защит. Очистка автомагистралей от снега везде производится путем его механического удаления за пределы земляного полотна. Значительные

различия наблюдаются в уровне развития служб прогнозирования неблагоприятных погодных условий и предупреждения дорожников и участников движения о состоянии проезда по автомагистрали, рекомендуемым режимам движения и т.п.

**Научная новизна** работы заключается в следующем

- по результатам литературного анализа установлена характер образования гололеда на поверхности цементобетонных покрытий в зависимости от ее влажности и температуры воздуха; структуры льдообразования

- по результатам экспериментального испытания и теоретического анализа установлена корреляционная зависимость между плотностью распределения химических реагентов и силы сцепления льда над дорожным покрытием применительно для негигроскопических реагентов;

- в лабораторных условиях установлены влияния негигроскопических химических реагентов на снижения прочностных свойств цементобетонных покрытий.

**Практическая значимость.** Ценность данной диссертации – это применение негигроскопических материалов на дорогах Казахстана с цементобетонным покрытием, разработанная техническая правила приготовления и применения негигроскопических реагентов в жидком виде для разрушения структуры льдообразования с различной плотностью и толщиной.

Результаты исследования и разработанные практические рекомендации предназначены для принятия мер по борьбе со скользкостью на автомобильных и городских дорогах с твердыми типами покрытия и при приготовлении, распределении и хранении химических реагентов в жидком виде в дорожно-эксплуатационных и коммунальных службах.

**Апробация.** В процессе выполнения диссертационной работы ее результаты доложены в производственных совещаниях Алматинского областного филиала РГП «Казахавтодор» и научно-практических конференциях КазАДИ им. Л.Б. Гончарова.

**Публикация,** включают статьи в журналах «Промышленный транспорт»(Алматы, 2020), «Известия. Серия химии и технологии» НАН РК (Алматы, 2021), «QazBSQA Хабаршысы. Құрылыс конструкциялары және материалдары No.1 (79)» (Алматы, 2021), а также рейтинговых журналах

«Известия. Серия геологии и технических наук» НАН РК (Алматы, 2020),

«International Journal of Geomate» (Japan, 2021).

**Положения, выносимые на защиту**

- результаты проведения эксперимента по определению устойчивости автомобильных дорог с цементобетонным покрытием дали возможность определить, что применение химических реагентов весьма эффективно

уменьшает силы сцепления между снежно-ледяными образованиями и цементобетонным покрытием по сравнению с «чистым» льдом: при плотности распределения  $q_n=50$  г/м<sup>2</sup> хлориды в 10-15 раз, а при  $q_n = 100$  г/м<sup>2</sup> в 20-30 раз.

- результаты полевых исследований и теоретических расчетов по оценке прочности цементобетонных покрытий на устойчивость воздействия химических реагентов;

- теоретическая модель определения композиции различных химических реагентов в составе противогололедной смеси и результаты расчета по установлению корреляционной зависимости между плотностью распределения химических реагентов и силы сцепления льда над дорожным покрытием;

- результаты по выбору композиции противогололедных реагентов и результаты расчета для определения процентного содержания различных видов реагентов в составе противогололедного раствора;

**Структура и объем.** Докторская диссертация состоит из введения, 4 глав, общих выводов и заключения. Диссертация изложена на 130 страницах, включая введение, 55 рисунков, 19 таблиц, общие выводы, заключения и список литературы из 65 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

В первом разделе «**Проблемы зимнего содержания автомобильных дорог в условиях резкоконтинентального климата**» приведены результат комплексного анализа способов борьбы со скользкостью на автомобильных дорогах. Однако только с помощью химических веществ обеспечивается полное удаление льда или уплотненного снега с поверхности дорожного покрытия, которое необходимо для обеспечения уровня безопасности движения автомобильного транспорта. В связи с чем, химические реагенты широко применяются как в зарубежных странах, так и у нас. Химический метод ликвидации скользкости на дорожном покрытии незаменим в местах острой нехватки техники, в стесненных условиях работы машин, а также местах, требующих качественной очистки покрытия: на подходах к перекрестку, поворотах, спусках, на тротуарах с высокой интенсивностью на остановках общественного транспорта. В зависимости от своих физико-химических свойств и характера применения различают разные виды противогололедных химических реагентов.

### **Выводы по первому разделу**

1. Степень риска попасть в ДТП на полностью или частично покрытом снегом или льдом дорожном покрытии в 4,5 и 1,5 раз выше, чем на чистом сухом покрытии.

2. Прогнозирование зимней скользкости на основе местных региональных метеорологических условий и синоптических процессов, является эффективным методом предупреждения образования зимней скользкости с вытекающими последствиями. Образование скользкости наиболее вероятно при температуре воздуха от  $-2^{\circ}\text{C}$  до  $-6^{\circ}\text{C}$ , относительной влажности воздуха от 65 до 85%.

3. В мировой практике борьбы с гололедом и зимней скользкостью четко выступает тенденция в пользу химического способа. Химический способ, уже много лет применяемый в Англии, Франции, Голландии, Германии, США, Швейцарии и других странах, оправдал себя.

4. Применение противогололедных химических реагентов является эффективным и наиболее дешевым средством для успешного устранения опасной зимней скользкости дорог. При сравнении с фрикционным методом, расход материала от применения солей уменьшается в 6,7 раз, затраты времени снижаются в 2,6 раз, а производительность увеличивается в 6 раз.

5. Основными требованиями, предъявляемыми к противогололедным химическим реагентам, является проникание сквозь слои снега и льда, разрушая межкристаллические связи, снижение сил смерзания слоев отложений с дорожным покрытием, а также экологическая безопасность.

6. Наиболее выразительную характеристику процессам плавления-замерзания систем «вода-химический реагент» дают диаграммы плавкости.

7. Использование каменной соли с предварительным увлажнением в соотношении 8-12 % растворами более низкой температуры эвтектики, к примеру, хлористым кальцием, повышает эффективность таяния, снижает нормы расхода реагента на км дороги, а также температуру кристаллизации хлористого натрия и удешевляет работы по зимнему содержанию, увеличивает производительность труда и уменьшает вероятность ущерба окружающей среде.

Во втором разделе «**Теоретическое обоснование химического метода борьбы со скользкостью**» представлены научные подходы к процессу образования гололеда на поверхности дорожного покрытия, который является весьма сложным в значительной степени зависящий от температуры и влажности среды, и теплообменного процесса, передаваемого от колес движущихся автомобилей при скольжении (торможении) и качении. На процесс образования гололеда также влияют климатические особенности, такие, как суточный перепад температуры воздуха и физико-механические свойства самого снежно-ледяного образования. Обледенение наземных предметов характеризуется многообразием видов и форм. Существует несколько классификаций гололедно-изморозевых явлений и различных видов зимней скользкости, дорожных и аэродромных покрытий, в основу которых положены

определенные понятия: процессы образования, структура отложений, физические свойства и т.д.

### **Выводы по второму разделу**

1. Нет необходимости полностью расплавлять снежно-ледяное отложение, достаточно лишь ослабить сцепление между поверхностью дорожного покрытия и льдом для дальнейшей механизированной очистки.

2. Предложенная математическая модель расчета фазового состава двухкомпонентных систем «вода–химический реагент» на основе графоаналитического метода диаграмм плавкости дает возможность решить следующие задачи:

- определить норму расхода химического реагента для частичного расплавления снежно-ледяных образований и снижения сил сцепления между льдом и дорожным покрытием с возможностью его последующей механизированной очистки;

- определить весовое соотношение жидкой и твердой фазы, изменение влажности системы при заданной норме расхода химического реагента с учетом температурно-влажностных характеристик снежно-ледяных образований.

3. Теоретический расчет нормы расхода химического реагента и определение фазового состава системы на основе разработанной математической модели также позволит:

- наиболее точно определить концентрацию соли необходимую для снижения сил сцепления наледи с дорожным покрытием, учитывая их температурно-влажностные характеристики;

- облегчить мониторинг состава и количества фаз двухкомпонентных систем «вода–химический реагент» во времени и влияние их на сцепные качества дорожных покрытий;

- исключить перерасход соли и тем самым снизить ее агрессивное воздействие на окружающую среду;

- определить изменение влажности снежно-ледяного образования при взаимодействии с химическими реагентами.

4. Лед наиболее интенсивно плавится в течение первого часа, когда происходит наиболее активное взаимодействие химического вещества со льдом. В течение данного периода расплавляется до 70-80 % от его полного ресурсного количества. Далее реакция взаимодействия угасает до ее полной остановки. Продолжительность эффективного действия хлоридов зависит от температуры и составляет около 2 часов при температуре воздуха  $-5^{\circ}\text{C}$  и влажности снега  $W=15\%$ .

5. Значительное влияние в процессе применения химических реагентов при борьбе со скользкостью оказывает действие тепловой эффект. При расплавлении  $1\text{ м}^2$  ледяной корки толщиной 5 мм при  $0 - 2^{\circ}\text{C}$  требуется 100-

120 г хлорида магния, и только за счет фактора тепловыделения при взаимодействии химического реагента со снежно-ледяным образованием расплавляется до 480-570 г льда от его полной массы 4500 г.

В третьем разделе «Разработка методики экспериментальных исследований по приготовлению эксплуатационных материалов» рассмотрены научные и практические вопросы применения химических веществ для борьбы с зимней скользкостью дорожных покрытий основывается на том, что при взаимодействии со льдом химические вещества, в частности хлористые соли, вызывают разрушение кристаллической структуры льда, в результате чего он тает (плавится) и образуется соляной раствор, имеющий температуру замерзания более низкую, чем вода. Также были проведены экспериментальные исследования цементобетона на солеустойчивость в лабораторных условиях.

### Выводы по третьему разделу

1. Применение химических реагентов весьма эффективно уменьшает силы сцепления между снежно-ледяными образованиями и цементобетонным покрытием по сравнению с «чистым» льдом: при плотности распределения  $q_n = 50$  г/м<sup>2</sup> хлориды в 10-15 раз, а при  $q_n = 100$  г/м<sup>2</sup> в 20-30 раз. При использовании 3-компонентной противогололедной смеси «Бишофит-Мочевина-Техническая соль» наименьшее усилие сдвига (371,2 кг/м<sup>2</sup>) наблюдается при составе смеси №7 с общим расходом 65 г/м<sup>2</sup>. Наименьшее значение сил сцепления (52,0) 2-компонентной смеси «Бишофит-Мочевина» имеет состав смеси №3 с общим расходом 75 г/м<sup>2</sup>.

2. Применение химических реагентов в IV-V дорожно-климатической зоне требует особого контроля выполнения технологических процессов. Необходимо выполнить полную очистку проезжей части от снега в течение 1,5-2,5 часа для IV-V дорожно-климатических зон, и 2-3,5 часов для II-III дорожно-климатических зон при температуре воздуха до -10 °С. При температуре ниже  $t = -10$  °С на дорогах с резко континентальным климатом (IV-V) применение химических реагентов с эндотермической реакцией (например, NaCl) не рекомендуется. А при использовании химических реагентов с экзотермическим характером теплового эффекта (MgCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>) необходимо выполнить полную очистку проезжей части от снега в течение 1 часа.

3. Длительность эффективного действия химических реагентов зависит от влажности снежно-ледяного образования. Продолжительность эффективного действия хлоридов при плотности распределения 50 г/м<sup>2</sup> составила 1-1,5 часа. При внесении нормы распределения 100 г/м<sup>2</sup>, продолжительность эффективного действия у таких солей, как: хлориды магния и кальция наблюдалась около 10 часов. Продолжительность

взаимодействия следующих солей: мочевины, ацетаты аммония и магния, хлорид магния (бишофит) могло длиться сутки и более.

4. При россыпи бишофита ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ), мочевины, ацетата магния наблюдается активное вступление в реакцию (кипящий эффект). Более слабо (медленно) реагирует сульфат натрия ( $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ ).

5. Концентрация жидких противогололедных солей определялась в лаборатории КазАДИ. В качестве противогололедных материалов были использованы хлористый натрий (ГОСТ 4233.77), шестиводный хлористый магний (бишофит, ГОСТ 4209.77), шестиводный хлористый кальций (ГОСТ (ТУ): ФС 42-2567-94) и технический карбамид (мочевина, ГОСТ 6691-77). Перед выбором противогололедные реагенты, в соответствии с ПР РК 218-64-2007, проходили сертификационный контроль в специализированных лабораториях.

6. В лаборатории КазАДИ определялась оптимальная концентрация химических солей с учетом температуры воздуха и потери прочности цементобетонных образцов в солевых растворах. В качестве экспериментального материала использован хлористый натрий.

7. В процессе испытания на сжатия в прессе определялись потеря прочности цементобетонного образца в солевых растворах. В качестве испытуемых материалов приняты бетоны марки В20 и В35. По результатам данных испытаний установлено зависимость между показателями прочности на сжатия и продолжительностью цементобетонного образца в 25 %-м растворе.

8. По результатам испытания на сдвиг установлена зависимость между продолжительностью действия химических растворов от их концентрации с учетом плотности снежно-ледяного образца и температуры воздуха.

В третьем разделе «**Технология и организация работ по ликвидации скользкости на автомобильных дорогах химическим методом**» рассматривается возможность внедрения технология работ по предупреждению образования скользкости предусматривает распределение хлоридов непосредственно во время снегопада, пока свежеснеживший снег еще не уплотнился в результате движения автомобилей. Профилактический способ ликвидации зимней скользкости позволяет обеспечить допустимые сцепные качества покрытий и безопасность движения в зимний период, уменьшить вредное воздействие ПГМ на окружающую среду за счет применения рациональной технологии и минимально допустимых норм распределения ПГМ, а также снизить затраты дорожной службы на борьбу с зимней скользкостью. Однако эффективность этого способа возможна лишь при обеспечении зимних работ специализированными прогнозами образования зимней скользкости.

## Выводы по четвертому разделу

1. Необходимо строго соблюдать правила технологии, режим уборки снежно-ледяной массы с проезжей части: выдержку, обработку свежавыпавшего снега ПГМ, интервал, очистку покрытия от снега. А также исключить передозировку соли.

2. При распределении химических реагентов особое значение имеет влажность снежно-ледяного образования. И от этого зависит их норма посыпки. Поэтому при профилактическом методе во II-III дорожно-климатических зонах достаточно распределять кристаллические химические вещества в норме 20-30 г/м<sup>2</sup>, а в IV-V из-за резко-континентального климата эта норма не удовлетворяет критической применимости материалов, поэтому ее необходимо увеличивать до 1.5 раз. Полная очистка должна осуществляться через 3-5 часов во II-III дорожно-климатических зонах и через 2-4 часа в IV-V.

3. Продолжительность вступления в реакцию кристаллов хлоридов при температуре воздуха до -5 °С составляет в среднем 5-15 мин, а при понижении температуры до -15 °С продолжительность увеличивается до 15-30 мин.

4. При температуре ниже  $t = -10^{\circ}\text{C}$  для восточной и северной частей Казахстана ( $W_0 = 67-72\%$ ) применение эндотермических действующих химических реагентов не рекомендуется, а при использовании экзотермических химических реагентов необходимо строго соблюдать технологию уборки снега.

5. Профилактический способ позволяет снизить затраты, обеспечить допустимые сцепные качества покрытий и безопасность движения в зимний период, уменьшить вредное воздействие солей на окружающую среду.

6. Применение аварийного метода наиболее приемлемо в стесненных условиях работы машин, а также местах, требующих качественной очистки покрытия: на подходах к дорожным узлам, поворотах, спусках, на тротуарах с интенсивностью более 750 пеш/ч, на остановках общественного транспорта и искусственных сооружениях.

7. Использование химических противогололедных материалов не рекомендуется: на проезжей части железобетонных мостов, путепроводов, переездов; на дорогах, где проходит трамвайный путь и не обеспеченных стоком поверхностных и боковых вод.

8. С целью снижения отрицательного воздействия химических реагентов на окружающую среду рекомендуется принятие следующих мер:

- инактивация или снижение активного действия химических реагентов, с помощью ионообменных смол, органических веществ сорбирующих реагентов, либо снижение их поступления через почву;

- выращивание культур, устойчивых к загрязнению и способных выносить из почвы токсичные вещества;



- применение ингибиторов коррозии (добавок, вводимые в бетон в целях предохранения арматуры от коррозии);
- при температуре ниже  $-17^{\circ}\text{C}$  применять соли не рекомендуется.

## Список публикаций

1. Киялбаев А.К., Есентай Д.Е., Киялбай С.Н., Кадыров Ж.Н.,  
Автоматическая система распределения жидких противогололедных реагентов на обледенелое покрытие автомобильных дорог мегаполиса // Патент №34163. - Алматы 2018 г.
2. Киялбаев А.К., Есентай Д.Е., Киялбай С.Н., Кадыров Ж.Н.,  
Прибор для измерения сил сцепления между снежно-ледяным образованием и дорожным покрытием // Патент №34164. - Алматы 2018 г.
3. Есентай Д.Е., Киялбаев А.К., Киялбай С.Н., Структура разрушения цементобетонных покрытий от воздействия химических реагентов // Промышленный транспорт Казахстана. - Алматы 2020 г. - № 4 (69). – С. 98-102
4. Есентай Д.Е., Киялбаев А.К., Киялбай С.Н., Борисюк Н.В.,  
Обоснование применения противогололедных химических реагентов на автомобильных дорогах с цементобетонным покрытием // Известия национальной Академии наук. Серия химии и технологии. - Алматы 2021 г. - № 1 (445). – С. 112-118
5. Есентай Д.Е., Влияние противогололедных химических реагентов на снижение прочностных свойств цементобетона // QazBSQA Хабаршысы. Құрылыс конструкциялары және материалдарды. - Алматы 2021 г. - № 1 (79). – С. 216-221
6. Есентай Д.Е., Киялбаев А.К., Жидкие противогололедные реагенты: технология приготовления // Вестник ЗКИТУ. - Уральск 2018 г. - № 1. – С. 265-268
7. D.Y.Yessentay, A.K.Kiyalbayev, S.N.Kiyalbay, N.V.Borisyk  
Reliability criterion and a model for determining the optimal speed of movement on automobile roads in winter sliding conditions // Известия национальной Академии наук. Серия химии и технологии. - Алматы 2020 г. –№6 (444). – P. 119-125.
8. D.Y.Yessentay, A.O.Sagybekova, A.Tulebekova, T.Myzdybayeva  
Reliability criterion for calculation of the optimum driving speed on road winter // International Journal of Geomate. - Japan 2021 г. Vol. 21 issue 83. – P. 72-78.