

Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова

УДК: 625.855:577.4

На правах рукописи

ЕСЕНТАЙ ДӘУРЕН ЕРЛАНҰЛЫ

Исследование влияния негигроскопических химических реагентов на разрушения структуры снежно-ледяного образования на автомобильных дорогах с цементобетонным покрытием

6D074500 - Транспортное строительство

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Научный руководитель
Киялбаев А.К., д.т.н., проф.

Зарубежный консультант
Маданбеков Н.А., к.т.н., доц.
Кыргызский гос. ун-т
строительства, транспорта
и архитектуры им. Н. Исанова

Республика Казахстан
Алматы, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	4
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	6
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ПРОБЛЕМЫ ЗИМНЕГО СОДЕРЖАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ РЕЗКОКОНТИНЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТА.....	10
1.1 Состояние вопроса и актуальность темы исследования.....	10
1.2 Причины возникновения снежно-ледяных образований и их классификация, применительно к IV-V дорожно-климатическим зонам.....	13
1.3 Основные факторы образования скользкости на автомобильных дорогах и способы борьбы с ними.....	22
1.4 Традиционные методы применения химических реагентов при борьбе со скользкостью.....	32
Выводы по 1 разделу.....	39
2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА БОРЬБЫ СО СКОЛЬЗКОСТЬЮ.....	40
2.1 Теоретические предпосылки образования скользкости на автомобильных дорогах и коэффициент сцепления.....	40
2.2 Теория взаимодействия льда с химическими реагентами.....	44
2.3 Правило фазовых переходов при взаимодействии льда с химическими реагентами.....	45
2.4 Диаграммы растворимости как составная часть диаграмм плавкости.....	52
2.5 Пример определения плотности распределения противогололедных химических реагентов, распределяемых при аварийном методе.....	58
2.6 Термический анализ двухкомпонентных систем.....	62
2.7 Фон химических и физических реакций между различными антиобледенителями.....	63
Выводы по 2 разделу.....	70
3 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРИГОТОВЛЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	72
3.1 Общие положения проведения экспериментальных испытаний по выбору эксплуатационных материалов.....	72
3.2 Методика подбора и приготовления противогололедного раствора и результаты лабораторного испытания.....	73
3.3 Определение силы смерзания снежно-ледяного образования в лабораторных условиях.....	77
3.4 Анализ экспериментальных данных и сопоставление их с возможностями средств механизации.....	84

3.5 Результаты экспериментальных исследований цементобетона на солеустойчивость в лабораторных условиях	86
Выводы по 3 разделу.....	89
4 ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО ЛИКВИДАЦИИ СКОЛЬЗКОСТИ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ.....	91
4.1 Практические рекомендации по выбору и приготовлению проведения работ при борьбе со скользкостью с использованием химических реагентов.....	91
4.1.1 Практические рекомендации по применению химических реагентов в зоне с резкоконтинентальным климатом.....	96
4.2 Технологические правила по приготовлению противогололедных реагентов и технические требования к ним.....	100
4.3 Технические требования к средствам механизации при распределении противогололедных материалов на дорогах с цементобетонным покрытием.....	107
4.4 Технология и организация работ по борьбе с зимней скользкостью.....	109
4.5 Расчет требуемого количества материалов на базах противогололедных материалов.....	112
4.6 Пример расчета по определению нормы времени и расценок по приготовлению противогололедных растворов.....	115
Выводы по 4 разделу.....	119
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	121
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	124
ПРИЛОЖЕНИЕ А - Климатические характеристики района исследования.....	130
ПРИЛОЖЕНИЕ Б - Классификация и характеристики противогололедных солей.....	132
ПРИЛОЖЕНИЕ В - В.1. Функции зависимости температуры от количественного соотношения двухкомпонентных систем.....	135
ПРИЛОЖЕНИЕ Г - Г.1. Расчет норм расхода противогололедных химических материалов(NaCl, CaCl₂, MgCl₂, Антиснег-1, Нордвей) при расплавлении 20% от общей массы системы.....	140

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертационной работе применяются следующие определения:

Загрязнение химическое - изменение естественных химических свойств среды, превышающее среднесуточные колебания количества каких-либо веществ для рассматриваемого периода времени;

- проникновение в среду химических веществ, в норме отсутствующих в ней или изменяющих естественную концентрацию до уровня, превышающего обычную норму.

Концентрация предельно допустимая (ПДК) – норматив концентрации химического соединения, которая при ежедневном воздействии в течение длительного времени на организм человека не вызывает каких-либо патологических изменений или заболеваний, обнаруживаемых современными методами исследования, а также не нарушает биологического оптимума для человека.

Коэффициент скользкости – отношение значения фактического коэффициента продольного сцепления колес с покрытием к его допускаемому значению при нормальном состоянии покрытия данного типа.

Накат снежный – снег на покрытии дорог, подвергающийся значительному уплотнению интенсивным движением автомобилей.

Нормативы экологические – количественные уровни (величины), регулирующие степень антропогенного воздействия на природу и среду обитания. Включают в себя предельно допустимые нормативные нагрузки на окружающую среду.

Обледенение – состояние поверхности проезжей части, покрытой инеем или изморосью, или характеризующийся снижением коэффициента сцепления колес автомобиля с покрытием.

Скользкость зимняя – собирательное понятие всех зимних метеорологических явлений, значительно снижающих коэффициент сцепления дорожных покрытий (гололед, накат, ледяной покров, изморось и др.).

Содержание дорог зимнее – комплекс мероприятий по обеспечению бесперебойного движения на автомобильной дороге в зимнее время, включающий: очистку дорог от снега, защиту дорог от снежных заносов и снежных лавин, борьбу с зимней скользкостью и наледями.

Соли противогололедные – соли промышленного производства, применяемые для оттаивания льда или тонкого снежного покрова на дорожных покрытиях (NaCl, CaCl₂, MgCl₂ и др.).

Твердость снега – сопротивление снега деформации или хрупкому разрушению.

Токсичность – ядовитость, способность некоторых химических элементов, соединений и биогенных веществ оказывать вредное воздействие на человека, животных, растений, грибы, микроорганизмы.

Точка росы - температура, при которой содержащийся в воздухе водяной пар достигает насыщения и конденсируется на предметах.

Экологическая безопасность автомобильной дороги – состояние защищенности окружающей природной и социальной среды от воздействия дороги на этапах строительства, реконструкции и эксплуатации, когда параметры воздействия дороги на среду не выходят за пределы фоновых значений или не превышают санитарно-гигиенических (экологических) нормативов. В этом случае функционирование природных экосистем на придорожных территориях без каких-либо изменений обеспечивается неопределенно долгое время.

Экологическая безопасность состояния автомобильной дороги и придорожной территории оценивается с помощью экологически значимых показателей и измерителей воздействия дороги на окружающую среду.

Экологическое воздействие – последствия любых (преднамеренных или случайных, постепенных или катастрофических, положительных или отрицательных) антропогенных изменений природных объектов, параметров состояния окружающей среды и факторов, связанных с созданием и эксплуатацией транспортной и специальной техники, строительством и эксплуатацией автомобильных дорог и инженерных сооружений.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

- ДТП – дорожно-транспортное происшествие
КАС – карбамидно-аммиачная селитра
НКММ – реагент разработан на основе нитрата кальция магния и мочевины
НКМ (АНС) – химический реагент на основе нитрата кальция и мочевины
ННХК – нитрат-нитрит-хлорид кальция
ПАВ – поверхностно-активные вещества
ППК – портативный прибор показаний коэффициента сцепления ПГМ –
противогололедные материалы
ППС – пескосоляная смесь
ПГС – песчано-гравийная смесь
СДБ – сульфитно-дрожжевая бражка
ССБ – сульфитно-спиртовая барда
ТЭЦ – тепловая энергетическая централь
ТДК – транспортно-дорожный комплекс
ТЭСАД – транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог
ХКФ – хлористый кальций чешуированный
ХКМ – хлористый кальций модифицированный

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. С значительным ростом автопарка, при стремительном увеличении грузового оборота и объема пассажироперевозок, повышаются условия к содержанию автодорог и качественному обеспечению безопасности дорожного движения. Исключительно негативные обстоятельства для передвижения автомобилей обычно начинаются в зимнее время, когда на дорогах образуется снежно-ледяной слой накатов.

По данным статистики Дорожной полиции Министерства юстиции Республики Казахстан (РК), отмечается до 35% дорожных происшествий на обледенелых дорогах, что приводит к значительному количеству аварий и несчастных случаев. На таких дорогах уменьшается скорость движения автомобилей и эффективность на 25-30%.

В зимнее время на территории Казахстана содержать автомобильные магистрали является весьма проблематичной, в связи с тем, что грузонапряженность, интенсивность и скорость движения автомобилей постоянно растет, поэтому данная проблема является актуальной. Протяженность цементобетонных автодорог в Казахстане в зоне повышенной гололедности составляет более 1500 км.

По данным ПР РК 218-64-2007, 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.

А также, в настоящее время в РК постепенно появляются дороги с цементобетонными покрытиями. Их специфическая особенность заключается в применении химических реагентов, что в свою очередь могут повредить покрытие, тем самым, увеличивая опасность шелушения бетона и потерю прочности из-за пониженной солеустойчивости этого материала.

Особенных отличий в технологии содержания автодорог зимой в различных странах мира нет. Для устранения скольжения за границей употребляют твердые, так и жидкие хлориды, а для недопущения заносов используют разные виды защиты. Автомагистрали от снега чистят механически путем удаления застывшего слоя за пределы полотна. Существенные отличия имеются лишь в службах прогноза неблагоприятных метеорологических условий и предупреждения о состоянии проезда, рекомендуемых режимах движения и т.д.

Цель диссертационной работы состоит в изучении применения негигроскопических химических реагентов для предотвращения скользости на автомобильных дорогах с цементобетонным покрытием, применительно для резкоконтинентальных климатических зон и разработать технологии их приготовления и применения.

Задачи исследования

- изучить физико-механических свойств негигроскопических противогололедных реагентов и условий их применения на автомобильных дорогах с цементобетонным покрытием и установить характер образования гололеда на поверхности цементобетонного покрытия в зависимости от ее влажности и температуры воздуха, а также ее структуры и условий увлажнения;
- теоретически обосновать механизмов разрушения структуры снежно-ледяных образований от воздействия негигроскопических химических реагентов и установить корреляционную зависимость между плотностью распределения химических реагентов и силы сцепления льда над дорожным покрытием;
- разработать методику выбора концентрации смесей из негигроскопических противогололедных реагентов и теоретически установить доли их распределения в составе противогололедной жидкой;
- экспериментально-теоретически определить устойчивости цементобетонных покрытий от шелушения и потери прочности против воздействия химических реагентов с учетом концентраций негигроскопических химических растворов и физико-механических свойств снежно-ледяных образований.

Объектами исследования являются: автомобильные дороги с твердым типом покрытий и противогололедные химические негигроскопические реагенты.

Научная новизна работы

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

Практическая ценность работы. 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 «Казхавтодор» 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/м² хлориды в 10-15 раз, а при $q_n = 100$ г/м² 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 разделов, общих выводов и заключения. Диссертация изложена на 130 страницах, включая введение, 55 рисунков, 19 таблиц, общие выводы, заключения и список использованных источников из 65 наименований [1].

1 ПРОБЛЕМЫ ЗИМНЕГО СОДЕРЖАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ РЕЗКОКОНТИНЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТА

1.1 Состояние вопроса и актуальность темы исследования

Проблеме борьбы с зимним буксованием на дорогах в настоящее время уделяется первоочередное внимание во всех странах, на территорию которых ежегодно воздействуют отрицательные температуры.

Увеличение объемов автомобильных перевозок, увеличение скорости и интенсивности движения требуют совершенствования дорог, их инженерного оснащения и транспортно-эксплуатационных характеристик при проектировании и эксплуатации. Назрела необходимость создания равных условий движения во все периоды года. В связи с этим известный ученый Российской Федерации профессор В.Ф. Бабков отмечал следующее: «Исходя из назначения дороги, как сооружения для автомобильного транспорта, следует признать, что единственным показателем ее качества и критерием сравнения вариантов является возможная скорость движения, ее абсолютная величина по участкам и плавность смены».

Дорожное покрытие зимой может быть сухим и мокрым, чистым и покрытым снегом или льдом, неровным и скользким, ровным и с рытвинами и выбоинами. Эти условия могут быть на всей ширине проезжей части и на большом участке дороги, а могут занимать лишь небольшую часть дорожной одежды, образуя отдельные пятна. Исследования и наблюдения профессора А.П. Васильева [2-6] позволили установить факторы, существенно влияющие на эксплуатацию автомобилей в этих условиях (рисунок 1.1). Основными из них являются снежные отложения, создающие характерные условия движения зимой.

Когда температура воздуха близка к нулю, под колесами тает мокрый снег; мокрое покрытие может быть при температуре воздуха до -5°C , а при использовании противогололедных солей или химических растворов - при более низкой температуре. Мокрое покрытие может быть во время оттепелей, во время снегопада при плюсовой температуре.

Погодные и климатические факторы существенно влияют на системы безопасности автомобиля и надежность их работы. Так, в автомобильных шинах и деталях из резины и под нагрузкой деформации возникают при низких температурах. Потеря эластичности шин ухудшает их сцепление с поверхностью покрытия, в результате чего возможен занос ведущих колес даже на ровных участках заснеженной или обледенелой дороги [6, с. 8].



Рисунок 1.1 – Основные факторы, определяющие уровни автомобильного движения в зимний период

Исследования А.П. Васильева, В.М. Сиденко, М.В. Немчинова, Г.В. Бялобжеского и др., внесли значительный вклад в изучение природно-климатических особенностей зимнего периода. Также в этих работах рассмотрены их влияния на характер образования снежно-ледяных отложений на дорожных покрытиях, изучены и предложены методы борьбы с зимним буксованием с учетом климатических условий [4, с. 112; 7-11].

Изучение физико-механических свойств снега и влияния климатических условий, виды и свойства противогололедных материалов - химических реагентов вели В.Б. Ратинов, Г.Л. Карабан, Н.П. Орнатский. В процессе исследования изучены области их применения, влияние гололеда на транспорт и оперативных показателей [12-15].

Более подробно и широко методы профилактики лечения зимнего гололеда дорог изучены в условиях Казахстана, казахстанскими учеными А.К.

Киялбаевым, А.А. Кунгурцевым, Д.В. Ивановым.. Метеорологический фактор характеризует учебную программу, установление образа и последствий, интерес [7,с. 224].

Зимняя скользкость дорожного покрытия измеряется пятью видами снежно-ледяных отложений, обработка которых включает:

- Виды замерзания, возникающие при понижении уровня воздуха и замерзании воды на дорогах. Это гидратационный тип замерзания, возникающий после плавления при температуре воздуха ниже 0°C;

- обледенение, возникающее на сухой поверхности дорожного покрытия в результате кристаллизации (сублимации) паров воды из воздуха и образования инея при радиационном охлаждении поверхности ниже температуры точки росы;

- твердый ледяной налет, образующийся при замерзании осадков (дождя, мокрого снега), выпадающих на дорожное покрытие, охлажденной ниже температуры замерзания воды;

- наледь, образующаяся при попадании на дорожное покрытие переохлажденного дождя или мороси (сосульки);

- снежно-ледяные отложения, образуются от уплотнения слоя снега на дорожном полотне колесами проезжающих транспортных средств (указывается на искусственную скользкость дорожного покрытия).

Мероприятия по борьбе с зимней скользкостью дорожных покрытий подразделяются на три группы:

- обработка обледенелой поверхности фрикционными материалами без снятия льда (песок, песчано-солевая смесь, мелкий гравий, отходы дробления щебня, зола, шлак и др.);

- обработка поверхности льда химическими веществами для снижения температуры плавления льда и удаления воды и наледи (термический, химический способ и комбинации: химико-механический; химико-фрикционный);

- профилактические меры по предотвращению появления льда на поверхности проезжей части - обработка покрытия химическими веществами, применение в слоях износа гидрофобных добавок, снижающих адгезионные свойства льда с дорожным покрытием и др. [7,с. 223].

Степень опасности метеорологических факторов зависит от их интенсивности и скорости движения транспортных средств по автомобильным дорогам, показаны. В таблице 1.1. Угроза скользкости характеризуется влиянием метеорологических факторов на скорости движения по сравнению с расчетными скоростями, соответствующими исходным условиям. Перечисленные метеорологические факторы с их характеристиками интенсивности, приведенными ниже. В таблице 1.1, считаются опасными, влияющими как на скорость, так и на безопасность движения транспортных средств.

Таблица 1.1 – Опасность метеорологических факторов для движения автотранспорта по автомобильным дорогам

Метрологические факторы	Коэф. расчетная скорость, К _{РС}		Степень опасности	Интенсивность погодных факторов различной опасности для расчетных скоростей движения автомобилей				
				150	120	100	80	60
Метель, скорость ветра, м/с	>0,75		МО	0-3				
	>0,5		О	3-9				
	<0,5		ОО	>9				
Ожеледица К _{сп} , частицы 1	>0,75		МО	-	-	-	-	-
	>0,5		О	-	<0,4	<0,3	<0,3	<0,2
	<0,5		ОО	<0,3	<0,2	<0,5	<0,5	<0,15
Осадки: - дождь, мм/мин - снег, мм/ч	>0,75		МО	-	-	-	-	<0,2
	>0,5		О	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
	<0,5		ОО	>0,2	>0,2	>0,2	>0,2	>0,2
	>0,75		МО	-	-	<0,1	<1,5	<1,5
	>0,5		О	<0,1	<0,1	<0,1	<1,5	<1,5
	<0,5		ОО	>0,1	>0,1	>0,1	>1,5	>2,5
Туман, видимость, м	>0,75		МО	>350	>500	>250	>200	>100
	>0,5		О	<350	<500	<250	<200	<100
	<0,5		ОО	<170	<200	<150	<100	<70
Ветер, м/с	>0,75		МО	<7	<10	<15	<20	<30
	>0,5		О	<12	<20	<20	<30	<30
	<0,5		ОО	>12	>20	>20	>30	>30
Температура воздуха, °С	+	МО	Мо	0-30				
		О	О	30-40				
		ОО	ООО	>40				
	-	МО	Мо	10-30				
		О	О	0-10				
		ОО	ООО	<40				
Влажность воздуха	>0,75		МО	50-90	50-90	50-90	50-90	>90
	>0,5		О	>90	>90	>90	90-90	>90

Примечание - Степень опасности: МО - слабая опасность; О - опасно; ОО особенно опасны
Источник [8, с.98]

1.2 Причины возникновения снежно-ледяных образований и их классификация, применительно к IV-V дорожно-климатическим зонам

В настоящее время работники дорожно-эксплуатационных служб, ЖКХ и ГИБДД заняты решением проблемы борьбы со снежно-ледяными образованиями на автомобильных дорогах. Для каждой дорожной организации существуют разные, наиболее приемлемые для определенных условий методы борьбы с гололедом на дорогах. Однако та или иная организация приняла собственные термины для обозначения одних и тех же понятий, связанных с ледниковыми образованиями на дорогах, что создает путаницу и оказывается весьма проблематичным. Существующая терминология неудобна и не позволяет

осуществлять полноценный обмен информацией и методиками между заинтересованными организациями [10,с. 147].

На основе классификаций различных авторов, как дорожников, так и исследователей-гляциологов, ранее предложенных и указанных в предыдущем разделе, и на основании экспериментальных наблюдений, проведенных в течение нескольких зимних сезонов, разработана классификация снежно-ледовых образований, которые могут встречаться на автомобильных поверхностях. автомобильных дорог представлена на рисунке 1.2, где в зависимости от категории снега и гололеда раскрыты причины и условия их образования на дорожном покрытии, указаны температурные интервалы, при которых могут возникать те или иные виды ледниковых образований. У каждой категории снега и льда присвоен свой индекс [8,с. 99].

Различают следующие основные виды снежно-ледяных образований на автомобильных дорогах, аэродромах и улицах: изморозь, лед, снежный покров, снежный накат, снежно-ледяной накат, снежно-ледяная мука, снежно-ледяная каша, сосульки.

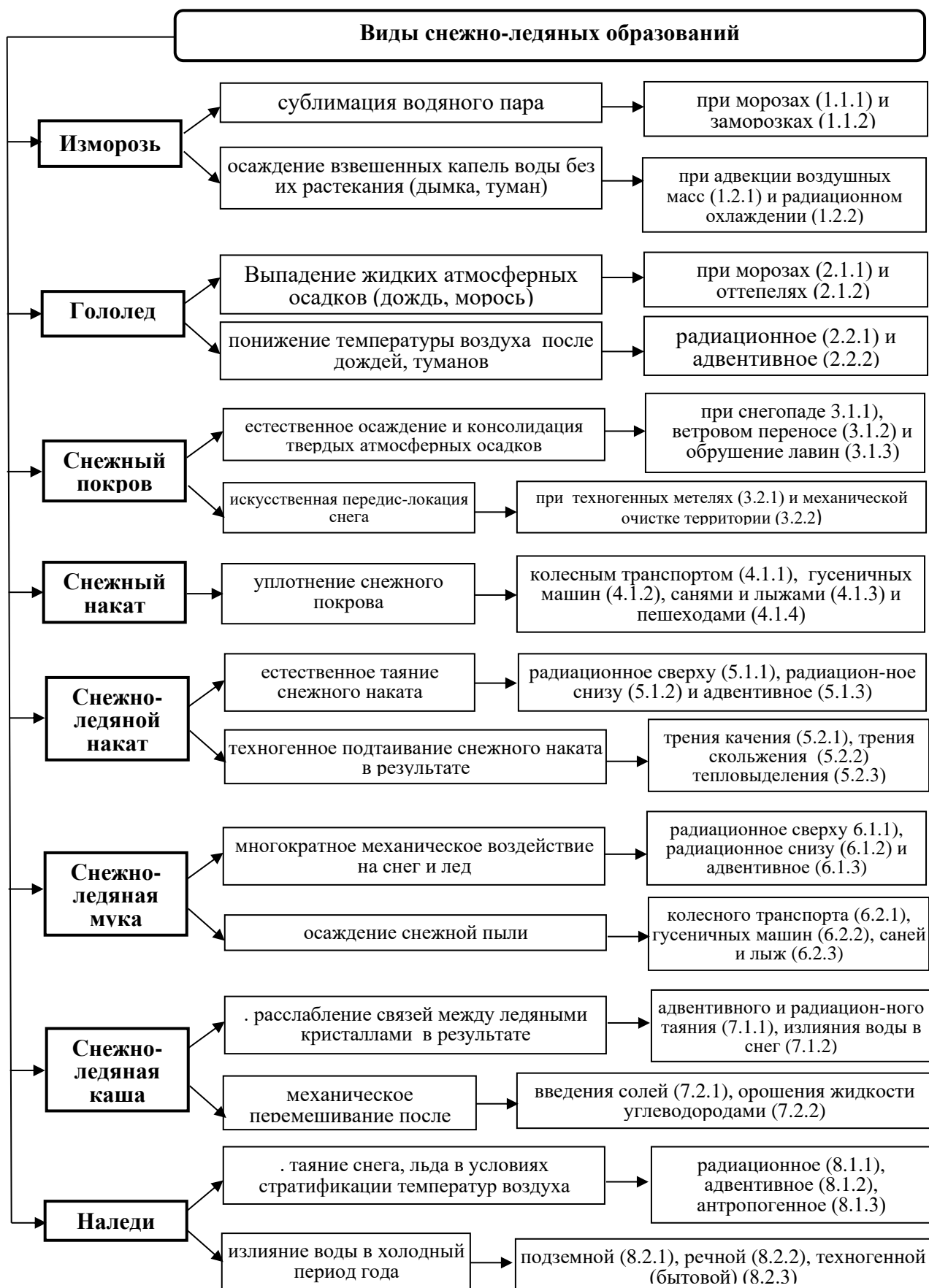


Рисунок 1.2 - Виды снежно-ледяных образований и классификационные индексы применительно к IV-V дорожно-климатическим зонам

Иней - рыхлые отложения кристаллов льда (по Гляциологическому словарю), осевшие на поверхности предметов из переохлажденной парообразной влаги или мелких капель воды. С практической точки зрения имеет смысл сочетать зернистый или кристаллический налет. Первый возникает на дорожных покрытиях в результате замерзания переохлажденных капель тумана (зернистый иней), а второй - при сублимации паров воды (кристаллический иней). Хотя в гляциологии тонкий неравномерный слой кристаллического льда называют инеем, по внешнему виду он не отличается от кристаллического инея. Поэтому для удобства использования терминологии мы используем одно название – измороз [5, с. 9-10].

Классификация инея включает все виды наледи, на сухой поверхности в результате кристаллизации паров воды из воздуха при остывании покрытия. Температурный диапазон образования вида обледенения составляет от -7 до -40°C , а относительная влажность до 100%. Это происходит в ясную безветренную погоду, когда тепловой баланс отрицательный и осадков нет. По предложенной классификации этому типу соответствуют два показателя сублимации и водяного пара.

Аналогичные процессы конденсации происходят в приземном слое воздуха при $t_{\text{в}} = -4-6^{\circ}\text{C}$ и $W = 95\%$. Процессы конденсации в состоянии кристаллизации вымываются одновременно с агрегатами, возникающими в микропорах. В результате возникает обморожение – наледь конденсационного типа. У данного типа инея существуют отличительные признаки - матово-белый цвет, неоднородная рыхлая структура, большая неравномерность по толщине [5, с. 12].

Виды обледенения, которые возникают при замерзании влаги из тумана на переохлажденное покрытие в начале оттепели, также относят к изморози, но зернистой. Зернистый иней создается в виде ледяной корки с шероховатой поверхностью.

Лед — один из видов снежно-ледяных образований на дороге. Сосульки отличаются прозрачностью и стекловидной структурой. Характерной особенностью сосулек является их плотность и наличие гладкой скользкой поверхности. Толщина ледяной пленки чаще всего 1-3 мм (Л.М. Рудаков, 1972).

Зимой лед может одновременно покрывать большие участки дороги. Срок сохранения этого типа снежно-ледяных образований зависит от температурных явлений. Положительная температура вызывает их быстрое исчезновение, а при морозе разрушение кристаллов льда происходит медленнее и связано с испарением.

Ледяная корка образуется в зимний период при температуре воздуха от $+4$ до -20°C : 55% случаев приходится на период $0-5^{\circ}\text{C}$, 80% - на период $+2...-6^{\circ}\text{C}$, 90% в период от $+2$ до -6°C [11, с. 7].

При высокой влажности и отрицательной температуре приземный воздух до -5°C содержит замерзшую воду в виде капель диаметром около 2 мм. Чем холоднее воздух, тем меньше диаметр незамерзших частиц: при $T_{\text{в}} = -10^{\circ}$ частиц воды диаметром около 0,3 мм. подвешены в воздухе. При $T_{\text{в}} = -30^{\circ}\text{C}$ парообразная влага представляет собой переохлажденный туман [11, с. 12].

Попадание кратковременного дождя или мороси на остывшее покрытие в морозы, при температуре не выше $-2-3^{\circ}\text{C}$, способствует образованию ледяного налета, являющегося разновидностью сосулек. Продолжительный дождь приводит к нагреву верхних слоев покрытия, где капли воды не замерзают. При попадании на покрытие переохлажденных капель влаги происходит обледенение в виде сосулек. Жидкая фаза на сухой или влажной поверхности образуется за счет падения капель переохлажденной жидкости с поверхностного слоя. Переохлажденные дожди наблюдаются при температуре до -5°C , а переохлажденная морось - до -10°C [5, с. 13].

Температура переохлажденных капель в зависимости от их диаметра может изменяться от -1° до -10°C . Крупные капли воды (диаметром более 2 -х 3 мм) при попадании на покрытие быстро растекаются и замерзают, образуя практически однородную структуру ледяной корки [5, с. 15]. Мелкие капли (диаметром 1-2 мм и менее) с более низкой температурой замерзания оседают на покрытии и удлиняют период образования льда. Однако скорость образования льда высокая – 1-5 часов. Ледообразование происходит сразу на больших площадях, толщина ледяной корки невелика - обычно 1- 3 мм, реже до 5 мм [6, с. 224].

Другим способом обледенения мокрой поверхности являются жидкие осадки в виде мокрого снега или дождя во время оттепелей при положительной температуре воздуха и последующее замерзание при снижении температуры до отрицательных значений.

Площадь образования льда зависит от толщины водной пленки, отрицательной температуры воздуха t , скорости ветра V и термического сопротивления дорожных конструкций R [6, с. 224; 8, с. 480]. Время замерзания или время образования льда в этом случае зависит от толщины льда, гидрофобных свойств покрытия и скорости ветра.

Скорость промерзания зависит от тепловых свойств материалов покрытия и основания дороги. Чем выше температура, (больше R), дорожного содержания тем медленнее остывает покрытие при понижении температуры воздуха, и дольше по времени до него доходит вода и толщина слоя льда может быть от 1 мм до 2-3 см. Слой и тип льда зависит и характеризуется от микрошероховатости однородной и стекловидной структурой по всей толщине ледяного слоя.

Следующий вид обледенения возникает при понижении температуры воздуха и замерзании воды на поверхности. Резкое понижение температуры воздуха до 0°C может вызвать радиационное падение температуры (2.2.1) и дополнительное излучение (2.2.2).

Снежный покров на дорожном полотне может образовываться при тихом снегопаде (когда он выпадает из облаков, не сдувается ветром и не сдувается ветром) (3.1.1), при переносе снега ветром (3.1.2) и при сходе лавины (3.1.3). Природа цвета этого снега различна. Но существуют и искусственные формы снегопереноса: техногенная метель (3.2.1), механическая уборка территорий (3.2.2). Теория снегопереноса основана на предложенной и рассмотренной в работах А.К. Дуниной (1963), А.А. Кунгурцевой (1965), Д.М. Мельника (1952), Г.В. Бялобжеского (1966) и др. [7, с. 224].

При температуре около $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ присутствующие в атмосфере зародыши кристаллизации в процессе льдообразования образуют мелкие кристаллы льда. Формирование кристалла снега (снежинки) начинается с кристалла льда. Его диаметр обычно меньше 75 мкм , а скорость падения чуть больше 5 м/с . Форма кристалла очень проста. Обычно это шестиугольная пластина, которая в процессе роста и усложнения превращается в снежинку. Снежинки часто образуются в результате слипания снежинок. В ряде случаев снежинка проходит через зону повышенной концентрации облачных капель, и если ее размер более 300 мкм , наблюдается процесс замерзания, когда мелкие облачные капли замерзают при столкновении со снежинками размером $10\text{-}40\text{ мкм}$ [4, с. 113]. Процесс протекает при температуре от -5 до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, что приводит к образованию ледяных щитов, при очень сильных осадках – к образованию снежных заносов. Снежные отложения состоят из снежинок, кристаллов инея и т.д. или частиц крошки.

Нагрузка и вода являются наиболее важными причинами изменения состояния снега. На дороге снег уплотняется движущимися транспортными средствами и смачивается жидкими или смешанными осадками. В результате поглощения солнечной радиации снег тает, даже если температура воздуха значительно ниже температуры замерзания воды. Сказывается и обработка покрытия солью, ведь ею можно смочить холодный сухой снег. В результате соль сама по себе может изменить состояние снега с сухого на мокрое.

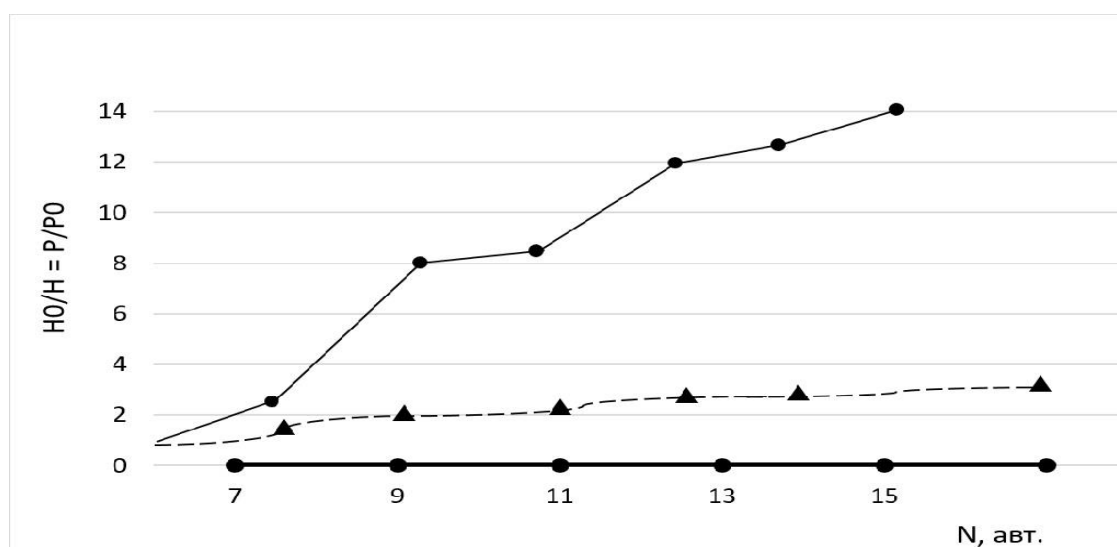
Во время штилевых снегопадов на дороге образуются относительно однородные снежные отложения [16-19]. В свежееотложившемся снежном покрове начинает развиваться процесс метаморфизма. С течением времени при отсутствии внешней нагрузки свежий снег превращается в старый, лежащий снег, который по своей структуре и свойствам отличается от свежего снега. Такой снег образуется чаще всего при малой интенсивности движения. Таким образом, снежный покров представляет собой слой свежевыпавшего снега, образующийся на дорожном полотне сразу после снегопада, как во время штилевого снегопада, так и в результате переноса снежных заносов. Обычно снежный покров легкий и мягкий, бывает сухой, мокрый и мокрый. В климатических зонах с холодными зимами снежный покров имеет форму кристаллических снежинок, например, в виде параллелепипеда, шестигранника, дендрита, призмы, игольчатых кристаллов. В районах с малоснежными зимами снег тает сразу после выпадения. В холодных регионах свежий сухой снег под действием ветра и проезжающих транспортных средств часто превращается в рыхлый снег, разрушающий кристаллы свежего ветра. Средний размер частиц пылевидного снега поглощается $0,2\text{ мм}$ (Нюрсе Р. и др., Япония, 1989) [20].

Снежный покров уплотняется под действием проезжающих транспортных средств, подвергаясь многократному вдавливающему воздействию. В результате образуется уплотненный слой снега, который значительно плотнее и тверже снежного покрова и называется **снежным валом**.

Сугроб на дороге образуется в результате накатывания свежевыпавшего снега. Когда автомобильное колесо катится, точки его протектора движутся

циклоидами, толкая перед собой и захватывая воздух позади себя. В результате перед пятном контакта происходит захват воздуха между шиной и дорогой и создается зона повышенного давления. Величина этого давления зависит от диаметра колеса, ширины шины и квадрата скорости автомобиля. Воздух из зоны повышенного давления направляется в сторону, захватывая снежинки [20,с. 4]. За пятном контакта, где происходит отрыв протектора от дорожного покрытия, наоборот, создается зона разрежения. Значение давления в этой зоне также пропорционально квадрату скорости. Характер увеличения плотности снежного покрова под действием проезжающих транспортных средств и превращения его в уплотненный снег показан на рисунке 1.3. Здесь по всей оси ординат влево значение начальной толщины слоя свежеснег выпавшего снега A и толщина слоя снежного валика H при наблюдениях, т. е. значение отношения плотностей ($H_0/H = P/P_0$) [20,с. 5].

Это отношение показывает, во сколько раз плотность снежного покрова превышает начальную плотность по прошествии определенного времени. Измерения проводились на участках углубления дорожного полотна. Под воздействием проезжающих транспортных средств средняя толщина снежного покрова уменьшилась по сравнению с исходным значением до значений 18-113. То есть плотность увеличилась с 8 до 13 раз [21-27].



сплошная линия – участки углубления колеи, пунктир – участки обочины

Рисунок 1.3 – Изменение плотности снежного покрова под воздействием проезжающих транспортных средств

Пунктиром на рисунке показаны измерения плотностей на обочинах, где нет движения транспортных средств. Движение автомобилей дает сильный эффект уплотнения, а плотность сугроба от колес достигает высоких значений - 580 кг/м^3 .

Важной проблемой является определение зависимости плотности утрамбованного снега от количества проезжающих автомобилей. На рисунке 1.4

показаны результаты предварительных оценок. Измерения проводились в условиях движения стандартного легкового автомобиля по сухому свежеснегу глубиной $V = 20$ км/ч. 10,5 см. Температура воздуха была $-10,5^{\circ}\text{C}$, начальная плотность 70 кг/м³. Однако уже после проезда одного легкового автомобиля плотность снега равнялась примерно 400 кг/м³, и значительного увеличения плотности снега не наблюдалось даже после 50 проездов легковых автомобилей. Поэтому можно сделать вывод, что при малом количестве проездов автомобилей плотность снега увеличивается примерно до 400 кг/м³, а дальнейшее увеличение плотности возможно под влиянием более тяжелых автомобилей [21, с. 105].

Неравномерность распределения плотности снежного наноса во времени и пространстве и особенно снежно-ледяного наноса, полученная в ходе наблюдений, может быть объяснена рядом причин.

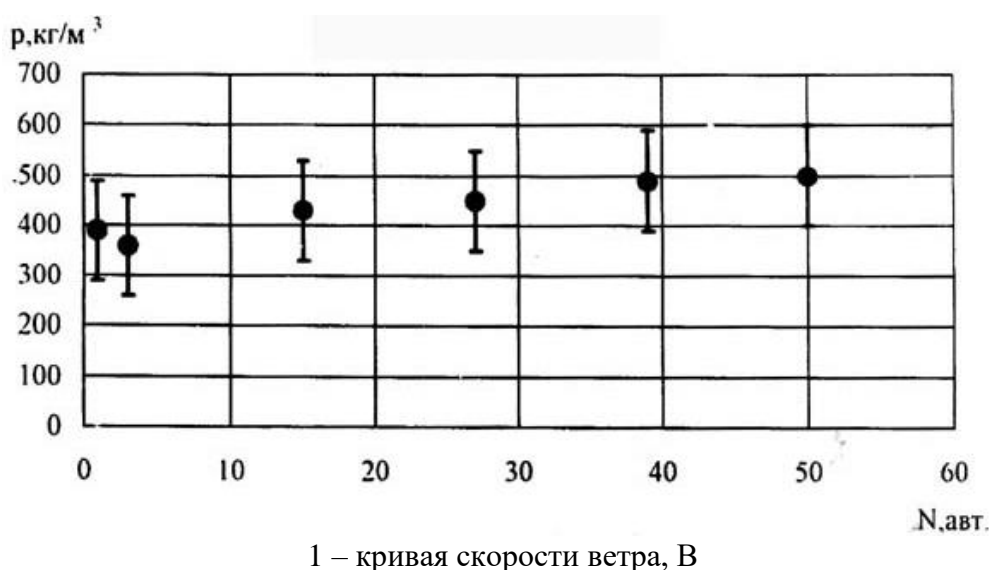


Рисунок 1.4 – Зависимость плотности снежного наноса от количества прошедших автомобилей N при начальной плотности снега 70 кг/м³

Наличие жидкой фазы воды в снеге приводит к очень быстрым метаморфическим изменениям. Мелкие ледяные зерна исчезают, а крупные быстро растут, пока не достигнут диаметра 1- 2 мм.

Этот процесс сопровождается потерей прочности связей между частицами снега. Проникновение талой воды в снежный покров может ослабить связь между кристаллами льда, что приводит к тому, что снег становится менее прочным. Образуется так называемая **снежно-ледяная каша**). Влага появляется в снегу в основном в результате адвективного таяния при положительных температурах или радиационного таяния при слабых морозах (индекс 7.1.1), которое увеличивается с увеличением загрязнения снежного покрова; жидкие осадки или выливание сточных вод в снежную массу при санитарно-технических авариях [19, с. 45].

По данным П.П. Кузьмина, свежий снег может удерживать 35-55% воды от собственного веса. Мокрый снег быстро накатывается на колеса автомобилей, но это при ничтожном содержании воды. Переувлажненный снег не подлежит уплотнению, в таком виде он представляет собой жидкую смазку под колеса автомобилей [16,с. 176].

Важным фактором формирования прочной структуры снежно-ледяного наката является наличие в снегу воды при температуре, близкой к нулю. Это подтверждается исследованиями С. Н. Карташова (1962) и В. И. Панова (1963), которые установили, что при повышении температуры снега до -50°C в нем обнаруживается вода в жидкой фазе, а при температуре -10°C влажность снега составляет 1,5-2,0% [28-34].

Пленки воды на кристаллах являются причиной образования хлопьев, падение которых при температуре около 0°C приводит к образованию слоя мокрого снега. Под действием механических (многократных) нагрузок превращается в снежную кашу [35].

Снежно-ледяная шуга возникает при механическом перемешивании после внесения растворов солей (индекс 7.2.1) или при поливе жидкими углеводородами, используемыми для борьбы с зимней буксировкой по дорогам (7.2.2) в целях обеспечения безопасности. автомобиль. При проезде автомобиля создается ветровой импульс длительностью T_1 , в течение которого скорость ветра изменяется от скорости автомобиля до нуля (рисунок 1.3, кривая 1). Движущая сила ветра показана на рисунке 1.3 по кривой 2. Размер твердой фазы в снежно-ветровом потоке зависит от степени насыщения последнего и показан кривой 3. В начальный момент времени (зона А) поток быстро насыщается снегом, затем (зона Б) из-за резкого уменьшения скорости несущего ветра поток сильно насыщается и снег оседает.

Иней – это тип образования снега и льда на автомагистралях. Лед представляет собой массу слоистого льда. В случае сложной температурной стратификации воздуха на дорожном покрытии, радиационных (индекс 8.1.1), аварийных (8.1.2) или техногенных (8.1.3) процессов таяния снега и льда, а также стока на водной поверхности в зимний период (подземной - индекс 8.2.1, речной - 8.2.2, техногенной - 8.2.3) и ее последующее замерзание [5].

Инеи появляются в холодное время года, когда замерзают речные или подземные воды, или пересыхают грунтовые воды. Ледяная вода, поднимаясь к поверхности земли, растекается тонкими слоями, замерзает и постепенно образует ледяные массы. Случается ледяные щиты занимают русло реки, и поймы и тянутся на несколько метров.

Ледяные шапки (наледи) классифицируют по типу ледяной воды, происхождению, месту возникновения, степени опасности, продолжительности жизни, частоте встречаемости. Существуют несколько классификаций ледяных щитов, но ни одна не считается общепринятой.

По происхождению наледи: естественные, возникающие и развивающиеся в естественных условиях, и техногенные (искусственные), вызванные

нарушением водотоков и гидротермического режима почвы при строительстве дорог.

В зависимости от места ледообразования: бывают русла, борозды, откосы, конусы наносов, равнины, предгорные шлейфы.

По объему промерзания бывают малые - до 1 тыс. м³, средние - от 1 до 10 тыс.; крупные - от 10 до 100 тысяч; очень крупные - от 100 тыс. до 1 млн. и гигантские - свыше 1 млн. м³ [13,с. 283].

1.3 Основные факторы возникновения скольжения на дорогах и методы борьбы с ними

При проектировании автомобильных дорог и при их эксплуатации учет гололедности проводится совместно с другими климатическими и погодными факторами, существенно влияющими на режим и безопасность движения транспортных средств.

Дорожное движение состоит из транспортных потоков отдельных транспортных средств. Этой проблеме посвящено большое количество работ, таких как В.Ф. Бабков, В.М. Луканин, А.П. Васильев, И.Е. Евгеньев, Е.М. Лобанов, М.В. Немчинов, Г.А. Федотов, В.П. Подольский, В.В. Столяров, Г.В., М. Каттер, Л. Нибрюге и др. В этих работах подробно анализируются условия движения на дорогах и влияние погодно-климатических факторов.

Влияние погодно-климатических факторов на условия движения на больших территориях носит региональный характер. Условия движения в период неблагоприятных метеорологических явлений значительно сложнее, чем летом при сухом чистом дорожном покрытии и обочинах. Например, ежегодный анализ причин дорожно-транспортных происшествий (ДТП) показал, что наиболее опасными являются следующие погодные явления: гололед 166 случаев, туман 105 случаев, метели 100, ливни 91, морозы 91; снегопад-91, дождь-91, ветер-85, температура воздуха-65, атмосферное давление-41.

Изменения метеорологических условий носят случайный, неуправляемый характер, хотя и связаны с общими природно-климатическими особенностями регионов. Неопределенность метеорологических условий, раздражающих по отношению к другим элементам комплекса, придает характер неопределенности функционированию всего дорожного комплекса. Однако эту неопределенность можно преодолеть, используя как общие закономерности природно-климатических характеристик регионов, так и научно обоснованные методы климатического прогнозирования погодных явлений [22,с. 408]. Климатическое прогнозирование погодных явлений, в свою очередь, позволяет прогнозировать условия движения на основе установленных закономерностей. Если климатические характеристики того или иного погодного явления и закономерности его воздействия на условия движения заранее известны, то устранение или нейтрализация этих воздействий может быть достигнуто на этапе проектирования за счет использования методов и мероприятий, направленных на повышение безопасности и удобства движения [23,с. 224]. На основе

исследований разработан комплекс таких мероприятий, которые приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Технические мероприятия по нейтрализации воздействия гололеда для обеспечения удобства движения автомобиля

Способы и меры защиты от воздействия гололеда	Принцип защиты и технический эффект	Недостатки
1. Прослеживание с учетом повторяемости льдообразования в зависимости от форм рельефа	Сокращение протяженности участков дорог, склонных к обледенению, снижение повторяемости	Увеличение затрат на строительство
2. Подогрев дорожной одежды	Устранение критической температуры замерзания воды	Высокая цена. Не защищает дорожное покрытие от влаги
3. Регуляция тепла технические характеристики дорожной одежды	Сокращение диапазона критических температур замерзания воды	Одинаковый
4. Монтаж гидрофобного покрытия поверхности	Ослабление примерзания льда к покрытию	Не полностью предотвращает образование льда
5. Устройство черновой поверхности покрытия	Ослабление воздействия обморожения	В ближайшем будущем
6. Строительство без хранения антиобледенительных материалов и ледовой сигнализации	Профилактическая профилактика и устранение обморожения	Высокие эксплуатационные расходы
Примечание – Источник [25,с. 287]		

Так, из многочисленных метеорологических факторов наибольшее значение имеют осадки, метель, туман, гололедица, ветер, температура и влажность воздуха. Неблагоприятные погодные явления существенно снижают безопасность движения. Риск дорожно-транспортных происшествий (ДТП) на скользком покрытии (со льдом, сосульками, сугробами), при ограниченной видимости (в туман, дождь или снегопад), при уменьшении ширины проезжей части и ухудшении уровня покрытия (снежные отложения на обочинах) резко увеличивается и снежный накат). Анализ исследований показывает, что различия в условиях движения определяются рядом положений, основными из которых являются:

- под воздействием осадков, гололеда, тумана, повышенной влажности воздуха снижаются сцепные качества покрытия, изменяется взаимодействие автомобиля с дорогой, ухудшается ровность покрытия;
- отложения снега и льда увеличивают сопротивление движению из-за снижения холостого хода двигателя автомобиля;
- снежные отложения и образование глубоких полос движения изменяют внешний вид проезжей части и обочины, а также параметры поперечного профиля, что приводит к изменению восприятия водителем дороги;

- туманы, осадки, метели, пыльные бури, слепящее действие солнца снижают видимость водителя и восприятие дорожной обстановки;

- все неблагоприятные метеорологические факторы существенно влияют на безопасность дорожного движения, повышая риск дорожно-транспортных происшествий [11, с. 117].

1. Изменения условий движения на автомагистралях с высокой интенсивностью движения. Под влиянием неблагоприятных погодноклиматических факторов в зимний период изменяются транспортноэксплуатационные характеристики автомобильных дорог и условия движения. Основные из них – лед, сугроб и рыхлый снег.

Наибольшие препятствия движению создает лед, образующийся в результате замерзания осадков, выпадающих или конденсирующихся на поверхности влагопокрытия, толщиной 1-3 мм и плотностью до $0,7 \text{ г/см}^3$. Коэффициент сцепления автомобильного колеса с обледенелым покрытием снижается до 0,10 [12, с. 87]. Для ликвидации гололеда необходимо полностью разрушить ледяную пленку механическими, термическими, электрическими или химическими методами.

Снежный покров на автомобильных дорогах образуется в результате выпадения снега из-под колес автомобилей, если его вовремя не убрать за пределы проезжей части или не посыпать противогололедным составом. Плотность снежного наноса может достигать $0,5 \text{ г/см}^3$. Чаще всего образование сугроба наблюдается при температуре выше -6°C и при наличии небольшого количества выпавшего снега. Величина коэффициента сцепления колеса с покрытием при скатывании снега колеблется от 0,15 до 0,30 [3, с. 221]. Снежный нанос удаляют механическим или химическим способом с последующим выносом за пределы поверхности земли. Снежный валик не образуется при влажности снега более 20 % [18, с. 72].

2. Влияние сцепных свойств дорожного покрытия на безопасность движения. Зимой из-за неблагоприятных погодноклиматических факторов изменяются ходовые качества автомобильных дорог, а также условия движения. Основные из них – лед, сугроб и рыхлый снег.

Наибольшие препятствия движению создают осадки или намерзание конденсированной влаги на поверхности дорожного покрытия и льда толщиной 1-3 мм и плотностью до $0,7 \text{ г/см}^3$. Коэффициент сцепления автомобильной шины с обледенелой поверхностью падает до 0,10. Для удаления льда необходимо полностью удалить ледяной покров механическим, термическим, электрическим или химическим способами. Снег на автомобильных дорогах образуется в результате скатывания снега с колес транспортных средств, если его вовремя не убрать с проезжей части или не посыпать противогололедным составом. Плотность снежного покрова может достигать $0,5 \text{ г/см}^3$. Чаще всего образование сугробов наблюдается при температуре выше -6°C и при малом количестве снега. Значение коэффициента сцепления колеса с поверхностью при прохождении снега составляет от 0,15 до 0,30. Снежный покров снимается механическим или химическим способом, а затем выходит за пределы

почвенного слоя. При влажности снега выше 20 % снежный поток не образуется [18,с. 72].

Низкий уровень зимнего содержания автомобильных дорог определяется недостаточно правильным учетом местных климатических условий по условиям и интенсивности образования зимней пробуксовки, отсутствием планов зимнего содержания автомобильных дорог, применением фрикционного метода как средства борьбы с зимним буксованием, что требует значительного количества распределителей и материальных ресурсов [2,с. 158].

Противообледенительная (предупредительная) и противообледенительная обработка применяется для обеспечения коэффициента и борьбы с зимним буксованием.

Используемые в процессе борьбы с зимним буксованием противогололедные материалы (ПГМ) относятся к дорожным материалам для содержания объектов строительства и дорожного хозяйства. Хлористый натрий применяют при зимнем содержании дорог в твердом, жидком и увлажненном состоянии. хлорид кальция хлорид магния техническая, нитратно-кальциевая карбамид, карбамид (карбамид), природные подземные рассолы, специально приготовленные растворы, промышленные отходы, жидкие технические хлориды, ацетаты, многокомпонентные ПГМ.

При наличии ассортимента ПГМ в дорожной отрасли предпочтение следует отдавать хлористому кальцию или природному рассолу на его основе. Вода, почва и растительность мало чувствительны к увеличению содержания в них кальция, а природные рассолы содержат более 50 микроэлементов, улучшающих свойства почвенного и растительного покрова. Необходимо учитывать стимулирующие свойства природных рассолов для роста растений, что может привести к засорению ливневой канализации, труб и водостоков, проявлению вторичных негативных факторов экологической безопасности, например, поднятию уровня грунтовых вод и дополнительному грунту засоление.

3. Прогнозирование образования скользкости на дорогах с цементобетонным покрытием. Образование льда на поверхности дорожного покрытия - очень сложный процесс, во многом зависящий от температуры и влажности окружающей среды, а также процесса теплообмена, передаваемого от колес автомобилей, движущихся при скольжении (торможении) и качении. На процесс льдообразования оказывают влияние и такие климатические особенности, как суточная разница температур воздуха и физико-механические свойства самого снежно-ледообразования [22,с. 408].

В зависимости от физики процессов образования все виды замораживания делятся на три большие группы:

- Возникает в результате возгонки паров воды (иней, кристаллический иней).

- замерзание, возникающее при кристаллизации переохлажденной воды (гранулированный иней и лед).

- ледяные отложения, образовавшиеся в результате кристаллизации неохлажденной воды (мерзлые воды и отложения морского снега). В каждой

группе замораживание подразделяют на виды в зависимости от структуры и физических свойств отложений.

Для описания процессов обледенения дорожных покрытий и взлетно-посадочных полос используются различные классификации. В качестве основы для разработки специализированных прогнозов метеорологи используют следующую классификацию:

- скользкость, образование которой вызвано замерзанием влаги, находящейся на поверхности, такой вид обледенения называется сосулькой в узком смысле слова;

- скользкость, возникающая на дорожном покрытии при кристаллизации влаги из воздуха: радиационный иней, кристаллический налет и др.;

- образующиеся при выпадении жидких осадков, имеющих отрицательную температуру: твердые, зернистые и ледяные отложения;

- образуются при выпадении переохлажденных осадков: сосулек и зернистой инея;

- скользкость, образующаяся при уплотнении и скатывании снега по поверхности: снежный валик, замерзший и тающий снег, растаявший снег [4, с. 112].

На рисунок 1.5 представлены виды снежно-ледяных образований, образующихся на поверхности дорожных покрытий с цементобетонным покрытием. Как видите, основной причиной образования сугробов являются краевые и осевые барьеры безопасности из-за отсутствия прозрачности. Такие барьеры безопасности представляют собой устройство удержания снега на дорожном полотне.

Рыхлый снег откладывается на дорожном покрытии в виде ровного по толщине слоя. Плотность свежеснежившего снега может варьироваться от 0,06 до 0,20 г/см³. В зависимости от влажности снег подразделяется на сухой, влажный и мокрый. При наличии на дорожном покрытии слоя рыхлого снега коэффициент сцепления шин с поверхностью снижается до 0,2 [15, с. 80].



а)



б)

а - свежий снег; б - валик сухого снега

Рисунок 1.5 – Виды скользкости, образующиеся на поверхности проезжей части с цементобетонным покрытием на железной дороге «Западная Европа – Западный Китай», лист 1



в)



г)



г)



д)

в – вал мокрого снега; г – стекловидный лед, г – иней, д – лед

Рисунок 1.5, лист 2

Отложения рыхлого снега на дорожном полотне образуются при выпадении твердых осадков в безветренную погоду. Сохранение снега в рыхлом состоянии наиболее вероятно при температуре воздуха ниже -10°C , так как при низких температурах воздуха процесс уплотнения снега автомобильным транспортом замедляется, а при температуре воздуха от -6 до -10°C , снег не будет уплотняться при относительной влажности менее 90 % [8,с. 346].

Сугроб (рисунок 1.5, б) представляет собой слой снега, утрамбованный колесами проезжающих транспортных средств. Стекловидный лед (рисунок 1.5 г) проявляется на покрытии в виде гладкой стекловидной пленки толщиной от 1 до 3 мм изредка в виде матово-белой шероховатой корки толщиной до 10 мм более. Стекловидные отложения льда имеют плотность от 0,7 до 0,9 г/см³ и коэффициент сцепления от 0,08 до 0,15. Этот вид зимнего буксования является наиболее опасным. Ледяные отложения в виде матово-белой корки имеют плотность от 0,5 до 0,7 г/см³ [8,с. 347]. Он может иметь различную толщину - от нескольких миллиметров до нескольких десятков миллиметров, плотность от 0,3 до 0,6 г/см³. Коэффициент сцепления шин с поверхностью снежного уката составляет от 0,1 до 0,25 [8,с. 480; 9,с. 343; 12,с. 87; 13,с. 287].

Образование сугроба (рисунок 1.5, б, в) происходит при наличии мокрого снега на дорожном покрытии под воздействием автомобильного транспорта и определенных метеорологических условий. Наибольшая вероятность образования снежного заноса возникает при следующих погодных условиях:

- снегопад при температуре воздуха от -0 до -6°C ;
- при температуре воздуха от -6 до -10°C образование сугроба происходит

при влажности воздуха выше 90 %;

– при положительных температурах образуется снежный вал при большой интенсивности снегопада (свыше 0,6 мм/ч), во время которого снег не успевает растаять на поверхности и легко уплотняется транспортными средствами .

Обледенение дорожного покрытия происходит в пределах от +2 до -10 °С и относительной влажности воздуха от 70 % и выше (рисунок 1.6). Поэтому в зависимости от перечисленных выше климатических данных на поверхности дорожного покрытия в зимнее время и межсезонье года формируются следующие виды скользкости: в диапазоне температур от +2 до -1 °С - мокрый снег или мокрая поверхность, при этом влажность воздуха колеблется в пределах $W_0 = 92-96\%$; от -2 до -6 °С – обледенелые поверхности, когда в нижней части пласта еще может быть сплошной укатанный снег ($W_0 = 72-80\%$); а от -6 до -10 °С – снежно-ледообразование в виде снежного валика ($W_0 = 60-68\%$) [8,с. 348].

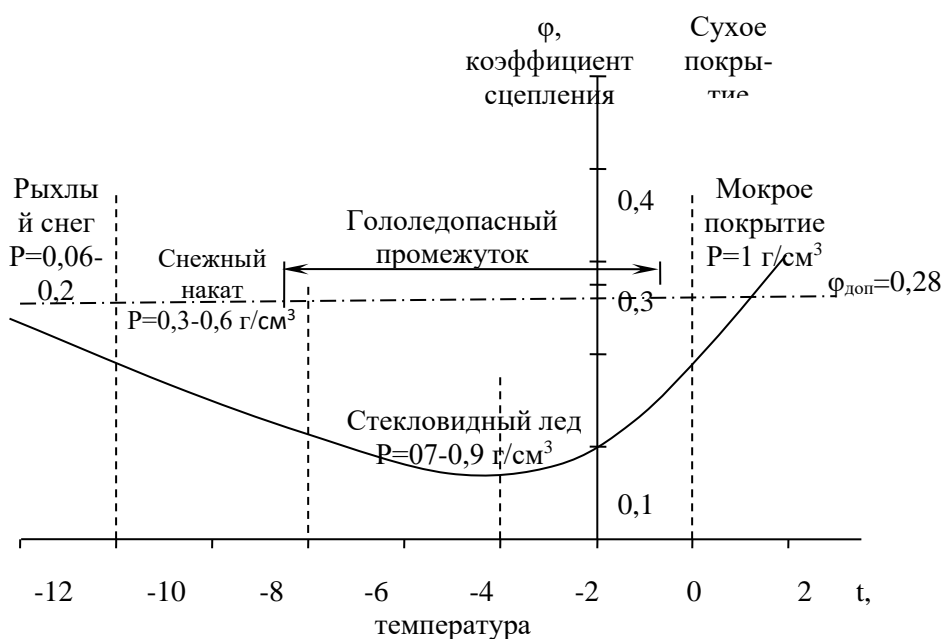


Рисунок 1.6 – Характер образования льда на поверхности покрытия в зависимости от температуры и относительной влажности

Свойства снега со временем претерпевают значительные изменения, например, при длительном нахождении свежего снега на дорожном покрытии его плотность увеличивается в 4 раза, а при превращении в лед - в 9 раз. Твердость снега характеризует его сопротивление внедрению твердого тела и возрастает по мере увеличения его плотности в зависимости от времени. Снижение температуры окружающей среды также приводит к увеличению твердости снега. В таблице. 1.3 приведены данные исследования Г.Л. Карабана по этим показателям [15,с. 80].

Таблица 1.3 – Основные характеристики снежно-ледяных отложений

Характеристики снежного покрова	Плотность, т/ м ³	Твердость, МПа	Удельное сопротивление резанию, МПа
Очень рыхлый, свежий	0,010-0,200	0,02	0,001
Рыхлые, слегка уплотненные, скрученные, свежеспавшие.	0,220-0,300	0,02-0,1	0,005-0,01
Сгущенное, свежее	0,300-0,400	0,2-0,4	0,01-0,02
Старик лежит	0,480-0,520	0,4-0,5	0,025-0,08
Мелкозернистый лавинный, уплотненный валок	0,550-0,700	0,5-0,7	0,1-0,5
Катание снега и льда	0,700-0,950	-	1,0-2,5

1. Снижение скользкости ледяной корки с помощью фрикционных материалов или повышение коэффициента сцепления колеса с дорогой с помощью шипованных шин и цепей противоскольжения .

2. Удаление снежно-ледяных образований таянием химическими реагентами, таянием или удалением механизированным способом.

3. Профилактические методы, направленные на снижение сил сцепления между снежно-ледяным слоем и дорожным покрытием за счет применения химических реагентов или антигололедных наполнителей

В качестве незамерзающих материалов (ПГМ) используются:

а) химические: твердые сыпучие (кристаллические, зернистые или чешуйчатые), жидкие (растворы или растворы солей химических реактивов);

б) фрикционные: мелкий гравий, песок, песчано-гравийная смесь (ПГС), шлак, зола;

в) смешанные: смесь фрикционных и химических материалов

Трение должно повышать коэффициент ПГМ, сцепление со снежно-ледяными отложениями на поверхности, обеспечивая безопасные условия движения; механические свойства, предотвращают повреждения и износ.

Помол ПГМ обладает свойствами предотвращения повышенной запыленности воздуха и загрязнения дорог. Их следует использовать в сухом, измельченном виде при уровне влажности, не превышающем безопасный для замораживания уровень. Применяются наиболее распространенные фрикционные материалы: природный песок с размером частиц до 5,0 мм, основной - песок с модулем крупности от 2 до 3,5. Он не позволяет просеивать пылевидную глину и более 3% других загрязняющих веществ, а также отдельные крупные камни или гравий, дробление щебня.

Обработка песком и шлаком улучшает сцепление с дорогой и снижает вероятность аварий, но обработанные ими дороги выглядят грязными. Необходимо очищать окружающую среду и принимать меры против загрязнения. Кроме того, при быстром и тяжелом движении автомобилей фрикционные материалы очень быстро отлетают от дорожного покрытия и перемещаются к краю дороги за счет проезжающих автомобилей Джона С. Кука,

соли или смеси солей являются эффективным средством борьбы со снегом и льдом .

Комбинированные ПГМ выполняют одновременно функции фрикционных и химических материалов и обычно состоят из смеси песка и химических ПГМ. В силу своих гигроскопических свойств химические антифризы характеризуются застоем при открытом хранении, то есть измельченный продукт превращается в монолитную массу. Низкая температура замерзания раствора и способность поглощать влагу из воздуха позволяют с успехом использовать его при смешанном способе борьбы с оползнями. Этот метод широко применялся в развитых странах, таких как США, Германия, Австрия и Финляндия.

Комбинированные ПГМ должны содержать не менее 10% химически чистых солей. Эффективность защиты от зимних морозов возрастает с увеличением количества соли в смеси. В практике зимнего ремонта дорог Беларуси широко применяются химические фракционные противогололедные материалы (ФПО), содержащие не менее 90 % хлорида натрия.

В качестве химических добавок используются твердые соли: технический хлористый натрий, сильвинитовая каменная соль и хлористый кальций.

Реагенты для обработки дорожного покрытия используются в различных состояниях (твердом, жидком и влажном). В качестве сырья для получения этих материалов часто используют бисофит, галит или природные запасы промышленных отходов (сильвинит, карнолит и др.). Использование промышленных отходов в качестве материалов для обработки автомобильных дорог в зимнее время относительно решает проблему их утилизации. Например, основным реагентом для переработки в зимний период в Беларуси являются галитовые отходы Солигорского калийного комбината, имеющие состав 91 % NaCl, 4,5 % KCl, 1,2 % CaSO₃, 0,3 % MgCl и 4-6 % механических добавок. Применяются в виде смеси с песком в соотношении 1:1-1:4 и применяются при температуре воздуха -15 °С. Высокая степень очистки и низкий коэффициент сцепления снежных отложений с дорожным покрытием достигаются при использовании рассолов под давлением. Действие струй жидкости в сочетании с противообледенительными свойствами рассола может разрушить уплотненный снег, который часто остается после уборки снега. В местах распространения снег тает сразу, а продукты таяния разбрызгиваются проезжающим транспортом. Рассол, распределенный по поверхности льда, заполняет все: полости, быстро разрушая лед. Соляная пленка, остающаяся на проезжей части, препятствует дальнейшему образованию льда. Опыты по применению жидких противогололедных материалов приведены в работах Михаила М. Касиньскаса, где каждая полоса обрабатывалась 90%-ным рассолом под давлением 2,11 МПа с эквивалентным расходом 662,8 кг кристаллической соли [36-70].

Используемый шлак не должен содержать металлических фрагментов и агрессивных химикатов. В связи с тем, что печной шлак легко крошится, его не рекомендуется использовать в населенных пунктах.

Для этих целей подходят растворы хлоридов натрия, кальция, магния. Их

можно использовать как по отдельности, так и смешивать друг с другом в разных пропорциях. Наилучший эффект достигается при использовании насыщенных растворов или растворов, близких к ним по концентрации. При добавлении раствора не допускается переувлажнение ПГМ до момента, когда он начнет расплываться. На обочинах часто образуется лед, особенно под путепроводами. Поскольку лед в таких местах скрыт от солнечных лучей, он может храниться здесь длительное время.

Описанный выше метод эффективен при устранении потери устойчивости в мостах со стальными решетчатыми фермами.

С целью снижения расхода твердых ПГМ (преимущественно хлорида натрия), повышения плавкости и повышения адгезии к поверхности покрытий их обрабатывают растворами солей с пониженной эвтектической (кристаллизационной) температурой. Вымоченные таким образом соли более эффективны при обработке раствором хлорида кальция (магния) концентрацией 20-25% в массовом количестве 20-30%.

В последние годы в качестве реагента во многих странах используется мокрая соль - простой хлорид натрия, смоченный водой или раствором хлористого кальция перед разбрасыванием по дороге. Благодаря хорошему удержанию мокрой соли на дороге (она меньше забирает с дорожного покрытия) и высокой эффективности (мокрая соль быстрее вступает в реакцию со льдом и эффект шире), ее можно содержать в большом количестве. уменьшилась на 30-40%. Сигне и Моссер, С.К.Л. Малик и Ладжи Д. изучали влияние предварительно смоченной соли на сцепление льда с поверхностью дороги.

В США исследовался противогололедный материал, представляющий собой смесь 4-х компонентов: до 90 % абразивных веществ (мелкий гравий, зола, сульфат бария, эбонитовый порошок или карбонат кальция в полимерной форме); около 30 % хлорсодержащих веществ, способствующих таянию льда и снега (кальциевая или аммиачная селитра, этиленгликоль); 1-5% водопоглощающие вещества (аномерат оксида кальция); 1-15% веществ, препятствующих седиментации или агломерации материала (окись цинка или аммония, тальк).

Для снижения коррозионной активности антифризов, применяемых при температуре до -30 °С, рекомендуется использовать смесь, состоящую на 52,2 % из взвешенного шлама, образующегося при сульфатировании масел, обработанных HCl, нейтрализованных водным раствором. NaOH, насыщенный раствор Na₂ SO₄ при 20⁰ С, порошкообразный CaC, Ca(OH)₂ или молотый известняк. Неорганический слой, образующийся при обработке осадков, содержащих CaSO₄, разбавляют HCl и нейтрализуют насыщенным водным раствором NaOH [71-72].

Полученный раствор используют для поливки дорог при температуре -200С. Он содержит 18,5% NaCl, 4,7% CaCl₂, 0,2% Na₂SO₄ и в основном 0,1 мг NaOH.

Очень эффективным и экономичным является предложенный профессором В.Б. Ратионовым (МАДИ) противогололедный реагент, не оказывающий коррозионного воздействия на кузов автомобиля.

1.4 Традиционные методы применения химических реагентов при борьбе со скользкостью

На сегодняшний день известно множество различных способов борьбы со скользкостью на автомагистралях. Однако только с помощью химических средств происходит полное удаление льда или утрамбованного снега с поверхности дорожного покрытия, что необходимо для обеспечения безопасности дорожного движения. В связи с этим химические реагенты широко применяются как в зарубежных странах, так и в нашей стране. Химический способ устранения скользкости на дорожном покрытии незаменим в местах с острой нехваткой техники, в сжатых условиях работы машин, а также в местах, требующих качественной очистки поверхности: на подъездах к перекресткам, поворотам, спусках, на тротуарах с интенсивностью более 750 футов в час, на остановках общественного транспорта [17, с. 1].

В зависимости от физико-химических свойств и характера применения различают следующие виды антигололедных химических реагентов:

- твердые - хлористый натрий в виде поваренной соли и соли сильвинитовых отвалов, чешуйчатый хлористый кальций, фосфатированный хлористый кальций (ХКФ); бишофит чешуйчатый; неслеживающаяся смесь, состоящая из 85-88% (по массе) хлористого кальция чешуйчатого или ГХФ, или бишофита, нитрата мочевины кальция (НКН), карбамида (карбамида);

- жидкие – естественные подземные, искусственные, озерные, промышленные отходы;

- промокший.

Жидкие противогололедные реагенты (рассолы), в свою очередь, делятся на: слабые - 50-150, сильные - 150-320, очень сильные - 320-500 и сверхнасыщенные свыше 500 г/л. По химическому составу природные рассолы относятся скорее к хлоридно-натриевым, реже к хлоридно-натриевым, что позволяет весьма эффективно использовать их в качестве противогололедных материалов. Раствор хлорида магния, полученный из промышленных отходов, менее агрессивен к металлу, чем хлорид натрия. Сырьем для получения этих материалов чаще всего служат природные запасы бишофита, галита или промышленные отходы (сильвинит, карнолитовые отходы и др.).

С целью снижения расхода твердых ПГМ (чаще всего хлорида натрия), повышения плавкости и повышения адгезии к поверхности покрытия их обрабатывают растворами солей с пониженной точкой эвтектики (кристаллизации). Увлажненные таким образом соли приобретают наибольшую эффективность при обработке их раствором хлорида кальция (магния) 20—25%-ной концентрации в количестве 20—30% по массе [18, с. 72].

Особенностью твердых противогололедных реагентов является их кристаллическая структура и высокая гигроскопичность (особенно это выражено у хлоридов магния и кальция). Так, гексагидрат хлорида магния или бишофит ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) содержит только 45 % основного вещества, до 4 % примесей, остальное — кристаллизационная вода. Хлористый кальций промышленного масштаба ($CaCl_2$) содержит 67 % основного вещества и кристаллизационной

воды. Присутствие такой воды снижает гипскую способность. Твердые химические вещества хорошо растворяются в воде и интенсивно поглощают влагу из воздуха.

По химическому составу противогололедные материалы (ПГМ) делятся на четыре группы (рисунок 1.7):

1. Первая группа - хлориды, или ПГМ на основе NaCl , CaCl_2 и MgCl_2

–ХКМ - модифицированный, ингибированный хлорид кальция, выпускается в жидкой форме;

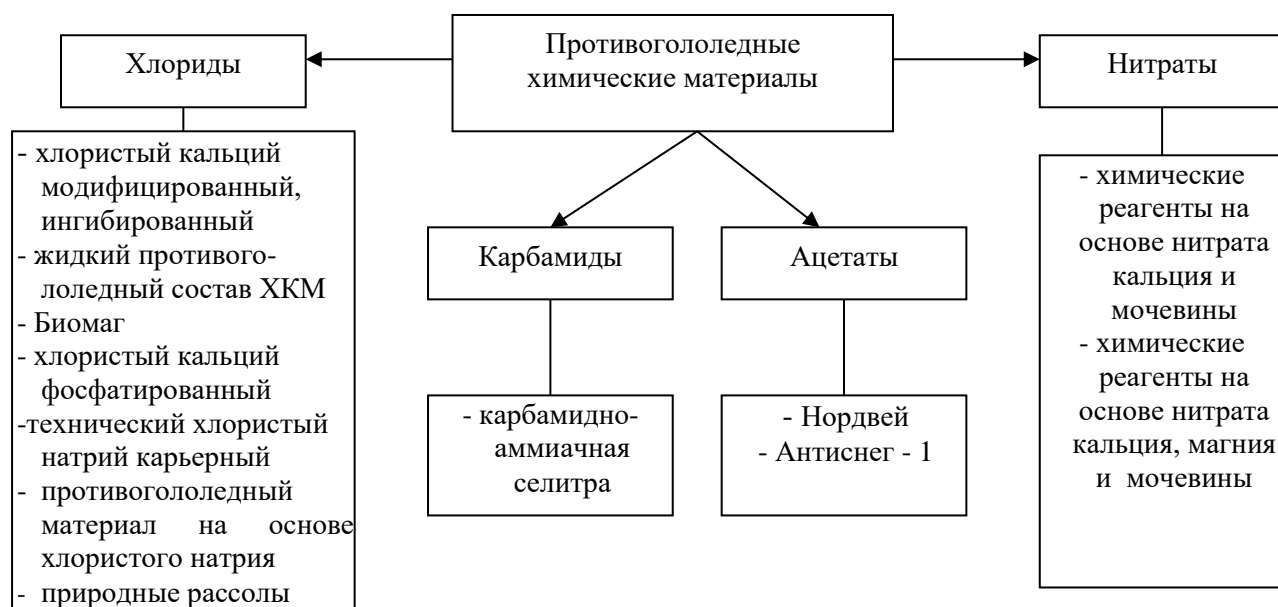


Рисунок 1.7 – Виды химических реагентов, применяемых при обработке дорожного покрытия

Примечание - Источник [26,с. 297]

- Биомаг - модифицированный хлорид магния (Бишофит $-\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) выпускается четырех разновидностей в твердом и жидком виде;

- ККФ – хлорид кальция фосфат;

- технический карьерный хлористый натрий выпускается в твердом виде;

- незамерзающий материал на основе хлорида натрия выпускается в твердом виде;

- Природные растворы солей. По своему химическому составу они чаще всего относятся к хлоридно-натриевым или хлоридно-кальциево-натриевым жидким материалам. Их месторождения в основном распространены в европейской части России и используются как локальные ПГМ.

2. Вторая группа – ацетаты.

– Н – разработан на основе ацетата калия и выпускается для дорог двух марок в жидком виде.

– Антиснег-1 – разработан на основе ацетата аммония и выпускается в жидком виде.

3. Третья группа – мочевины:

– КАС - карбамидо-аммиачная селитра выпускается в виде "Жидкого антиобледенительного состава".

4. Четвертая группа – нитраты:

– НКМ (АНС) - химический реагент на основе нитрата кальция и карбамида, выпускаемый в твердом виде;

– НКММ - реагент, разработанный на основе нитратов кальция, магния и карбамида, выпускаемый в твердом виде.

При введении в снежно-ледяную массу химических реагентов в силу своей гигроскопичности соль начинает интенсивно адсорбировать ледяную влагу, образуя на поверхности тонкий слой насыщенного раствора. Полученный таким образом раствор имеет более низкую температуру замерзания, чем вода, что приводит к разрыхлению снежно-ледяной массы и снижению ее прочностных характеристик [59,р. 89].

Концентрированный раствор находится в жидком состоянии до тех пор, пока его температура не упадет до определенного значения, при котором из раствора начинает кристаллизоваться вода (льдообразование). Увеличение массы льда влечет за собой увеличение концентрации раствора, который имеет более низкую температуру замерзания, чем вода [60,с. 45].

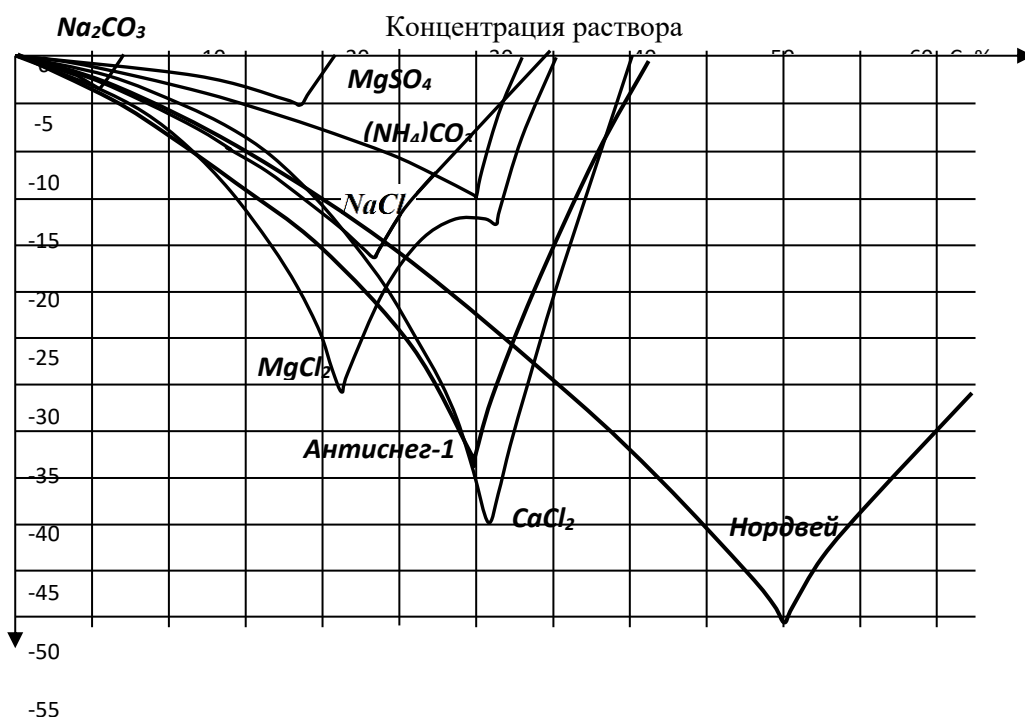


Рисунок 1.8 – Диаграмма плавления антигололедных химических реагентов

При дальнейшем понижении температуры раствор достигает определенной концентрации и кристаллизуется, превращаясь в твердую смесь льда и соли. В этом случае температуру образования такой твердой смеси называют температурой эвтектики, а соответствующую концентрацию раствора - концентрацией эвтектики.

Наиболее выразительное описание системы «солёная вода» даёт диаграмма плавления (рисунок 1.8). В таблице 1.4 перечислены наиболее распространённые химические вещества, используемые для борьбы с шламом, и даже указаны температура и концентрация точки эвтектики [56,с. 208].

Таблица 1.4 – Значения эвтектической концентрации и температуры химических веществ

Название соли	Химическая формула	Температура эвтектики t_3 , град	Концентрация эвтектики C_3 , (%)
Хлористый натрий	NaCl	-21,2	23,3
Хлористый магний	MgCl ₂	-33,6	20,6
Хлористый кальций	CaCl ₂	-49,8	30,5
Сульфат натрия	Na ₂ SO ₄	-1,2	4,0
Сульфат магния	MgSO ₄	-4,8	18,6
Гидрокарбонат натрия	NaHCO ₃	-2,33	6,26
Карбонат натрия	Na ₂ CO ₃	-2,1	5,75
Ацетат аммония («Антиснег-1»)	CH ₃ COONH ₄	-44,9	29,6
Ацетат калия («Нордвей»)	CH ₃ COOK	-59,8	50,1

С целью выбора высокоэффективных антиобледенительных химических материалов Стэнли А. Данн и Рой У. Шенк (Biesten Research Laboratories, Madison, Wisconsin) провели следующие исследования [56,с. 20]. Все классы химических соединений были проанализированы и отобраны по следующим критериям: растворимость в воде и снижение температуры замерзания, коррозия, токсичность, стоимость, воздействие на почву, растения и водные источники, горючесть. Основными свойствами считались низкая молекулярная масса и высокая растворимость.

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее подходящими химическими веществами для борьбы с сосульками являются метанол и смесь уксусов, содержащих соли кальция и магния [73-89].

Исследования по определению необходимой нормы расхода химических реагентов на обработку шероховатых верхних слоев смеси «открытого типа» и их влияния на сцепные качества дорожного покрытия проводились в США. В результате выяснилось, что адгезионные качества покрытий и смесей «открытого типа» во время снегопадов всегда выше, чем у плотных асфальтобетонных покрытий. Они быстрее очищаются от снега во время снегопадов, имеют меньшую вероятность обледенения на них и незначительную разницу в расходе противогололедных солей [89,с. 29].

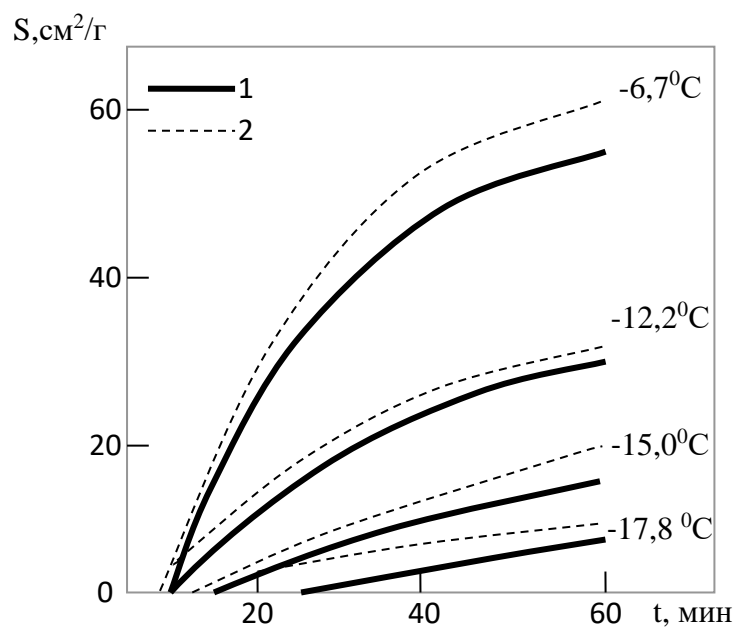
Химические способы оттаивания имеют экономическое преимущество по сравнению с традиционным посыпанием дорог фрикционными материалами (песок, гравий, мелкий щебень) при гололеде. Это преимущество будет еще больше, если учесть значительные затраты на сбор фрикционных материалов, разбросанных по дороге в зимний период.

В Австрии, общественность через прессу с большой энергией и пессимистическими правильными и неправильными аргументами выступала против любого посола дорог общего пользования. И выяснилось, что посыпание солью не только допустимо, но и востребовано. Первое массовое применение соли в Австрии доказало, что соль является эффективным и дешевым средством успешного устранения опасной зимней скользкости (таблице 1.5).

Таблица 1.5 – Сравнение показателей фрикционного и химического способов борьбы с зимней скользкостью дорог ФРГ (Германии)

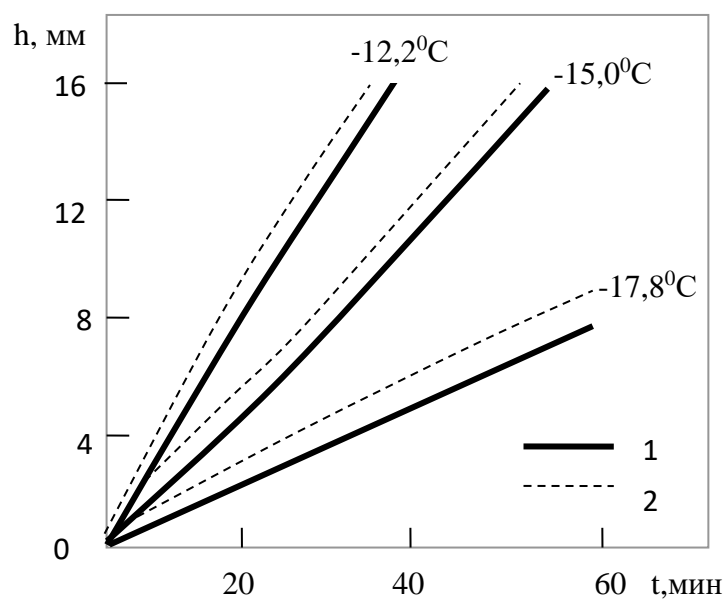
Показатели	Материал для поверхностной посыпки	
	Мелкий щебень или гравий	Соль NaCl
Расход на 1 м ² проезжей части, г	200	30
Расход на 1 км дороги, т	1,2	0,18
Стоимость материала посыпки, марок/км (на 1980 г.)	18	12,6
Производительность одной 5-тонной машины, км	4,5	27
Количество погрузок для обеспечения посыпки 100 км автомагистрали	22	4
Затраты времени для посыпки 100 км автомагистрали при скорости распределения 25 км/ч, час	13	5
Потребное количество машин на 100 км автомагистрали	4	2
Примечание – Источник [66,с. 20]		

Смачивание химреагента существенно влияет на активность взаимодействия со снегом и льдообразованием. На графике рисунка 1.9, 1.10 представлена зависимость площади с нарушенной связью между льдом и бетоном от времени и температуры, составленная по средним результатам измерений для различных температур. Во всех случаях предварительно - смоченная соль показала себя лучше, чем сухая. Это проявлялось в скорости таяния и уменьшении сцепления между льдом и бетоном. Кривые, отражающие влияние предварительно смоченной соли, построены на основании данных, полученных при увлажнении соли 30% раствором хлористого кальция, растворами гликолей и водой для температур -6,7 °С и -12,2 °С [37,с. 102]. При температурах -15 °С и -17,8 °С опыты проводились только с солью, смоченной 30% раствором хлористого кальция и растворами гликоля.



1- необработанная соль; 2 – увлажненная соль

Рисунок 1.9 – Зависимость площади потери связи льда с бетоном от времени и температуры



1-необработанная соль; 2-увлажненная соль

Рисунок 1.10 – Зависимость глубины проникания h соли от времени и температуры

График зависимости глубины проникновения соли в лед от времени и температуры показан на рисунке 1.10.

Из-за высокой скорости проникновения, отмеченной при $-12,2^\circ\text{C}$, кривая, соответствующая предварительно смоченной соли при $-12,2^\circ\text{C}$, построена на основе данных для солей, обработанных 30% раствором хлорида кальция, 59%

раствором пропиленгликоля и водой. Предварительно увлажненная соль имеет более высокую начальную скорость проникновения, чем сухая соль. Однако эта высокая начальная скорость быстро снижается до скорости, соответствующей сырой соли, так как реагенты, входящие в состав смачивающих растворов, быстро разбавляются талой водой и вымываются образовавшимся раствором каменной соли.

Предварительное увлажнение чистого хлористого натрия повышает его эффективность как в отношении ослабления связи между тонким слоем льда и бетоном, так и в способности проникать в слой льда [48, с. 23]. Данные опытов по предварительному увлажнению имеют очень небольшой разброс значений в каждой серии для разных температур, за исключением серии при температуре -15 °С. Отсюда следует, что эта температура является порогом между быстрым процессом плавления (от -6,7 до -12,2 °С) и медленным процессом плавления, начинающимся при -17,8 °С.

полученные в результате исследований, подтверждают лишь небольшое преимущество, которое можно реализовать при предварительном увлажнении каменной соли, так как используемая в исследованиях чистая поваренная соль не содержит примеси CaSO_4 , замедляющей плавление, и содержится в обычной каменной соли, которая используется на дорогах. Повышенная способность предварительно смоченной соли растворяться может в какой-то мере компенсировать пониженную плавящую способность каменной соли с примесью CaSO_4 . Это объясняется тем, что, как только образуется талая вода, NaCl , окружающий частицы CaSO_4 , растворяется [48, с. 7].

Большим преимуществом является также уменьшение необходимого количества соли, если она предварительно увлажнена, для обработки обледенелого дорожного покрытия. Это преимущество выражается не только в экономии средств за счет уменьшения количества используемой соли, но и в снижении вредного воздействия на окружающую среду. Ущерб окружающей среде будет меньше не только за счет меньшей нормы внесения соли, но и за счет уменьшения количества соли, выбрасываемой с дорожного покрытия колесами проезжающих автомобилей.

Поскольку все вещества, растворы которых использовались для предварительного увлажнения каменной соли, в данном опыте показали эффективность усиления противогололедного действия каменной соли, был проведен экономический анализ с учетом цены этих реагентов. Предварительное увлажнение раствором хлористого кальция в 14 раз дешевле, чем использование любого из других применяемых здесь реагентов.

Основные требования к химическим материалам, применяемым для устранения зимней буксировки на дорогах и улицах:

1. Снижение температуры замерзания раствора.
2. Обеспечение таяния снежно-ледяных отложений на дорожных покрытиях.
3. Проникновение сквозь слои снега и льда, разрушающее межкристаллитные связи и снижающее силы смерзания слоев отложений с

дорожным покрытием.

4. Химические реагенты не должны повышать скользкость обрабатываемых покрытий, особенно при использовании ПГМ в виде растворов.

5. Технология при хранении, транспортировке и применении.

6. Экологическая безопасность, химические реагенты не должны оказывать вредного воздействия на природную среду (растения, воду, почву и др.), металл, бетон, кожу и резину [49,с. 37].

Выводы по 1 разделу

1. Риск дорожно-транспортного происшествия на полностью или частично покрытом снегом или льдом дорожном покрытии в 4,5 и 1,5 раза выше, чем на чистом, сухом покрытии.

2. Прогнозирование зимних снежных заносов на основе местных региональных метеорологических условий и синоптических процессов является эффективным средством предупреждения зимних снежных заносов и их последствий. Занос может происходить при температуре воздуха от -2°C до -6°C , относительной влажности воздуха от 65 до 85%.

3. В мировом опыте борьбы с гололедом и зимней слякотью отчетливо видна тенденция в пользу химического метода. Проверенный химический метод, который уже много лет используется в Англии, Франции, Голландии, Германии, США, Швейцарии и других странах.

4. Применение антигололедных химических реагентов является эффективным и дешевым средством успешного устранения опасной зимней скользкости дорог. По сравнению с методом трения материалоемкость от применения солей снижается в 6,7 раза, временные затраты сокращаются в 2,6 раза, а производительность увеличивается в 6 раз.

5. Основными требованиями к антигололедным химическим реагентам являются проникновение через слои снега и льда, разрушение межкристаллитных связей, снижение сил промерзания слоев дорожного покрытия, а также экологическая безопасность.

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

7. Использование каменной соли с предварительным увлажнением в соотношении 8-12% растворами с более низкой температурой эвтектики, хлористым кальцием, повышает эффективность плавки, снижает расход реагента на км пути, а также температура кристаллизации хлорида натрия и дешевое зимнее содержание, повышает производительность труда и снижает вероятность нанесения ущерба окружающей среде [47,с. 231].

2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА БОРЬБЫ СО СКОЛЬЗКОСТЬЮ

2.1 Теоретические предпосылки образования скользкости на автомобильных дорогах и коэффициент сцепления

Образование льда на дорожном покрытии — очень сложный процесс, часто зависящий от температуры и влажности окружающей среды и процесса теплоотдачи от колес транспортных средств, движущихся при скольжении (торможении) и качении.

На процесс льдообразования оказывают влияние и такие климатические особенности, как суточная разница температур воздуха и физико-механические свойства снежно-ледяного покрова.

Обледенение объектов на земной поверхности характеризуется различными видами и формами. Существует несколько классификаций морозных явлений и различных видов зимних оползней, дорожных и аэродромных покрытий, основанных на определенных представлениях: о процессах образования, структуре наносов, физических свойствах и т. д.

Одна из первых систематизация видов поверхностного обледенения в метеорологии была проведена А.Д. Заморским. Рассмотрены физико-метеорологические классификации, где деление на виды осуществляется с учетом физических или погодных факторов льдообразования и определяется целью решаемой задачи [18, с. 20].

В зависимости от физики процессов образования все виды замораживания А. Д. Заморский разделил на три большие группы:

- в результате сублимации паров воды (иней, кристаллический иней).
- наледь, образующаяся при кристаллизации переохлажденной воды (гранулированный иней и лед)
- ледяные отложения, образующиеся в результате кристаллизации переохлажденной воды (мерзлая вода и отложения морского снега). В каждой группе оледенение подразделяют на виды в зависимости от структуры и физических свойств отложений

Для характеристики процессов обледенения дорожных покрытий и взлетно-посадочных полос используются различные классификации. Для разработки специализированных прогнозов метеорологи используют в качестве основы следующую классификацию:

- скользкость, образование которой вызвано замерзанием влаги, находящейся на поверхности, такой вид обледенения называется сосулькой в узком смысле слова;
- скользкость, возникающая на дорожном покрытии при кристаллизации влаги из воздуха: радиационный иней, кристаллический налет и др.;
- образуется при выпадении жидких осадков при отрицательной температуре: твердых, зернистых и ледяных отложений;
- образуются при выпадении переохлажденных осадков: сосулек и зернистой инея;

– скользкость, образующаяся при уплотнении и скатывании снега по дорожному покрытию: движение снега, замерзшего талого снега, подтаявшего снега [18,с. 21].

Дорожные службы используют следующую классификацию снежно-ледовых образований. Все виды снежно-ледяных отложений, образующихся на дорожном покрытии, делятся на рыхлые, снежные и стекловидные.

Рыхлый снег ложится на дорожное покрытие слоями в зависимости от его толщины. Плотность свежеснегавшего снега может варьироваться от 0,06 до 0,20 г/см³. В зависимости от влажности снег может быть сухим, мокрым или мокрым. При наличии на дорожном покрытии слоя рыхлого снега коэффициент сцепления шин оценивается в 0,2.

Отложения рыхлого снега на дорожном полотне образуются при выпадении твердых осадков в безветренную погоду (рисунок 2.1). Сохранение снега в рыхлом состоянии наиболее вероятно при температуре воздуха ниже -10°C, так как при низких температурах воздуха процесс уплотнения снега автомобильным транспортом замедляется, а при температуре воздуха от -6 до -10°C, снег не уплотняется при относительной влажности воздуха менее 90%.



а)

б)

Рисунок 2.1 – Отложение рыхлого снега

Сугроб представляет собой слой снега, утрамбованный колесами проезжающего автомобиля (рисунок 2.2). Он может иметь различную толщину - от нескольких миллиметров до нескольких десятков миллиметров - плотность от 0,3 до 0,6 г/см³. Коэффициент сцепления шин с поверхностью снежного уката составляет от 0,1 до 0,25 [18,с. 115].

Образование снежного наката происходит при наличии мокрого снега на дорожном покрытии под влиянием автомобильного транспорта и определенных метеорологических условий. Наибольшая вероятность образования снежного заноса возникает при следующих погодных условиях:

- снегопад при температуре воздуха от -0 до -6 °С;
- при температуре воздуха от -6 до -10°C образование сугроба происходит при влажности воздуха выше 90 %;

– при положительных температурах снежный вал образуется при высокой интенсивности снегопада (свыше 0,6 мм/ч), во время которого снег не успевает растаять на поверхности и легко уплотняется автотранспортом.

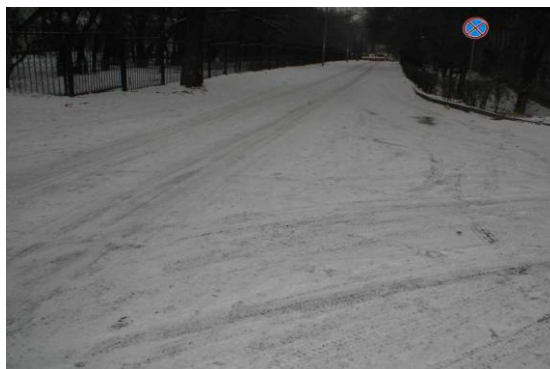


Рисунок 2.2 – Снежный накат

Стекловидный лед появляется на покрытии в виде гладкой стекловидной пленки толщиной от 1 до 3 мм и иногда в виде матово-белой шероховатой корки толщиной до 10 мм и более. Стекловидные отложения льда имеют плотность от 0,7 до 0,9 г/см³ и коэффициент сцепления от 0,08 до 0,15. Этот вид зимнего буксования является наиболее опасным. Ледяные отложения в виде матово-белой корки имеют плотность от 0,5 до 0,7 г/см³. [9, с. 344].

Образование стекловидного льда может иметь разные причины и возможно при разных погодных условиях (рисунок 2.3).



а)

б)

Рисунок 2.3 – Образование стекловидного льда

Для организации работ по борьбе и предупреждению образования зимней буксировки необходимо учитывать ее вид, погодные условия, предшествующие и сопутствующие образованию буксировки, и тенденцию их изменения.

Замерзание влаги на дорожном покрытии при резком перепаде температуры воздуха. Такой вид глазури называется сосулькой. Источниками намокания поверхности могут быть дождь, талый снег, выпадение дождя при положительных, но близких к нулевым температурах воздуха, а также влага,

остающаяся после обработки дорожного покрытия антигололедными материалами. Процессу образования проскальзывания предшествуют следующие погодные условия:

- устойчивый рост атмосферного давления на фоне выпадающих осадков;
- установление ясной безоблачной погоды после прекращения осадков;
- пониженная относительная влажность воздуха;
- снижение температуры воздуха от положительных до отрицательных значений.

Скользкое образование наиболее вероятно при температуре воздуха от -2°C до -6°C , относительной влажности воздуха от 65 до 85%. Поскольку процесс образования скользкости происходит на фоне неуклонного снижения температуры воздуха, необходимо иметь прогноз отрицательных температур на ближайшее время для организации работ по устранению скользкости. Для этих случаев образования стекловидного льда температура дорожного покрытия всегда выше температуры воздуха из-за тепловой инерции дорожной конструкции.

Конденсация и замерзание влаги из воздуха на сухой поверхности дорожного покрытия при его температуре ниже точки росы и, одновременно, ниже точки замерзания влаги образует так называемый «черный лед», ожерелье или иней. Процессу образования скользкости в этих случаях сопутствуют и предшествуют следующие погодные условия:

- ясная морозная погода (полное отсутствие облачности);
- отсутствие ветра;
- высокая относительная влажность, близкая к 100%.

В результате радиационного охлаждения дорожного покрытия ниже точки росы влага из воздуха конденсируется на нем и превращается в очень тонкий и прозрачный слой льда, который трудно обнаружить визуально («черный лед»). Образование этого вида скользкости возможно и при движении в утренние часы более теплой и влажной воздушной массы с моря на сушу, имеющую более низкую температуру воздуха и отрицательную температуру дорожного покрытия. В зимний сочетание погодных условий наиболее вероятно в прибрежных морских районах и в горных районах, где из-за высокой прозрачности воздуха температура покрытия ночью резко падает из-за радиационного выхолаживания. Этот тип скользкости может чаще возникать на автодорожных мостах, которые имеют меньшую тепловую инерцию, чем дорожная одежда, и имеют более низкую температуру поверхности в ночное время. Развитию способствует и более высокая относительная влажность воздуха в поймах рек, вблизи озер и других водоемов, особенно в переходный период до установления ледового покрова, а также на крупных ТЭЦ и других предприятиях. скользкости. Выпадение переохлажденных осадков в виде дождя, мороси, талого снега на дорожное покрытие, имеющее отрицательную температуру. Такая скользкость называется сосулькой. К этой же группе относятся и непереохлажденные осадки. Основной причиной образования скользкости в этом случае является потепление после длительных морозов и

движение теплой воздушной массы, приносящей с собой осадки (переохлажденные, неперохлажденные). Причиной образования скользкости в этом случае могут быть: устойчивое падение атмосферного давления в течение суток, устойчивое повышение относительной влажности и температуры воздуха или возможность выпадения жидких осадков - по прогнозу.

Анализ работ по изучению условий формирования и прогнозирования зимней скользкости на дорожных покрытиях и взлетно-посадочных полосах аэродромов показал, что существует несколько направлений в разработке этих вопросов. Наибольшее количество работ посвящено описанию автоматических устройств, регистрирующих наличие гололеда на дорожных покрытиях или предупреждающих об опасности его возникновения, созданию которых предшествуют теоретические и экспериментальные исследования, проводимые для выявления скользких условий [19, с. 45].

2.2 Теория взаимодействия льда с химическими реагентами

Антифризные химические реагенты, применяемые в борьбе с зимними скользкими дорогами, обладают свойством интенсивно поглощать влагу из воздуха - гигроскопичностью. Особенно это проявляется в хлоридах кальция, как х.ч. реагента CaCl_2 , так и гексагидрата $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (из опыта). Если такую соль посыпать на поверхность льда, то ионы соли перейдут из кристалла обволакивающего раствора в адсорбированную льдом влагу. Отделение ионов от поверхности кристаллов соли, контактирующих с жидкостью, рассмотрено на рисунке 2.4 и обусловлено автоколебательным движением микрочастиц и даже притяжением молекул растворителя (воды). В результате происходит растворение химических реагентов и одновременно распределение (диффузия) солевых ионов в растворителе с образованием раствора.

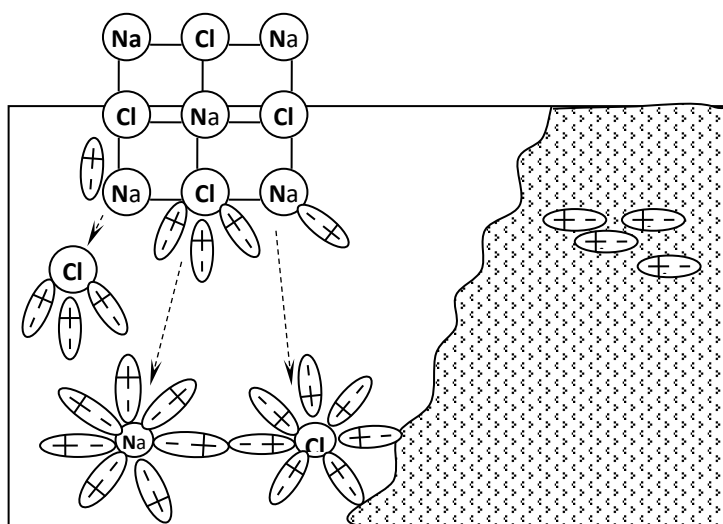


Рисунок 2.4 – Процесс таяния льда при взаимодействии с химическими реагентами

При высокой концентрации химического реагента микрочастицы, отделившиеся от кристаллов, частично или полностью соединяются с молекулами воды и создают новые химические соединения - гидраты.

Как показано на рисунке 2.1, в процессе гидратации кристаллов поваренной соли в воде полярные молекулы воды (диполи) ориентируются своим положительным полюсом вокруг отрицательных ионов хлора, а отрицательным полюсом вокруг положительных ионов натрия. В результате ослабляется связь между поверхностно расположенными ионами, в результате чего они отрываются от поверхности кристалла и растворяются в воде [20,с. 45].

2.3 Правило фазовых переходов при взаимодействии льда с химическими реагентами

А. Фазовые превращения свойственны всем телам в природе . Например, вода замерзает и на поверхности дорожного покрытия образуется лед, и наоборот, лед тает и переходит в жидкую фазу – воду. В совокупности процессов теплообмена, происходящих между фазами , образуется термодинамическая система, изученная Д.Л. Шамшиным, В.П. Древингом, А. Финдли, И.А. Каблуковым, Л.Х. Адамсом, казахстанскими учеными Б.Б. Телтаевым, А.К. Кыялбаевым и другими. Гетерогенное фазовое равновесие, т. е. сосуществование нескольких фаз, характеризует правило фаз.

На основе термодинамики американский ученый Дж. Гиббс вывел численную связь между термодинамическими величинами, определяющими условия фазового равновесия.

Правило фаз математически выражается следующим уравнением

$$C = n + 2 - k , \quad (2.1)$$

где C — число степеней свободы; n – количество компонентов; 2 – количество переменных параметров: давление p и температура T ; k – количество фаз в системе.

Соответственно количество фаз и количество компонентов можно рассчитать по следующим формулам:

$$k = n - C + 2 \text{ и } n = C + k - 2 \quad (2.2)$$

Б. Фазовое равновесие однокомпонентной системы лед-вода-пар. Фаза – это совокупность элементов термодинамической системы с одинаковым составом и свойствами [48,с. 23].

И. Каблуков скорректировал определение образования фазовой системы, определив, что системы «вода», «вода — лед», «вода — лед — пар» являются однокомпонентными из-за наличия однокомпонентного H_2O компонента. Система водного раствора хлорида натрия является двухкомпонентной, так как состоит из одной фазы и двух компонентов $NaCl$ и H_2O . По известной теории Менделеева-Клайперона, изменения параметров термодинамического состояния

системы напрямую связаны с давлением (p), объемом (V), универсальной газовой постоянной (R) и температурой (T), т.е. $V = RT$ или $p = cRT$, где c — число степеней свободы. «Лед-вода-пар», состоящий из 3-х фаз и одной составляющей, имеет определенные параметры $T=0,0098$ °С, $p=4,579$ мм рт.ст. При незначительном изменении любого параметра нарушается количество фаз системы [49,с. 89].

На рисунке 2.5 показана диаграмма состояний воды, представляющая собой проекцию объемной диаграммы на плоскость, проходящую через координаты p и T . Диаграмма разделена на три области, в которых вещество (в данном случае вода) может существовать в том или ином агрегатном состоянии, а также в области невозможных состояний. Линии обозначают границы области, в которой вещество может находиться в том или ином состоянии [39,с. 287].

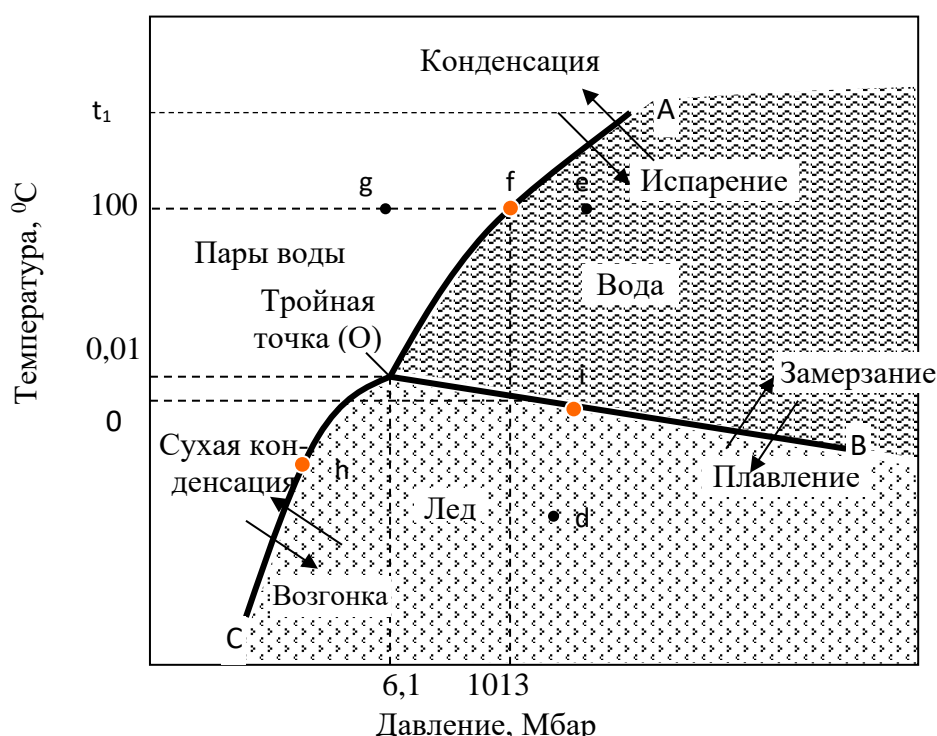


Рисунок 2.5 – Диаграмма состояния однокомпонентной системы (вода)

Глядя на однокомпонентную диаграмму состояния воды ($n = 1$), мы видим, что кривая OA является границей между областями существования вещества в газообразном и жидком состояниях. Справа от линии OA — жидкость, слева — насыщенный пар. Линия OA представляет собой кривую давления насыщенного пара над жидкостью, а линия OS — кривую давления насыщенного пара над твердой фазой. Линия BB представляет собой кривую, отделяющую жидкое состояние вещества от кристаллического состояния и выражающую зависимость температуры плавления или затвердевания от давления. Это условие определяет наибольшую опасность проскальзывания при температуре $0...-10$ °С в результате снижения допустимого коэффициента $\varphi_{\text{сцепления}} \rightarrow \varphi$ [34,с. 41].

Вещество выше критической температуры на кривой ОА существует в газообразном состоянии. Примером газообразного состояния является точка *A*, в которой находится только одна фаза ($k = 1$). Система имеет две степени свободы, так как условия существования газа могут изменяться независимо друг от друга (параметры p и T):

$$C = \pi + 2 - k = 1 + 2 - 1 = 2 \quad (2.3)$$

Следовательно, точки *d*, *e*, *g* имеют по две степени свободы и каждая из них имеет одну фазу. А точки *h*, *i*, *f*, лежащие на граничных кривых, имеют одну степень свободы. Здесь каждой температуре соответствует строго определенное значение давления. Точка *f* достигается, когда давление уменьшается от точки *e*. При достижении точки *f* система является предельной точкой жидкой фазы и имеет две степени свободы. Чтобы сохранить только жидкую фазу, допустим только повышение давления и понижение температуры [47, с. 231].

При увеличении объема системы, находящейся в точке *f*, давление не уменьшается до тех пор, пока не испарится вся жидкость, так как при этом давлении образуется насыщенный пар. При испарении жидкости в системе имеются две фазы – насыщенный пар и жидкость. Согласно уравнению Гиббса, система имеет одну степень свободы [45, с. 367].

После того, как вся система перешла в агрегатное состояние пара, ее можно изменить только в сторону увеличения температуры и уменьшения давления для ее сохранения, число степеней свободы равно двум.

В результате можно отметить, что возможны три случая расположения точек *f*, *I*, *h* на кривых, ограничивающих агрегатные состояния. В первом случае в точке *f* – одна фаза: жидкость, во втором случае – две фазы: жидкость и кристаллы, в третьем случае – одна фаза: кристаллы. Как и точка *f*, точка *i* также имеет три состояния — однофазное: пар, двухфазное: насыщенный пар и кристаллы и однофазное: кристаллы.

Продолжением линии ОА является кривая давления насыщенного пара над переохлажденной жидкостью. При температуре ниже t_1 упругость паров над жидкостью выше, чем упругость паров над кристаллами, и переохлажденная жидкость является неустойчивой системой, т. е. может самостоятельно переходить в кристаллическое состояние.

В точке *O* одновременно находятся 3 фазы: пар, жидкость и кристаллы, число степеней свободы которых равно:

$$C = 1 + 2 - 3 = 0 \quad (2.4)$$

Системы пересыщенных и ненасыщенных растворов состоят из одной фазы [55, с. 287]. Система, состоящая из жидкой и твердой фаз (соли и др.), называется насыщенным раствором. Если учесть водяной пар над раствором, то число фаз будет равно трем [50, с. 12]:

Б. Фазовое равновесие двухкомпонентной системы «вода-химреагент». Уравнение с переменными давлением, температурой, концентрацией веществ А и В (P, T, C_1, C_2), описывающее состояние двухкомпонентной системы, представить на четырехмерной диаграмме достаточно сложно. Для простоты концентрации в молях/л можно заменить составами, выраженными в мольных процентах или массовых долях. Изменение давления P в реальном случае незначительно, можно принять допущение $P = \text{const}$ и использовать плоскую диаграмму с системой координат «Т и %».

На рисунке 2.6 представлена плоская схема двухкомпонентной системы «вода — химический реагент». Здесь ось процентного отношения имеет ограниченную длину от 0 до 100%. Все фигурные точки, изображенные на плоской диаграмме, соответствуют некоторому сочетанию температуры и общего состава системы [83, с. 12].

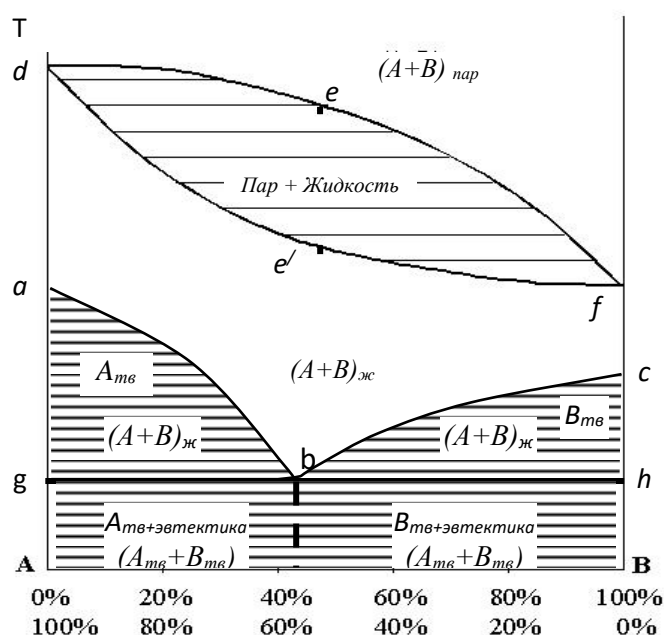


Рисунок 2.6 – Плоская диаграмма состояния двухкомпонентной системы «вода – химический реагент» в координатах «температура – процентный состав»

def соответствует насыщенным парам, образующим нижнюю границу области газообразного состояния. В области $de'f$ происходит расслоение на пар и жидкость, где компоненты смеси не могут образовать гомогенную систему. Граничной поверхностью системы $de'f$ является жидкость в граничном состоянии, при изменении процентного соотношения или температуры происходит расслоение этой системы.

При дальнейшем понижении температуры двухкомпонентная система представляет собой зонально-ограниченный расплав $dabcfe'$.

После достаточного снижения температуры из расплава выделяются кристаллы чистого вещества А или чистого вещества В. Рисунок 2.6 области равновесного сосуществования расплава с кристаллами А или ограниченными плоскостями abg и bch .

Компоненты А и В находятся в кристаллическом состоянии, если они расположены ниже *плоскости gbh*.

В данной работе нас интересуют процессы кристаллизации и плавления, в связи с чем рассмотрим только часть диаграммы с температурным интервалом от 0°C до температуры эвтектики, $P = \text{const}$, то общее количество переменных на плоской диаграмме будет на единицу меньше, чем в общей формуле, уравнение Гиббса в этом случае примет вид:

$$f = n + 1 - k, \quad (2.5)$$

где n - количество компонентов; 1 – количество переменных: температура; k - количество фаз.

Каждая точка плоской диаграммы подчиняется определенным условиям, которые задаются смесью компонентов А и В, взятых в определенном соотношении. Положение точки определяет, из каких фаз состоит равновесная система. При известном количестве фаз число степеней свободы (число независимых переменных) системы можно рассчитать с помощью уравнения Гиббса.

Б. Определение числа фаз на плоской двухкомпонентной диаграмме

Для наглядного представления фазового состава двухкомпонентных систем и происходящих в нем фазовых превращений необходимо следить за изменениями тепловых процессов. Процесс плавления и кристаллизации системы рассмотрен на схеме рисунок 2.7 [86,с. 280].

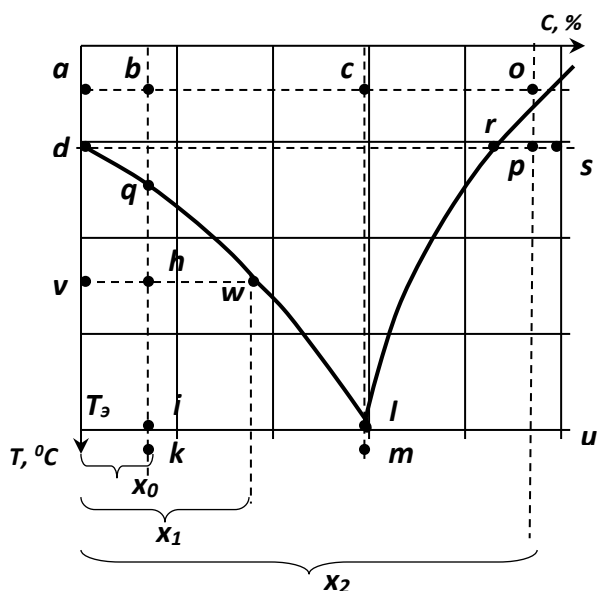


Рисунок 2.7 – Диаграмма состояния двухкомпонентной системы в координатах «Т - %»

Рассмотрим несколько случаев определения количества фаз двухкомпонентной системы «вода - химический реагент», и даже определение их количественного соотношения в разных точках диаграммы на рисунке 2.4.

Условимся называть вещество водой (H_2O), а вещество Y химическим реагентом [77, с. 205].

Чистое вещество А. В точке «а» находится 1 фаза, так как точка «а» соответствует чистому расплавленному компоненту А (воде). Итак, в точке «а» есть одна фаза, один компонент и одна переменная: температура. Точка «а» соответствует одной степени свободы $f = 1 + 1 - 1 = 1$.

Кристаллизация чистого компонента происходит в точке «d». Точка "г" соответствует трем случаям: а) 1-я фаза - расплав при температуре перехода; б) 2 фазы – расплав и кристаллы в переходном процессе; в) 1-я фаза – кристаллы в последний момент превращения. В точке «v» имеется только твердая фаза. Точка «d» соответствует трем случаям:

1. Когда точка «d» только что достигнута и является крайней точкой жидкого состояния. Число степеней свободы в этом случае равно $f = 1 + 1 - 1 = 1$. Изменения происходят только в сторону точки «а».

2. При протекании процесса кристаллизации количество фаз равно двум, одной составляющей и одной переменной: температуре. Тогда: $f = n + 1 - k = 1 + 1 - 2 = 0$. Фазовое превращение возможно только при одиночной разнице плотностей двух фаз на диаграмме в "%- Т" координаты.

3. По окончании кристаллизации $f = 1 + 1 - 1 = 1$. Они могут измениться в сторону точки «v». А здесь точка d является крайней точкой твердой фазы [78, с. 21].

В точке «v» число степеней свободы $f = 1 + 1 - 1 = 1$. Температура может изменяться в обе стороны, но концентрация остается только чистого вещества А. Эта точка соответствует твердой фазе: кристаллам.

Смесь веществ А и В (лед и химреагент) произвольного состава. Точка b соответствует расплаву или жидкой фазе. Система имеет две степени свободы, с двумя компонентами и одной фазой [59, р. 89].

При потере тепла температура расплава снижается, точка q, лежащая на перпендикуляре, опущенном из точки b, отражает состояние системы.

В точке «q» - 1 фаза, в этот момент система находится при температуре начала кристаллизации и расплав достигает предела охлаждения. $f = 2 + 1 - 2 = 1$. При понижении температуры образуются кристаллы вещества А, а состав оставшегося расплава обогащается веществом В. При дальнейшем уменьшении точки «q» происходит 1 фаза: твердая и две степени свободы.

Относительное количество фаз и их состав можно определить по фазовой диаграмме. Чтобы определить относительное количество каждой фазы, рассмотрите точку h на рисунке 2.7. Молярная доля вещества в этой точке равна x_0 . [78, с. 21].

Эта система при температуре T_a распадается на кристаллы вещества А (лед) и плавится (рисунок 2.7). Молярная доля вещества (химреагента) в расплаве равна x_1 . Введем обозначения: m - доля общей массы системы, поступающая в расплав; $1 - m$ - фракция кристаллов. затем

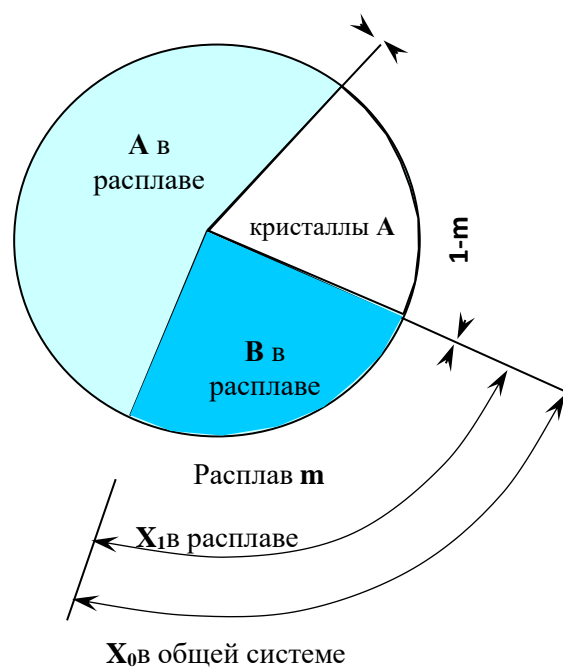
$$x_0 = m \cdot x_1, \quad (2.6)$$

$$\text{откуда } 1 - m = 1 - \frac{x_0}{x_1} = \frac{x_1 - x_0}{x_1}, \quad m = \frac{x_0}{x_1} \quad (2.7)$$

$$\text{следовательно } \frac{m}{1 - m} = \frac{x_0}{x_1} \cdot \frac{x_1}{x_1 - x_0} = \frac{x_0}{x_1 - x_0}, \quad (2.8)$$

Из выражения видно, что количество расплава и количество кристаллической фазы связаны друг с другом как длины отрезков vh и hw (рисунках 2.7, 2.8):

$$\frac{\text{масса} \cdot \text{кристаллов} (m - 1)}{\text{масса} \cdot \text{расплава} (m)} = \frac{hw}{vh} \quad (2.9)$$



А – лед (H_2O); В – химический реагент; m - расплав; $1-m$ - кристаллы

Рисунок 2.8 – Количественное соотношение фаз в двухкомпонентной системе «лед – химический реагент»

Это соотношение называется правилом рычага, опорой которого является точка h . Для расчета массы отдельных фаз по правилу рычага необходимы системы, состав которых выражается в молярных долях или процентах. Правило рычага, примененное в точке g , показывает, что количество кристаллов в этой точке равно нулю. Когда охлаждение достигает температуры T_e , состояние системы выражается точкой i . Температура T_e является самой низкой температурой, при которой может существовать расплав. Расплав с составом, обеспечивающим наименьшее охлаждение, называют эвтектической смесью, а

его точку замерзания называют эвтектической точкой, может быть разное количество фаз в точке i :

1. При достижении точки i сверху – 2 фазы: кристаллы А и расплав состава эвтектической системы.

2. В процессе затвердевания расплава выделяют 3 фазы: расплав, кристаллы А, кристаллы В. При отделении кристаллов А состав расплава не изменяется, поэтому затвердевание эвтектической системы происходит при постоянной температуре.

3. После окончания кристаллизации выделяют 2 фазы: кристаллы А, кристаллы У.

В точке k находятся 2 фазы - кристаллы А и кристаллы В. Вычислим степени свободы следующих точек: точка g : $f = 2+1-1=2$, изменения температуры и концентрации возможны только в направлении жидкой фазы.

Для точки h : $f = 2+1-2=1$, если задана температура, то состав должен быть полностью определенным или задан составом, он должен иметь только одно определенное значение температуры.

При подсчете степеней свободы в точке i возникают три случая:

1. При достижении точки i сверху: $f = 2+1-2=1$;

2. При затвердевании расплава (эвтектическая система): $f = 2+1-3=0$;

3. После кристаллизации: $f = 2+1-2 = 1$. Для точки k : $f = 2 + 1 - 2 = 1$. Точка i является крайней точкой области ниже линии db (рисунок 1). То есть независимыми переменными могут быть либо температура T , либо концентрации 1 или 2 [58].

Эвтектическая смесь.

Точка «с» представляет собой расплавленную эвтектическую смесь при эвтектической концентрации. При снижении температуры до точки «1» происходит кристаллизация с неизменным составом кристаллов А и В. Расплав затвердевает от начала до конца с постоянным составом при постоянной температуре. В точке "1" может быть три случая: а) при достижении точки сверху одна фаза - Плав, число степеней свободы $f = 2 + 1 - 2 = 1$; б) при кристаллизации образуются три фазы: расплав, кристаллы А и кристаллы, $f = 2+1-3=0$; в) при затвердевании система распадается на две фазы: кристаллы и кристаллы, $f = 2+1-2=1$.

2.4 Диаграммы растворимости как составная часть диаграмм плавления

Как было сказано выше, в данной работе мы рассматриваем процессы перехода кристаллов в жидкое состояние и, наоборот, из жидкого состояния в кристаллическое. Диаграммы температуры плавления, описывающие только процессы кристаллизации и плавления, называются диаграммами растворимости.

Диаграммы растворимости построены на основе экспериментальных данных исследований многих ученых. Первые работы по составлению диаграмм растворимости и изучению фазового состава были проведены в 30-х годах 20

века, в том числе: Раковский А.В., Адамс Л.Х., Каблуков И.А., Воскресенская Н.К., Янатьева О.К., Ю.В. Одной из особенностей системы «соленая вода» является практическое отсутствие твердых растворов на основе льда (за исключением фторида аммония, который не представляет для нас интереса в данной статье) [46,с. 124]. При понижении температуры происходит кристаллизация крупных капель H_2O , обогащении еще не застывшего раствора химическим реактивом. На основании существующих диаграмм растворимости, построенных по экспериментальным данным, были выбраны диаграммы пяти видов химических реагентов, используемых в качестве антигололедных материалов. Выбор производился по следующим критериям: растворимость в воде и понижение температуры замерзания, коррозия, токсичность, доступность, стоимость, воздействие на почву, растения и водные источники, горючесть. Основными свойствами считались низкая молекулярная масса и высокая растворимость. Среди них: хлорид натрия, хлорид магния, хлорид кальция, «Антиснег-1» на основе ацетата аммония и «Нордвей» на основе ацетата калия.

Функции, описывающие эти кривые, были выведены для антиобледенительных материалов. В результате были получены более точные данные о концентрации плавления с высокой степенью достоверности аппроксимации. И уже с учетом заданных значений концентрации был определен фазовый состав двухкомпонентных систем (рисунок 2.9) [79,с. 114].

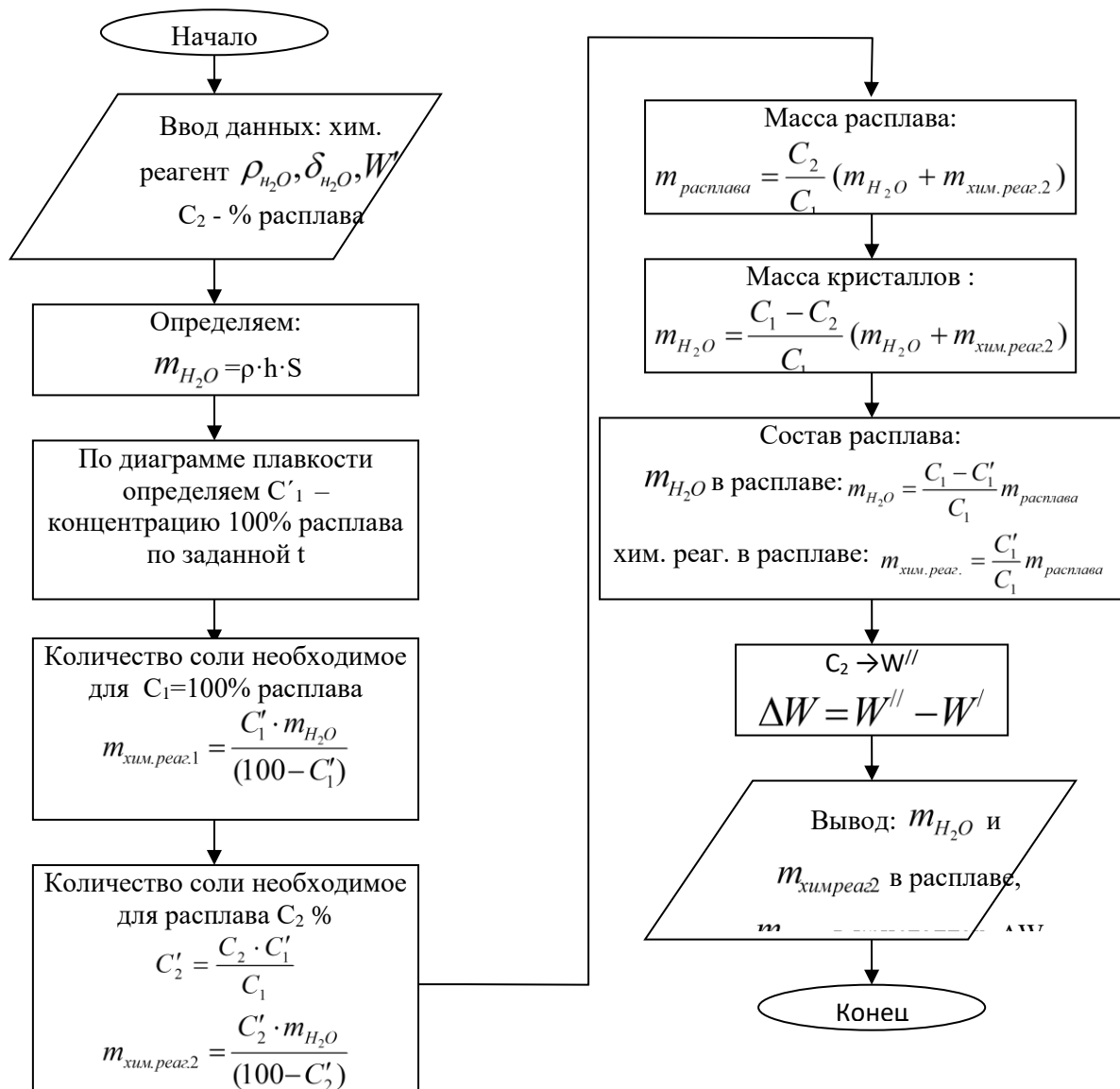


Рисунок 2.9 – Блок-схема алгоритма расчета нормы расхода химического реагента и определения фазового состава двухкомпонентной системы «вода – химический реагент»

Исследования качеств сцепления с дорожным покрытием и обеспечения безопасного коэффициента сцепления, а также предельно допустимых сил сцепления снежных отложений с дорожным покрытием приведены в работах Сильянова В.В., Аллана К.Г. Ху, Немчинова, М.В.Л.Г. Карабана, Б.А. Лифштица, В.Б. Ратынова, В. К. Бесселева и другие.

На основании предложенного алгоритма и методики определения фазового состава двухкомпонентных систем были произведены соответствующие расчеты (Приложение Б), на основании которых приведены следующие примеры. Продолжительность взаимодействия химических реагентов со снежно-ледяными образованиями принимается в зависимости от эффективного времени воздействия.

Пример 1. Определение зависимости фазового состава системы от температуры воздуха, толщины слоя и плотности снежных отложений. График

на рисунке 2.10 показывает количественное соотношение фаз при распределении по снежно-ледяной формации плотностью 500 г/м^3 и толщиной слоя 5 мм в количестве 35 г/м^2 . При понижении температуры от $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ до $-100 \text{ }^\circ\text{C}$ состав расплава в общей системе уменьшается в 3,8 раза от исходного количества [49, с. 89].

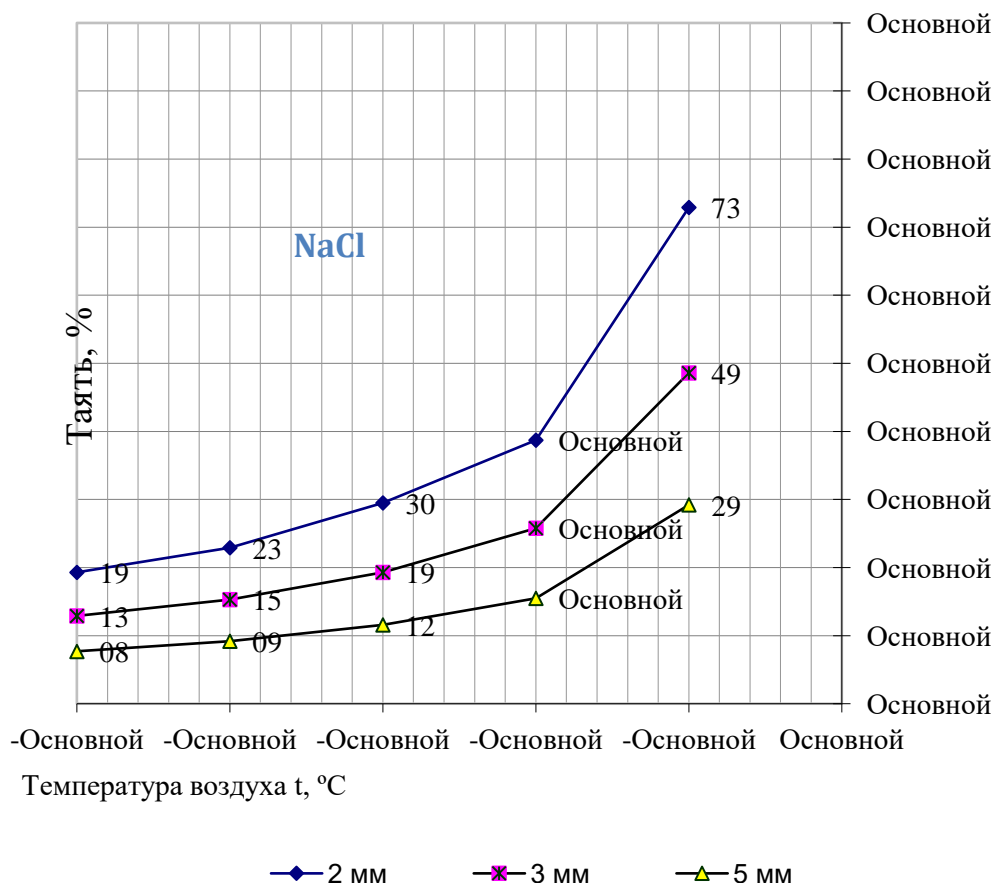


Рисунок 2.10 – Изменение фазового состава системы « NaCl – H₂O » в зависимости от температуры воздуха

Если толщина слоя снежных отложений 2 мм , расход NaCl 35 г/м^2 растапливается $72,9 \%$, то при толщине 5 мм растапливается только $29,2 \%$. При температуре $-6 \text{ }^\circ\text{C}$ этот расход плавится $29,5\%$ и $11,6\%$ соответственно. При снижении до $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ расплав составляет $19,3 \%$ от всей системы для отложений толщиной 2 мм и $7,7 \%$ при толщине 5 мм .

Одна и та же скорость потока при разных значениях температуры плавит разное количество кристаллов. Методом диаграмм плавления можно определить отношение кристаллов и расплава к общей массе при понижении или повышении температуры.

Пример 2. На основе разработанного алгоритма расчета можно решить обратную задачу, т. е. определить фазовый состав исходя из нормы расхода химреагента. На рисунке 2.9 показано изменение фазового состава двухкомпонентной системы «Антиснег-1 - H₂O» при температуре $-2 \text{ }^\circ\text{C}$ при увеличении плотности снежно-ледяных отложений (рисунок 2.11).

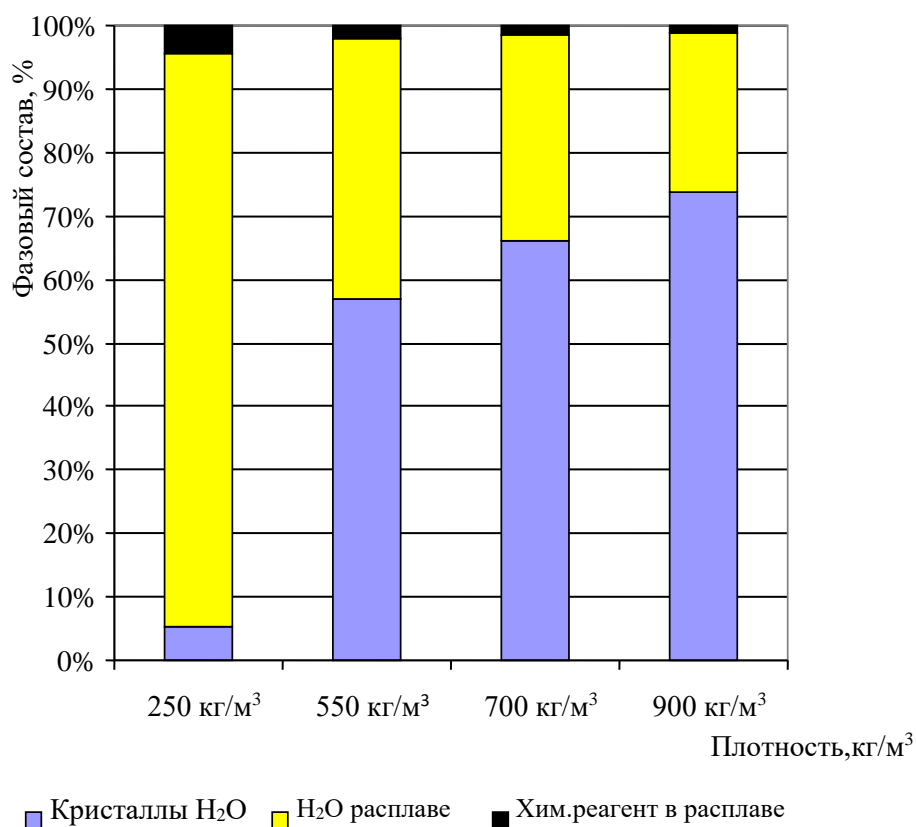


Рисунок 2.11 – Зависимость фазового состава двухкомпонентной системы «Антиснег-1 - H₂O» от плотности снега при температуре -2 °С

Во всех случаях толщина отложений составляет 3 мм, а плотность распределения химреагента - 35 г/м². В рыхлом снегу плотностью 250 кг/м³ система состоит из 5,4% кристаллов H₂O и 94,6% расплава. Сам расплав состоит из H₂O в жидкой фазе, составляющей 90,2% от всей системы, и растворенного химического реагента, составляющего 4,4% от всей системы. При увеличении плотности до 550 кг/м³ (уплотненный валок) расплавляется только 43% всей системы. При дальнейшем увеличении плотности до 700 кг/м³ соотношение изменяется до 66,2% в кристаллической форме и 33,8% в расплаве [45, с. 367]. Для стекловидного льда (900 кг/м³) соотношение изменяется до 73,7% и 26,3% соответственно. Как видно из диаграммы рисунка 2.9, состав талой воды в общей системе рыхлого снега в 3,6 раза меньше по сравнению со стекловидным льдом при норме расхода химреагента 35 г/м².

Пример 3. На рисунке 2.12 приведен график зависимости процентного отношения расплава к общей системе «MgCl₂ – H₂O» в зависимости от температуры и расхода. Если при -4 °С норма расхода реагента $q = 182$ г/м² расплавляет 60% снежно-ледяного образования при плотности 800 кг/м³ и толщине слоя 5 мм, то при -8 °С расплав восстанавливается до 40% от всего объема системы. При рассыпании 90 г/м² по поверхности снежных отложений с такими же характеристиками при температуре -2 °С он тает до 45% от веса 4 кг, или около 1800 г. При снижении температуры до -8 °С фаза плавится до 20% расплава и 80% кристаллов [46, с. 124].

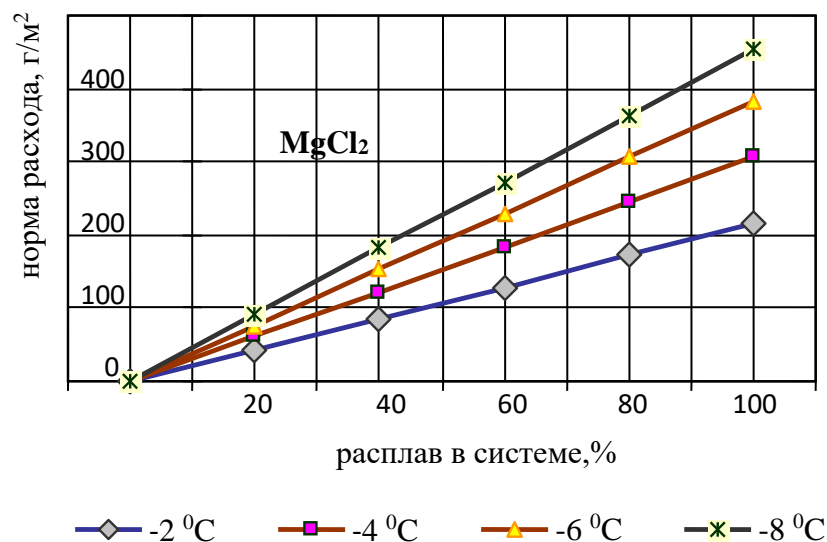


Рисунок 2.12 – Определение фазового состава системы « $\text{MgCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ »

Пример 4. Сглаживающая способность химреагентов при одинаковых условиях взаимодействия и расхода антигололедных материалов различна для каждого вида реагента в зависимости от характера теплового воздействия при изменении температуры. На рисунке 2.13 показана способность различных химических реагентов при температуре воздуха -2°C , плотности снежных отложений 700 кг/м^3 и толщине 5 мм. Расход химреагентов 35 г/м^2 . Как видно из рисунка 2.11, наибольшей текучестью при этой температуре обладает NaCl , а наименьшей - CaCl_2 .

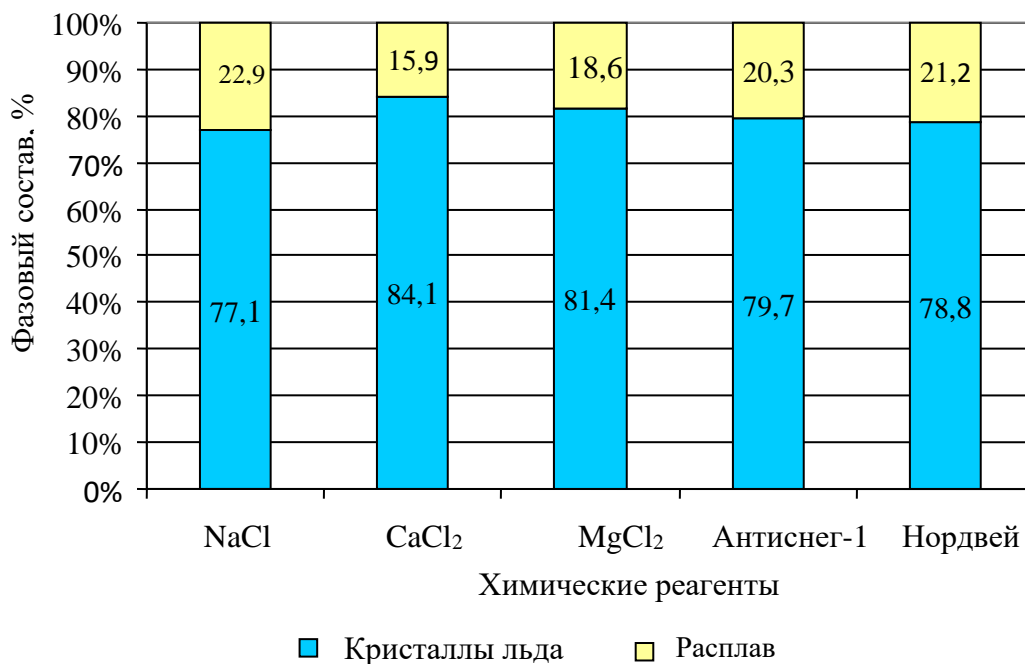


Рисунок 2.13 – Плавающая способность различных химических реагентов при стандартных условиях

Однако следует также учитывать физические и химические свойства реагентов. CaCl₂ обладает высокой гигроскопичностью, поэтому поглощает влагу из воздуха, быстро вступает в реакцию и оказывает эффект «кипения» при взаимодействии со снежно-ледяными образованиями.

2.5 Пример определения плотности распределения антигололедных химических реагентов, распределяемых аварийным методом

Определение плотности распределения химреагентов при аварийном способе их распределения ($C_1 = 100\%$). т/м³, мощность снежно-ледяной толщи $h = 0,002$ м. Начальная влажность $W = 16\%$.

Решение:

1. Определить массу снега, приходящуюся на 1 м² дорожного покрытия при $\rho = 0,700$ т/м² и $h = 0,002$ м:

$$m_{H_2O} = \rho \cdot h \cdot S = 0,700 \cdot 0,002 \cdot 1 = 0,0014 \text{ т} = 1400 \text{ г.}$$

2. Из рисунка 2.6 определяем концентрацию раствора по диаграмме температуры плавления хлорида кальция: $i = 5,9\%$.

3. По исходным данным масса снега $m_{H_2O} = 1400$ г, масса реагента $m_{\text{хим.реаг.}} = X$ г. В расчете сумма их масс равна 100 %, т. е. $m_{\text{total}} \% = m_{H_2O} \% + m_{\text{хим.реаг.}} \% = 100$ %. При этом при $i = 5,9\%$ масса хлорида $m_{\text{хим.реаг.}} = X$ г.

4. Массовая доля снежных кристаллов $100 - 5,9\% = 94,1\%$

94,1% - 1400 г

5,9% - X

По правилу кредитного плеча: $x = \frac{1400 \cdot 5,9}{94,1\%} = 88$ г на 1 м² площади покрытия.

Масса всей системы ($m_{H_2O} + m_{\text{хим.реаг.}}$) составляет 1488 г и равна 100%.

5. Конечная влажность системы равна количеству полученного расплава $W = 100\%$. Начальная влажность устанавливается равной $W = 16\%$ при температуре воздуха $t = -2$ °С.

Определим $\Delta W = W'' - W' = 100 - 16 = 84\%$.

Результат: При температуре воздуха $t = 2$ °С, плотности снежно-ледяного покрова $\rho = 0,700$ т/м³ и толщине снежно-ледяного покрова $h = 0,002$ м расход хлористого кальция на 100% плавление кристаллов $q = 61$ г/м². Увеличение влажности составило $\Delta W = 84\%$ [57, с. 104].

Пример 1. Расчет определения расхода химреагента на таяние необходимого соотношения снежно-ледяных отложений

Цель расчета: Необходимо рассчитать расход химреагента на таяние $C_2 = 35\%$ от общей массы снежно-льдообразования, изменение относительной влажности воздуха, а также их весовое соотношение в расплаве. и система в целом [58].

Алгоритм расчета.

Ход решения: _

1. определить массу вещества А (H₂Pro) при $\rho = 0,700$ т/м² и $h = 0,005$ м.

$$m_{H_2O} = \rho \cdot h \cdot S = 0,700 \cdot 0,005 \cdot 1 \cdot 1 = 0,0035 \text{ t} = 3500 \text{ лет.}$$

2. На диаграмме плавления двухкомпонентной системы CaCl_2 проводим горизонтальную линию от температуры -20°C до пересечения с кривой, затем опускаем перпендикуляр к оси абсцисс и определяем концентрацию для 100% плавления система $C_1 = 5,9\%$ (рисунок 2.14). То есть для полного расплавления в системе должно быть $5,9\%$ вещества (CaCl_2) и $94,1\%$ вещества А (H_2O). Отмечаем эту криогидратную точку Γ .

3. Для определения расхода соли на получение расплава в количестве $V = 100\%$ прибавляем соотношение:

4. X - $5,9\%$

5. 3500 г - $94,1\%$

6. По правилу кредитного плеча $X = m_{\text{хим.реаг.1}} = \frac{C'_1 \cdot m_{H_2O}}{(100 - C'_1)} = \frac{5,9\% \cdot 3500}{94,1\%} = 219,5 \text{ г}$

7. Для определения расхода соли при массовом отношении расплава к общей системе $C_2 = 35\%$ прибавляем соотношение:

X - 35%
 $5,9\%$ - 100%

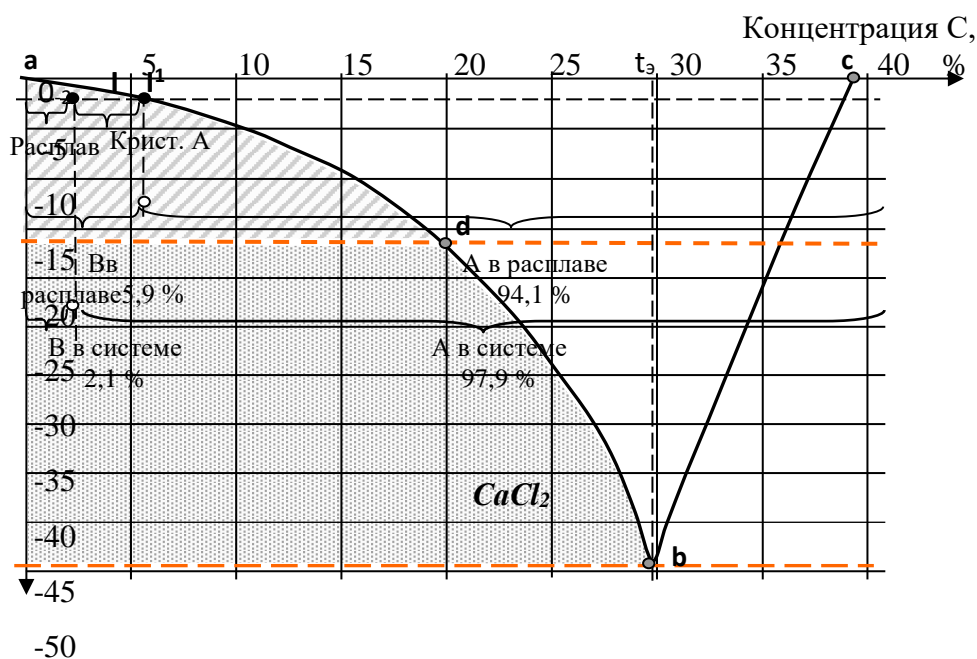


Рисунок 2.14 – Аналитическое назначение диаграмм температуры плавления

Следовательно, по правилу кредитного плеча $x = \frac{C_2 \cdot C'_1}{C_1} = \frac{5,9\% \cdot 35\%}{100\%} = 2,1\%$. На

графике рисунка 2.14 на пересечении значения температуры 20°C и концентрации $2,1\%$ отмечена точка I.

Масса химреагента на $C_2 = 35\%$:

$$m_{\text{хим.реаг.2}} = \frac{C'_2 \cdot m_{H_2O}}{(100 - C'_2)} = \frac{2,01\% \cdot 3500}{97,9\%} = 74 \text{ г}$$

$$5. \text{ Масса расплава: } m_{\text{расплава}} = \frac{C_2}{C_1} (m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{хим.реаг.2}}) = \frac{35\%(3500 + 74)}{100\%} = 1251 \text{ г}$$

6. Масса кристаллов H_2O :

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{C_1 - C_2}{C_1} (m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{хим.реаг.2}}) = \frac{(100\% - 35\%)}{100\%} (3500 + 74) = 2323 \text{ г}$$

7. Опуская перпендикуляр из точки I' (эвтектики) на ось абсцисс, находим состав расплава. Он содержит $A=100-5,9=94,1\%$ (H_2O), $B=5,9\%$ (химреактив).

$$\text{H}_2\text{O в расплаве составляет: } m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{C_1 - C_1'}{C_1} m_{\text{расплава}} = \frac{94,1\% \cdot 1177}{100\%} = 1177 \text{ г}$$

$$\text{CaCl}_2 \text{ в расплаве: } m_{\text{хим.реаг.}} = \frac{C_1'}{C_1} m_{\text{расплава}} = \frac{5,9\% \cdot 1251}{100\%} = 74 \text{ г в расплаве.}$$

8. Конечная влажность системы равна количеству расплава $C_2 = W' = 35\%$.
Определим $\Delta W = W'' - W' = 35 - 15 = 20\%$.

Вывод: Для таяния 35 % снежно-ледяной формации плотностью $\rho = 0,700 \text{ т/м}^3$ при температуре воздуха -2°C требуется 74 г CaCl_2 . Количество H_2O в жидкой фазе (в расплаве) 1177 грамм. Увеличение влажности в системе составляет $W = 20\%$.

Анализ результатов расчета. Рисунок 2.14 – Определение фазового состава двухкомпонентных систем графоаналитическим методом по температуре плавления по оси мессалда. Сони олык надо описать.

Пример 2. Определение состава и количества фаз, а также изменения влажности двухкомпонентной системы при плавлении с определенным количеством соли (обратная задача).

Цель расчета: Необходимо рассчитать изменение влажности снежно-льдообразования, определить состав и количество фаз в системе.

Исходные данные: исходная влажность $W' = 15\%$, температура воздуха $t = -6^\circ\text{C}$, исходный химреактив – хлорид натрия NaCl , расход соли 30 г/м^2 , плотность образования снега и льда $\rho = 0,700 \text{ т/м}^3$, толщина снежно-ледяного покрова $h = 0,002 \text{ м}$.

Алгоритм расчета [64, с. 80]:

Ход решения:

1. Определить массу снега, приходящуюся на 1 м^2 дорожного покрытия при $\rho = 0,700 \text{ т/м}^3$ и $h = 0,002 \text{ м}$:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \rho \cdot h \cdot S = 0,700 \cdot 0,002 \cdot 1 = 0,0014 \text{ т} = 1400 \text{ г.}$$

7. По диаграмме плавления двухкомпонентной системы CaCl_2 проводим горизонтальную линию от температуры -6°C до пересечения с кривой, затем опускаем перпендикуляр к оси абсцисс и определяем концентрацию для 100% плавления системы $C_1 = 9,7\%$ (рисунке 2.15).

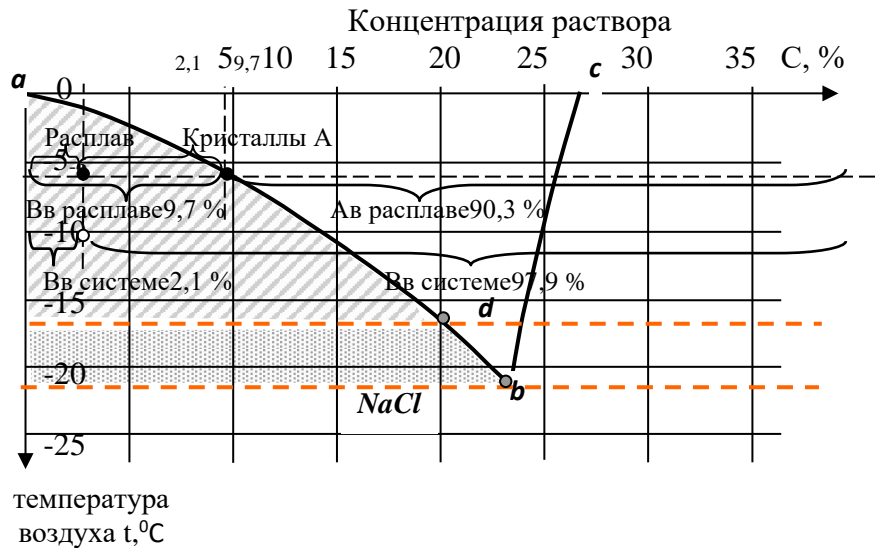


Рисунок 2.15 – Определение фазового состава двухкомпонентных систем с помощью графоаналитических диаграмм температуры плавления

3. По исходным данным масса снега $m_{H_2O} = 1400$ г, а масса реагента $m_{хим.г} = 30$ г. Их сумма равна 100%, то есть:

$$M_{общий} \% = m_{H_2O} + M_{химический} \% = 1400 + 30 = 1430 \text{ г.}$$

1430 гр - 100%

$$30 \text{ г} - X\%$$

Определим вещество (NaCl) в общей системе:

$$x = C'_2 = \frac{m_{хим.реаг} \cdot C_1}{(m_{H_2O} + m_{хим.реаг})} = \frac{30 \cdot 100\%}{1430} = 2,1\%$$

4. Определить массу расплава. Если при $C_1 = 9,7\%$ расплав составляет 100% системы, то при концентрации $C_2 = 2,1\%$ расплав составляет $x\%$ всей системы NaCl-H₂O.

Из соотношения: 9,7% - 100%

2,1% - X

$$\text{По правилу кредитного плеча: } x = C_2 = \frac{C_1 \cdot C'_2}{C'_1} = \frac{100\% \cdot 2,1\%}{9,7\%} = 21,65\% .$$

Количество жидкой фазы составит 21,65% от общей массы системы 1430.

$$m_{расплава} = \frac{21,65\%}{100\%} \cdot 1430 \text{ гр} = 309,6 \text{ грамм}$$

5. Массу кристаллов H₂Pro определяют из соотношения: 78,35% - X
100% - 309,6 г

$$m_{H_2O} = \frac{C_1 - C_2}{C_1} (m_{H_2O} + m_{хим.реаг.2}) = \frac{(100\% - 21,65\%)}{100\%} (1400 + 30) = 1120,4 \text{ грамм}$$

6. Опуская перпендикуляр из точки I' (эвтектики) на ось абсцисс, находим состав расплава. Вещества (NaCl) в расплаве 9,7%, вещества А (H₂Pro) 100-9,7=90,3%.

Вещество (NaCl) в расплаве определяют из соотношения:

$$309,6 \text{ г} - 100\%$$

$$X - 9,7\%$$

$$m_{\text{хим.реаг.}} = \frac{C'_1}{C_1} m_{\text{расплава}} = \frac{9,7\% \cdot 309,6}{100\%} = 30 \text{ грамм}$$

Вещество А (H₂O) в расплаве определяют:

$$309,6 \text{ г} - 100\%$$

$$X - 90,3\%$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{C_1 - C'_1}{C_1} m_{\text{расплава}} = \frac{90,3\% \cdot 309,6}{100\%} = 279,6 \text{ грамм}$$

7. Конечная влажность системы равна количеству полученного расплава $C_2 = W' = 21,65\%$. Начальная влажность равна $W = 15\%$ при температуре воздуха $t = -6^\circ \text{C}$,

Определим $\Delta W = W'' - W' = 21,65 - 15 = 6,65\%$.

Вывод: таким образом, при температуре воздуха $t = -6^\circ \text{C}$, плотности снежно-ледяного покрова $\rho = 0,700 \text{ т/м}^3$ и мощности снежно-ледяного покрова $h = 0,002 \text{ м}$ расход NaCl = 30 г, масса двухкомпонентной системы 1430 г. Вся система состоит из 309,6 г расплава и 1120,4 г кристаллов H₂O. В расплаве содержится H₂O в жидкой фазе – 279,6 г, NaCl – 30 г.

Увеличение влажности системы составило $\Delta W = 6,65\%$.

2.6 Термический анализ двухкомпонентных систем

Диаграммы состояния различных систем строятся на основе модели равновесия между кристаллической и жидкой фазами по многочисленным экспериментальным данным. Диаграммы равновесия между жидкой фазой и кристаллами также называют диаграммами растворимости.

Первые исследования зависимости растворимости солей в воде были выполнены Глаубером и Ломоносовым около двухсот лет назад.

Наиболее приемлемым методом установления равновесных температур между твердой и жидкой фазами является метод термического анализа, не требующий ни механического разделения, ни химического анализа фаз, находящихся в равновесии. Различают следующие способы установления равновесных температур: визуальный и метод кривых «время-температура» (рисунок 2.16). Визуальный метод используется только для сред с высокой прозрачностью для наблюдения.

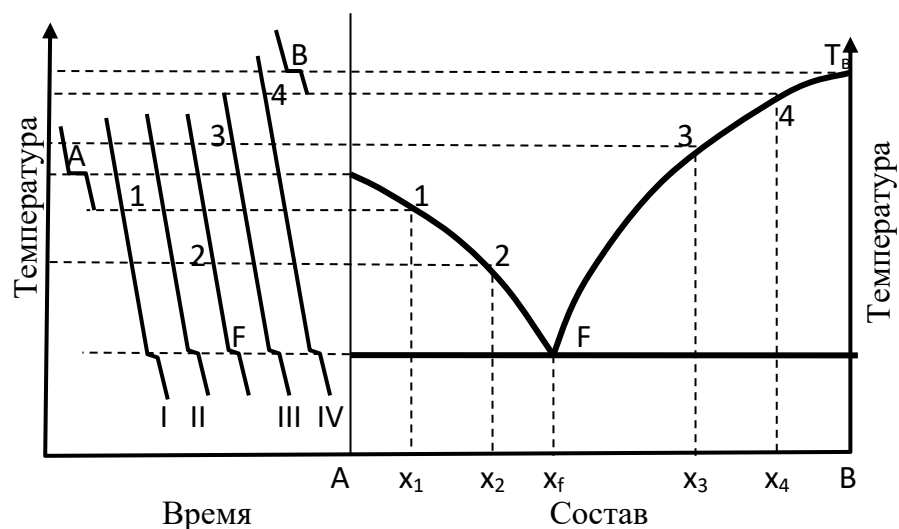


Рисунок 2.16 – Пример построения диаграммы состояния двухкомпонентной системы по кривым охлаждения. Простейший случай с одной эвтектикой

Примечание – Источник [61,с. 118]

Метод кривых «время — температура» получил широкое распространение в работах Н. С. Курнакова, разработавшего конструкцию регистрирующего пикнометра с автоматической регистрацией температуры системы охлаждения или обогрева. Суть этого метода заключается в систематическом наблюдении за температурой охлаждающего тела, что является весьма трудоемким процессом [62,с. 92]. При образовании кристаллов скорость падения температуры изменяется за счет тепловых процессов.

Автор рассмотрел влияние тепловых процессов на взаимодействие снежно-ледообразования с химическими реагентами.

2.7 Фон химических и физических реакций между различными антиобледенителями

Высказывались опасения по поводу различных противообледенительных средств и того, что некоторые из продуктов реакции могут загрязнять противообледенительное оборудование, воздействовать на дорожное покрытие, на которое наносятся противогололедные средства, и снижать эффективность противогололедных средств. Беспокойство возникло из-за наблюдений, что когда ацетат калия (KAc) и хлорид магния ($MgCl_2$) использовались параллельно в неочищенных резервуарах для хранения, образовывалось творожистое вещество, которое засоряло оборудование. Подобные наблюдения логично привели к вопросам о том, могут ли такие же или другие реакции возникать в дорожной среде и как эту реакцию можно предотвратить (рисунок 2.17).



Рисунок 2.17 – Проведение рентген-фазового анализа в Институте проблем горения г.Алматы

Б. Результаты анализа теоретических расчетов исследования

Интересно отметить, что температура смешанных антиобледенительных растворов была несколько выше температуры окружающего воздуха, вероятно, за счет тепла, выделяющегося при смешивании антиобледенительных растворов. Средняя температура окружающего воздуха составила $22,6 \pm 1,0^\circ \text{C}$, а средняя температура антиобледенительного раствора – $24,8 \pm 1,1^\circ \text{C}$. Относительная влажность колебалась от 35 до 52%, в среднем 44%. Изменения окраски антиобледенительных растворов во времени не наблюдалось. На рисунке 2.18.

$\text{MgCl}_2 + \text{KAc (CF7)/KFm}$. Наблюдаемый молочный вид смеси $\text{MgCl}_2 + \text{KAc/KFm}$ нельзя объяснить деионизированной водой, антиобледенителем CDOT MgCl_2 или исходным раствором KAc/KFm , в отличие от рисунка 2.18 Б, где MgCl_2 (имеет молочный оттенок) + Смесь NaAc/NaF можно отнести к смеси NaAc (NAAC)/NaFm (пик SF).



а)



б)

(DI), MgCl_2 , KAc/KFm и $\text{MgCl}_2 + \text{KAc/Fm}$ и (B) DI, MgCl_2 , NaAc/NaF $\text{MgCl}_2 + \text{NaAc/NaF}$, взятые в последний день эксперимента

Рисунок 2.18 – Фотографии исходных растворов и смесей противогололедных реагентов (А) деионизированной воды

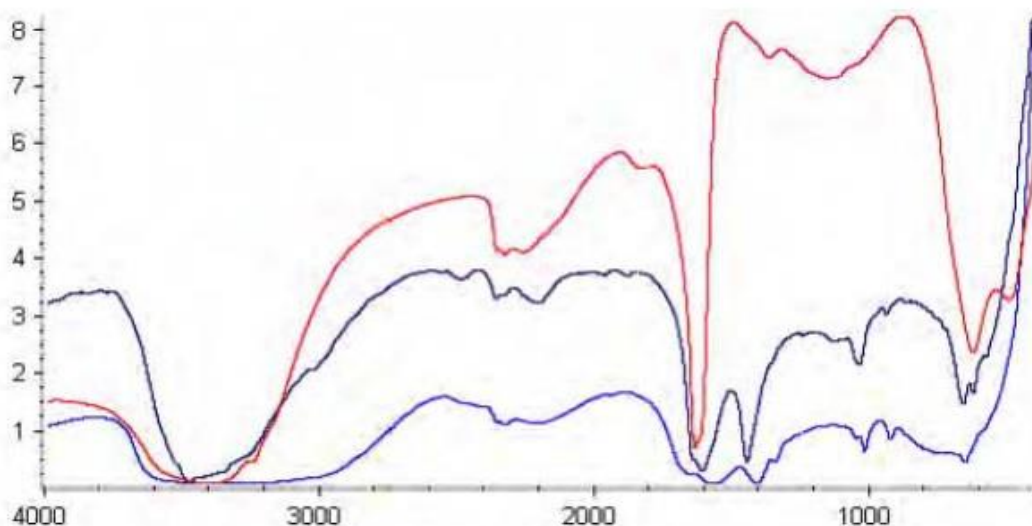


Рисунок 2.19 – ИК -Фурье -спектроскопия исходного материала $MgCl_2$ (красная линия) и KAc (голубая линия) и их комбинированного продукта $MgCl_2 + KAc$ (темно-синяя линия)

На рисунке 2.20 показаны ИК-Фурье-спектры исходных материалов и объединенных продуктов $MgCl_2 + KAc$. В ИК-Фурье-спектре смеси $MgCl_2 + KAc$ все присутствующие пики можно отнести к одному или обоим исходным растворам. Поскольку новых химических группировок не появилось, осадок, скорее всего, представляет собой ацетат магния ($Mg(Ac)_2$), образовавшийся в результате реакции $MgCl_2$ с KAc .

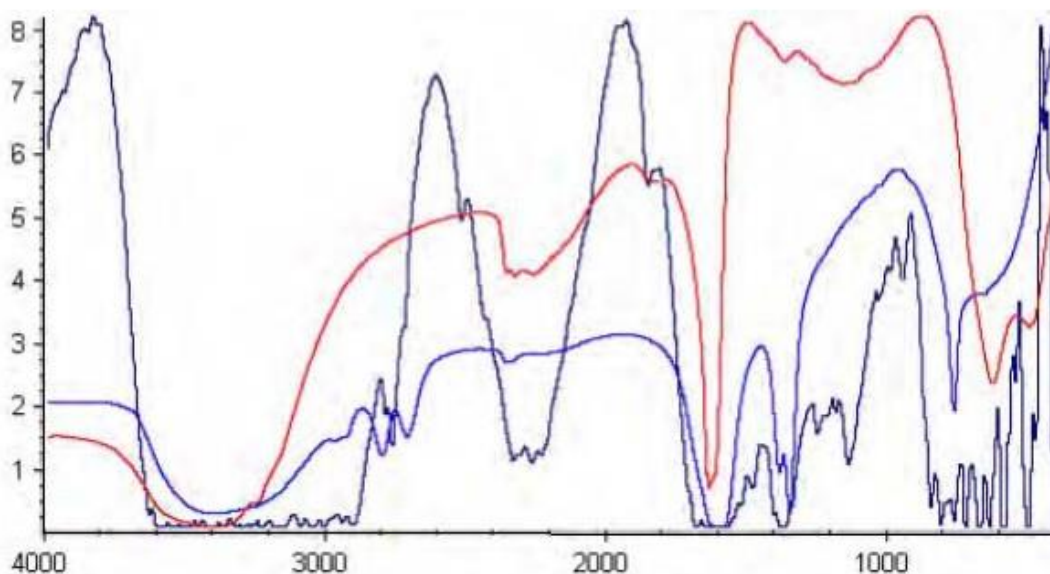


Рисунок 2.20 – ИК -Фурье -спектроскопия исходного материала $MgCl_2$ (красная линия) и KFm (голубая линия) и их комбинированного продукта $MgCl_2 + KFm$ (синяя линия)

На рисунке 2.20 показаны ИК-Фурье-спектры исходных материалов и объединенных продуктов $MgCl_2 + KFm$. В ИК-Фурье-спектре $MgCl_2 + KFm$ присутствуют характерные пики, отсутствующие в исходных растворах.

Выделенные области, показанные на рисунке 2.21, обозначают пики, которые нельзя отнести к исходным решениям. Диапазон волновых чисел от 3600 до 3800 cm^{-1} характерен для алифатических изоцианатов с азот-углерод-кислородными (NCO) функциональными группами. Область волновых чисел от 2500 до 2600 cm^{-1} характерна для алифатических тиолов/меркаптанов с функциональными группами серы и водорода (SH). Области волновых чисел 2000 cm^{-1} и 2800 cm^{-1} характерны для алифатических изотиоцианатов с азот-углерод-серными функциональными группами (N = C = S). В осадке, скорее всего, присутствует формиат магния ($Mg(Fm)_2$), образующийся при реакции $MgCl_2$ с KFm, а также с некоторыми добавками в исходных растворах.

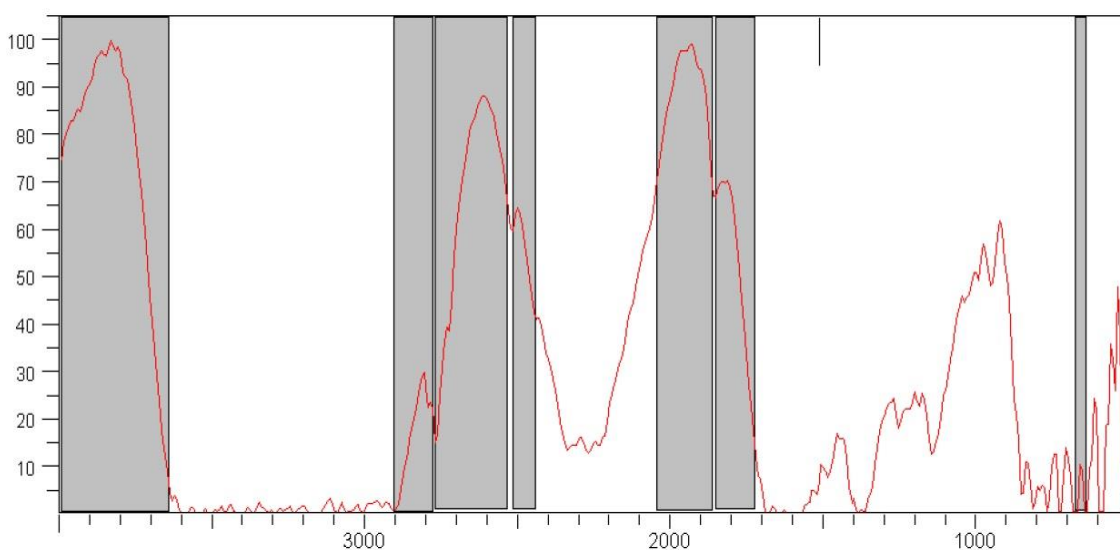


Рисунок 2.21 – ИК -Фурье -спектроскопия исходного материала $MgCl_2 + KFm$. Выделенные области показывают наличие функциональных групп, отсутствующих в исходных растворах

На рисунке 2.22 показаны FTIR-спектры исходных материалов и объединенных продуктов $MgCl_2 + NaAc$. В ИК-Фурье-спектре смеси $MgCl_2 + NaAc$ все присутствующие пики можно отнести к одному или растворам. Поскольку новые химические группы не появились, осадок, скорее всего, представляет собой $Mg(Ac)_2$, образовавшийся в результате реакции $MgCl_2$ с KAc.

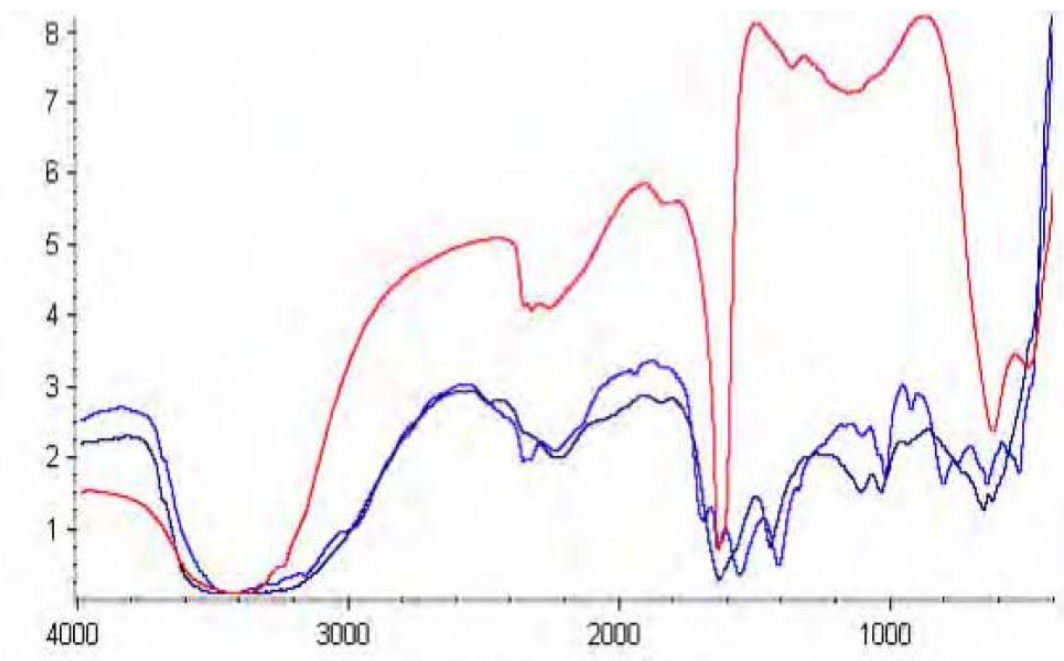


Рисунок 2.22 – ИК -Фурье -спектроскопия исходного материала $MgCl_2$ (красная линия) и $NaAc$ (голубая линия) и их комбинированного продукта $MgCl_2 + NaAc$ (темно-синяя линия)

На рисунке 2.22 показаны ИК-Фурье-спектры исходных материалов и объединенных продуктов $MgCl_2 + NaFm$. В ИК-Фурье-спектре $MgCl_2 + NaFm$ присутствуют характерные пики, отсутствующие в исходных растворах. Выделенные области, показанные на рисунке 44, обозначают пики, которые нельзя отнести к исходным решениям. Интересно отметить, что выделенные области на рисунке 2.22 очень похожи на области на рисунке 2.23. Диапазон волновых чисел от 3600 до 3800 cm^{-1} характерен для алифатических изоцианатов с азот-углерод-кислородными (NCO) функциональными группами. Области волновых чисел от 700 до 800 и от 2500 до 2600 cm^{-1} характерны для алифатических тиолов/меркаптанов с функциональными группами серы и водорода (SH). Диапазон волновых чисел от 600 до 700 cm^{-1} может быть либо алифатическими вторичными аминами с азотсодержащими функциональными группами, либо неорганическими сульфатами с серокислородными (SO) функциональными группами. Осадок, скорее всего, $Mg(Fm)_2$ образуется в результате реакции $MgCl_2$ с KFm , а также при некоторых добавках к исходным растворам.

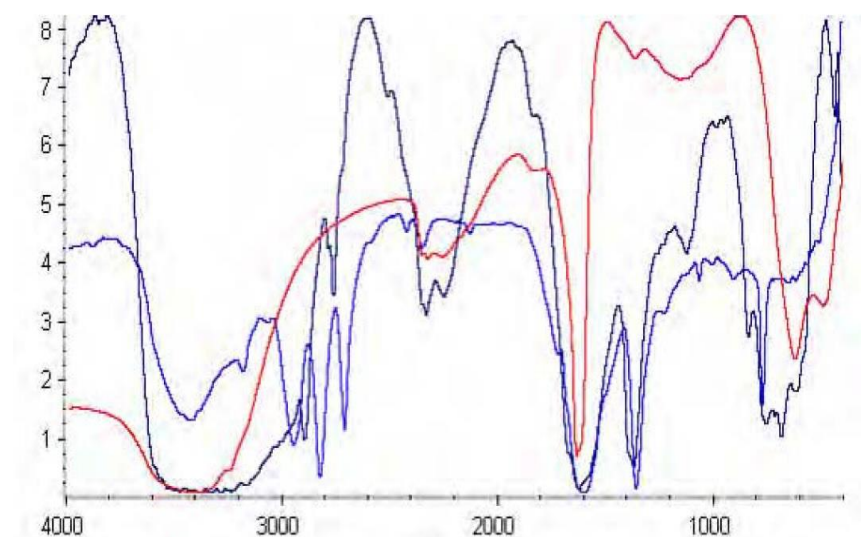


Рисунок 2.23 – ИК -Фурье -спектроскопия исходного материала $MgCl_2$ (красная линия) и $NaFm$ (голубая линия) и их комбинированного продукта $MgCl_2 + NaFm$ (синяя линия)

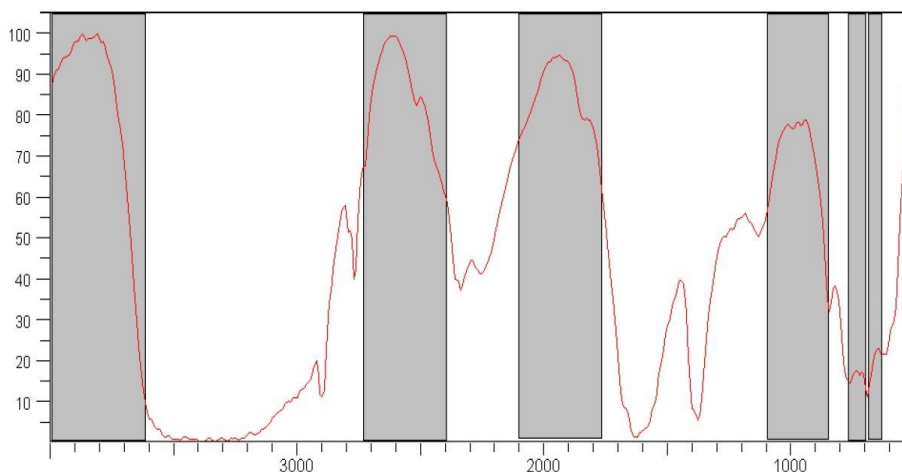


Рисунок 2.24 – ИК -Фурье -спектроскопия исходного материала $MgCl_2 + NaFm$. Выделенные области показывают наличие функциональных групп, отсутствующих в исходных растворах

Текст научной работы на тему «Влияние теплового эффекта при таянии снега и льдообразование с помощью химических реагентов»

Текущая антиобледенительных материалов зависит от температуры и влажности льда или снега. Сам процесс растворения химических реагентов определяется следующими факторами: свойственной химическим реагентам гигроскопичностью (или способностью соли интенсивно поглощать влагу, что влечет за собой разрушение кристаллической структуры льда), сопровождающейся тепловыми явлениями (тепло перенос или поглощение тепла), а также восстановление образовавшегося раствора [17].

Процессы тепловых явлений при растворении химических реагентов во многом определяют скорость и продолжительность их взаимодействия. Тепловой

эффект при растворении различных реагентов существенно отличается друг от друга. При растворении хлорида натрия NaCl реакция эндотермическая (отрицательная), т.е. протекающая с тепловыделением. Этим объясняется тот факт, что начальное действие хлорида натрия на лед несколько медленнее по сравнению с хлоридами кальция и магния CaCl₂, MgCl₂, в которых реакция растворения экзотермическая (положительная), и происходит с выделением большего количества теплоты.

При таянии льда под действием химических реагентов его температура не поднимается выше 0 °С, хотя поступление тепла от раствора не прекращается. Поскольку поступающее тепло не повышает температуру льда, его называют скрытой температурой плавления. Во льду она составляет 0,019 кДж/год. Скрытая теплота плавления, поглощаемая льдом, расходуется на разрушение его атомной решетки [57,с. 104].

Под плавильностью химических реагентов понимается количество льда, расплавленного 1 граммом химического вещества за определенный промежуток времени. Это выражается следующей формулой:

$$P = \frac{V_{л}}{V_{в}} \quad (2.10)$$

где P – способность к плавлению химреагента; V_л – количество растаявшего льда, г; V_в – количество сухого химического вещества, г.

Используя приведенную формулу, зная теплообмен при плавлении химических реагентов (таблица 2.1), можно определить количество растаявшего льда и 1 г химического вещества в зависимости от теплообмена при плавлении [58,с. 17].

Таблица 2.1 - Тепловыделение при растворении противогололедных химреагентов

Химические реактивы		Характер теплового воздействия	Тепловыделение при растворении в стандартных условиях, кДж/г
Имя	Формула		
1. Хлорид натрия	NaCl	Отрицательный	0,0049
2. Хлорид кальция	CaCl ₂	Положительный	0,0387
3. Хлорид магния	MgCl ₂	Положительный	0,0903
4. Дигидрат хлорида кальция	CaCl ₂ · 2H ₂ O	Положительный	0,0161
5. Гексагидрат хлорида кальция	Pro	Отрицательный	0,0050
6. Бишофит	CaCl ₂ · 6H ₂ O	Положительный	0,0040
7. Ацетамид	Pro	Положительный	0,0201
8. Мочевина	MgCl ₂ · 6H ₂ O	Отрицательный	0,0043
9. Ацетат аммония («Антиснег-1»)	Pro	Положительный	0,0232
	CH ₃ CO NH ₂ NH ₂ CO NH ₂ NH ₄ CH ₃ COO		
Примечание – Источник [65,с. 44]			

Получается, что только за счет коэффициента теплопередачи 1 грамм химического вещества с положительным тепловым эффектом может растворить такое количество льда плотностью $\rho=0,9 \text{ т/м}^3$: хлористый кальций 2,04 г, хлористый магний 4,75 грамм и т.д. [65,с. 45]. Однако при отрицательном характере теплового воздействия происходит поглощение тепла, что приводит к замедленному вступлению в реакцию (плавлению) химреагента.

Ледяной корки толщиной 5 мм при 0-2 ° С требуется 100-120 г хлорида магния, и только при в результате фактора тепловыделения при взаимодействии 4500 г льда плавится до 480-570 г (рисунок 2.15) [66,с. 20]. При использовании хлористого кальция в тех же условиях требуется 220-230 г/м² соли, которая за счет коэффициента тепловыделения растопит 440-470 г льда. Применение противогололедного материала «Антиснег-1» на основе ацетата аммония с нормой расхода 150-160 г/м² позволит растопить 170-200 г льда толщиной 5 мм за счет теплового воздействия.

То есть, как мы видим, тепловое воздействие оказывает существенное влияние в процессе использования химических реагентов в борьбе со скользкостью.

Следует отметить, что наиболее интенсивно лед тает в течение первого часа, когда происходит наиболее активное взаимодействие химического вещества со льдом. За этот период выплавляется до 70-80% его полного ресурсного количества. Затем реакция взаимодействия затухает до полной остановки в течение индивидуального времени каждого вида соли. Кроме того, по мере таяния льда под действием химических реагентов увеличивается количество талой воды, вследствие чего снижается концентрация образующегося раствора и, соответственно, плавильная способность [67,с. 57]. Это происходит до тех пор, пока не будет достигнуто динамическое равновесие между количеством льда, которое тает и снова образуется при постоянной температуре.

Выводы по 2 разделу

1. Полностью растапливать снежно-ледяные отложения не нужно, достаточно ослабить сцепление дорожного покрытия со льдом для дальнейшего механизированного сбора.

2. Предложенная математическая модель расчета фазового состава двухкомпонентных систем «вода - химический реагент» позволяет решать следующие задачи на основе графоаналитического метода диаграмм плавления:

– определить норму расхода химреагента на частичное таяние снежно-ледяных образований и снижение сил сцепления между льдом и дорожным покрытием с возможностью его дальнейшей механизированной очистки;

– определять изменение влажности системы при заданной норме расхода реагента с учетом соотношения масс жидкой и твердой фаз, температурно-влажностных характеристик снежно-ледяных веществ;

3. Также допускается теоретически рассчитать расход реагента и определить фазовый состав системы на основе созданной математической модели:

– наиболее точно определить концентрацию соли, необходимую для снижения сил сцепления гололеда с дорожным покрытием, с учетом их температурно-влажностных характеристик;

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

– исключить чрезмерное использование соли и тем самым уменьшить ее агрессивное воздействие на окружающую среду;

– для определения изменения влажности снежно-льдообразования при взаимодействии с химическими реагентами [67,с. 9].

4. Наиболее интенсивно лед тает в течение первого часа, когда происходит наиболее активное взаимодействие химического вещества со льдом. За этот период выплавляется до 70-80% его полного ресурсного количества. Затем реакция взаимодействия затухает вплоть до полной ее остановки. Продолжительность эффективного действия хлоридов зависит от температуры и составляет около 2 ч при температуре воздуха -5°C и влажности снега $W = 15\%$ [70,с. 95].

5. Тепловое воздействие оказывает существенное влияние в процессе использования химических реагентов при борьбе с проскальзыванием. При таянии 1 м^2 ледяной корки толщиной 5 мм при $0 -2^{\circ}\text{C}$ требуется 100-120 г хлористого магния, и только за счет коэффициента тепловыделения при взаимодействии химреагента со снегом -льдообразование, вытапливается до 480-570 г льда из общего веса 4500 г.

3 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРИГОТОВЛЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

3.1 Общие положения проведения экспериментальных испытаний по выбору эксплуатационных материалов

В качестве эксплуатационных материалов в данной главе рассматривается два вида неприродных материалов, а именно:

а) химические реагенты, применяемые для разрушения структуры снежно-ледяного образования, в которых используется в качестве противогололедных материалов;

б) стабилизирующие добавки для укрепления малопрочных материалов в дорожном строительстве.

Ниже рисунок 3.1, 3.2 приведена этапы проведения экспериментальных испытаний по выбору вышеуказанных эксплуатационных материалов для их производства и применение.



Рисунок 3.1 – Этапы проведения лабораторных испытаний антигололедных химических реагентов



Рисунок 3.2 – Схема исследования ПГМ

3.2 Методика подбора и приготовления противогололедного раствора и результаты лабораторного испытания

Подготовительные работы. Подготовительные работы проводятся в двух этапах. На *первом этапе* обосновывается потребность данного материала, т.е. выбор эксплуатационных материалов осуществляется по сертификационным данным (рисунок 3.3). На *втором этапе* вышеуказанные характеристики уточняются результатами экспериментальных испытаний, проведенные в лабораторных и полевых условиях.

Концентрация жидких противогололедных солей определялась в лаборатории КазАДИ им. Л.Б. Гончарова. При этом, в качестве противогололедных материалов были использованы традиционные химические реагенты, как 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) (рисунок 3.3). Перед выбором противогололедные реагенты, в соответствии с ПР РК 218-64-2007, проходили сертификационный контроль в специализированных лабораториях [55, с. 287].

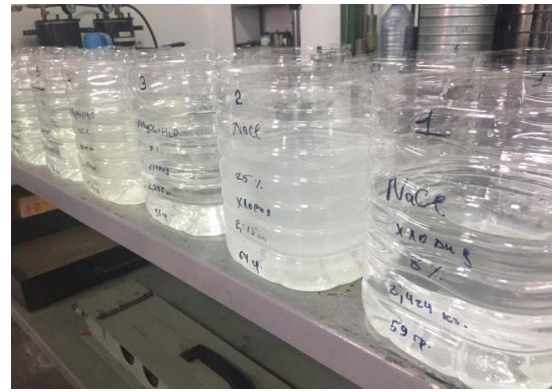


Рисунок 3.3 – Испытанные антигололедные реагенты, приборы и оборудование

Экспериментальные испытания.

Используемые приборы и оборудование (0,5-0,8 л.с.).

Взвешивание материалов производилось на высокоточных электронных весах, точность которых составляет $\pm 0,1$ кг (рисунок 3.2, а). После дозирования и взвешивания испытуемый реагент замачивают в воде (рисунок 3.3, а), затем измеряют плотность раствора ареометром по ГОСТ 1300-57 (рисунок 3.3, б).

Из таблице 3.1 видно, что наиболее активным по концентрации раствором является 6-водный раствор хлорида кальция [35,с. 198].



а)



б)

Рисунок 3.4 – Дозировка реагента (а) и взвешивание вода (б) для раствора

Примечание – Источник [66,с. 20]



а)



б)

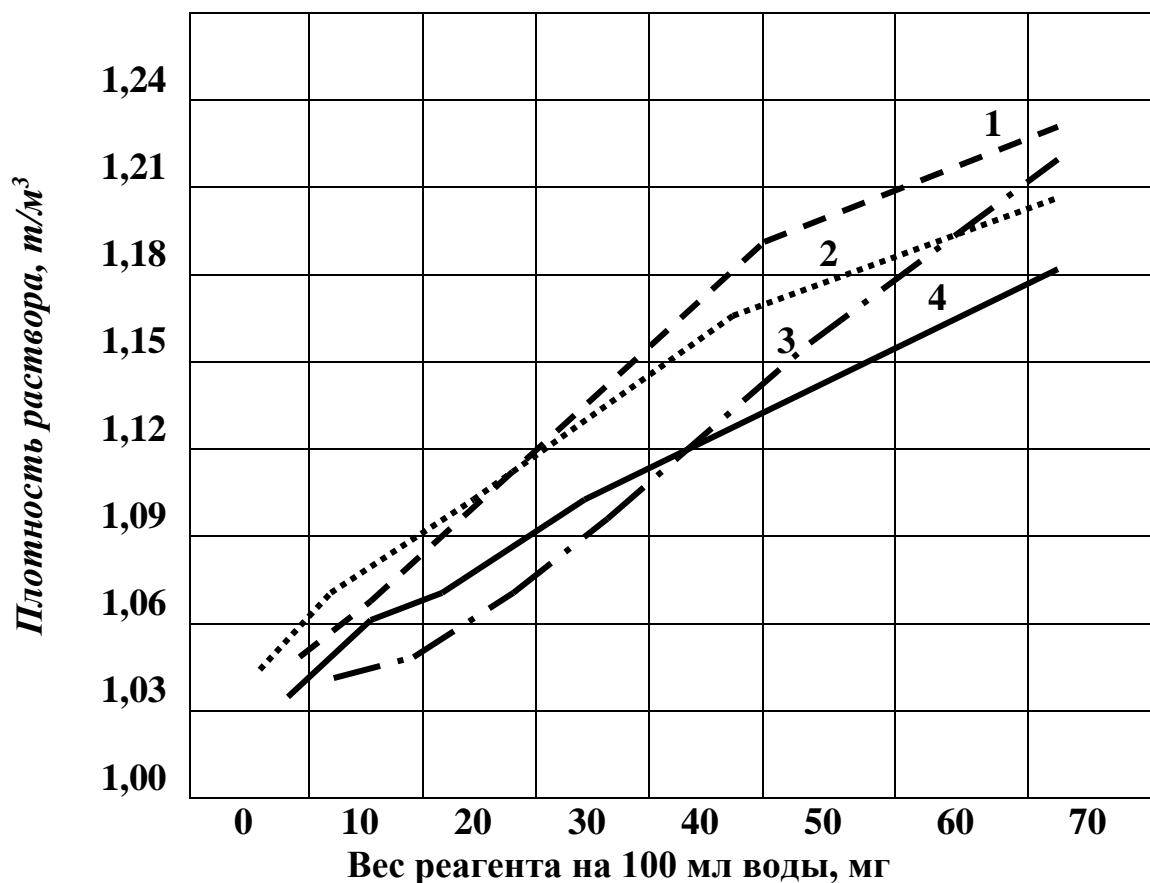
Рисунок 3.5 – Смешивание раствора (а) и измерение его плотность (б) с помощью ареометра

Из таблицы 3.1 приведены результаты лабораторного испытания, в которых наиболее активным раствором по степени концентрации является б-материала при достижении 1 %-ой концентрации составляет 1,91 кг на 100 л воды, а показатель относительного расхода 1 %-ой концентрации хлористого магния составляет 2,0 кг, б-ти водного хлористого кальция 0,78 кг и хлористого натрия 2,02 кг на 100 л воды [66,с. 9].

Таблица 3.1 – Результаты лабораторного испытания химических реагентов при определении концентрации растворов

Замеряемые параметры		Вид реагента											
		Хлористый кальций б-водный			Хлористый натрий			Хлористый магний б-водный			Мочевина		
		вес материала	плотность, т/м ³	концентрация раствора, %	вес материала	ρ, т/м ³	концентрация раствора, %	вес материала	ρ, т/м ³	концентрация раствора, %	вес материала	ρ, т/м ³	концентрация раствора, %
Чистый вес посуды, г		201,42	-	-	201,42	-	-	201,42	-	-	201,42	-	-
Объем чистой воды, мл		741,11	1,0	0	699,56	1,0	0	692,28	1,0	1,0	715,51	1,00	0
Вес реагента, г/100 мл воды	m ₁	4,79	1,039	8,3	5,23	1,035	5,5	8,80	1,028	5,61	11,96	1,03	6,25
	m ₂	7,15	1,062	9,1	9,62	1,060	8,7	14,95	1,049	7,48	17,30	1,04	7,60
	m ₃	9,48	1,086	12,9	12,22	1,091	12,5	20,57	1,064	10,20	25,72	1,056	10,90
	m ₄	12,70	1,113	13,9	14,98	1,116	15,2	32,01	1,091	11,89	35,31	1,083	12,50

На рисунке 3.6 приведена плотность раствора из различных противогололедных реагентов. Как показывают кривые на рисунке, что их плотность существенно отличаются друг от друга. Например, плотность раствора 6-водного хлористого магния (бишофита) по сравнению с 6-водным хлористым кальцием на $0,04 \text{ т/м}^3$, а хлористого натрия на $0,8 \text{ т/м}^3$, технического карбамида на $0,03 \text{ т/м}^3$. Таким образом, разность плотности растворов показывают их действия при расплавлении снежно-ледяных образований.



1 – хлористый кальций 6-водный; 2 – хлористый магний 6-водный;
3 – технический карбамид; 4 – хлористый натрий

Рисунок 3.6 – Плотность раствора различных противогололедных реагентов

3.3 Определение силы смерзания снежно-ледяного образования в лабораторных условиях

При выполнении данного экспериментального испытания был использован прибор (заявка на патент №2005/12861), определяющий силы смерзания снежно-ледяного образования. Данный прибор имитирует работу отвала снегоуборочной машины, который при снегоочистке сдвигает горизонтально снежно-ледяное образование над поверхностью покрытия.

Выполнение данного испытания состоит из 3-х этапов: подготовка прибора и оборудования (рамки для образования снежно-ледяного образования) к проведению испытания; дозировка и взвешивание противогололедных

реагентов; подготовка вырубков (или кернов) цементобетона к образованию на них снежно-ледяных образований.

Цель данного экспериментального исследования заключается в установлении следующих закономерных зависимостей:

– установление корреляционной зависимости между плотностями распределения раствора хлористого натрия на снижение силы смерзания снежно-ледяного образования во времени;

– установление той же зависимости с использованием различных жидких химических реагентов (NaCl, CaCl₂, MgCl₂·6H₂O и (NH₂)₂CO).

Экспериментальные испытания проводились в лабораторных условиях под открытым небом. При этом на поверхности заранее подготовленных цементобетонных образцах установили сборные рамки (4,5x 4,5 см) и в них заполнялся рыхлый снег с различным содержанием влаги, затем снег в рамках предварительно уплотнялся вручную с помощью трамбующего устройства. Толщина такого искусственного снежно-ледяного наката была принята 0,8 - 1,0 см. На поверхность этого образования аварийным методом подсыпался химический реагент по установленной норме. Для установления корреляционной зависимости между силой смерзания снежно-ледяного наката над поверхностью дорожного покрытия при определенной плотности распределения химического раствора и продолжительностью его времени действия, испытание на сдвиг было проведено с интервалом 20 минут. При этом, также для определения точности испытания, с одинаковыми физико-механическими свойствами снежно-ледяного наката и плотностью распределения химических растворов, образцы подготавливались от 4 до 12 экземпляров. Результаты испытания заполнялись в полевом (лабораторном) журнале (таблица 3.2) [56,с. 208].

Таблица 3.2 – Результаты испытания снежно-ледяных образований на сдвиг при обработке их жидкими реагентами

Показатели	Изменение показателя сдвигающей усилие (τ) с течением времени (мин), МПа								
	0**	20**	40*	60*	80	100	120	140	160
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
30 мл/м ²	11,21	10,49	9,73	8,67	8,10	8,31	8,44	8,51	8,40
	10,96	10,03	9,52	9,01	8,06	8,01	8,30	8,40	8,64
	13,18	12,01	10,08	8,81	8,48	8,01	8,52	8,41	8,47
	12,05	10,24	9,71	9,54	8,17	8,13	8,18	8,32	8,29
τ_{cp}	11,85	10,94	9,76	9,01	8,20	8,115	8,36	8,41	8,45
σ^2_{cp}	0,870	0,701	0,224	0,253	0,165	0,100	0,130	0,085	0,127
C_v	0,073	0,064	0,023	0,023	0,020	0,012	0,016	0,010	0,015
90 мл/м ²	11,44	9,78	8,10	6,61	5,68	5,14	4,68	4,19	3,83
	13,16	10,21	8,21	6,71	5,58	5,05	4,55	4,40	3,84
	12,48	10,01	8,21	6,43	5,49	5,09	4,61	4,25	4,00
	10,65	9,67	8,08	6,57	5,64	5,11	4,61	4,35	4,03
τ_{cp}	11,93	9,917	8,15	6,58	5,598	5,10	4,61	4,30	3,925
σ^2_{cp}	0,963	0,209	0,061	0,100	0,032	0,084	0,077	0,082	0,091

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C_v	0,081	0,021	0,008	0,015	0,006	0,016	0,017	0,019	0,023
150 мл/м ²	14, 20	7,12	5,94	4,33	2,58	1,74	0,60		
	14,01	7,49	6,12	4,21	2,50	1,63	0,58		
	12,93	6,90	5,87	4,30	2,51	1,64	0,58		
	10,85	7,01	5,89	4,38	2,63	1,68	0,62		
τ_{cp}	12,997	7,13	5,96	4,31	2,56	1,67	0,595		
σ^2_{cp}	1,331	0,222	0,099	0,041	0,109	0,042	0,017		
C_v	0,102	0,031	0,017	0,009	0,043	0,025	0,029		
210 мл/м ²	10,08	6,13	4,21	2,57	0,89				
	11,25	6,33	4,01	2,45	0,81				
	14,06	6,05	3,96	2,41	0,79				
	13,21	5,92	4,25	2,52	0,79				
τ_{cp}	12,15	6,35	4,11	2,49	0,82				
σ^2_{cp}	1,571	0,350	0,142	0,062	0,041				
C_v	0,129	0,055	0,035	0,025	0,050				
270 мл/м ²	12,29	6,03	2,71	0,55					
	15,24	6,21	2,69	0,61					
	10,23	6,45	2,80	0,61					
	13,21	6,00	2,85	0,62					
τ_{cp}	12,74	6,17	2,76	0,60					
σ^2_{cp}	1,801	0,179	0,066	0,028					
C_v	0,141	0,029	0,024	0,047					
Примечание - Источник [57,с. 104]									
** при сдвиге обрыв снежно-ледяного образования происходит не всегда в местах касания с поверхностью цементобетонного образца;									
* обрыв образца в местах касания с поверхностью цементобетонного образца произошло частично									

Во время лабораторного испытания были использованы в основном традиционные хлористые соли в виде жидкого раствора. При этом плотность распределения этих материалов принималась в различных диапазонах, начиная с 30-90 мл/м², соответствующему к профилактическому методу распределения, до 150-270 мл/м², т.е. при аварийной норме распределения. Плотность снежно-ледяного образования (ρ_c) во всех испытаниях не менялась и она колебалась в пределах $\rho_c=0,60-0,75$ т/м³, а температура воздуха в момент проведения эксперимента была от -6 до -8 °С. При проведении эксперимента концентрация растворов для хлористого натрия была принята $C=16,7$ %, для хлористого кальция – $C=11,9$ %, а для мочевины – $C=12,3$ %.

Лабораторные испытания по выбору комбинированных противогололедных реагентов на цементобетонных образцах. Комбинированные реагенты состоит из нескольких химических материалов. Их оптимальный состав определяется только при лабораторных испытаниях [8,с. 100].

1. *Обоснование проведения полевых испытаний.* Заключительным этапом ликвидации скользкости процессе является снижение сил сцепления между снежно-ледяным образованием и дорожным покрытием.

Для проведения эксперимента был применен портативный прибор, на одном конце которого при образец. На другом конце поперечно врезан болт с рукояткой, на которую накручивается закрепленный металлический трос. Посередине имеется столик для поддержки измерительно-фиксирующего устройства [89,с. 29]. Небольшой вес, простая конструкция позволяет провести опыты при произвольных метеорологических данных в полевых условиях, а также в лаборатории.

2. *Используемые материалы:* высверленные керноотборником образцы крупнозернистого цементобетона, металлические съемные формочки для снежно-ледяного образования – 6 шт. (рисунок 3.7), противогололедные химические реагенты в пластиковых емкостях (рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 – Цементобетонные образцы и крепления для замораживания льда над поверхность цементобетонного образца (сделать новое фото)

3. *Используемые приборы:* разработанный портативный прибор измерения усилия сдвига, динамометр (рисунок 3.8), металлическая линейка.

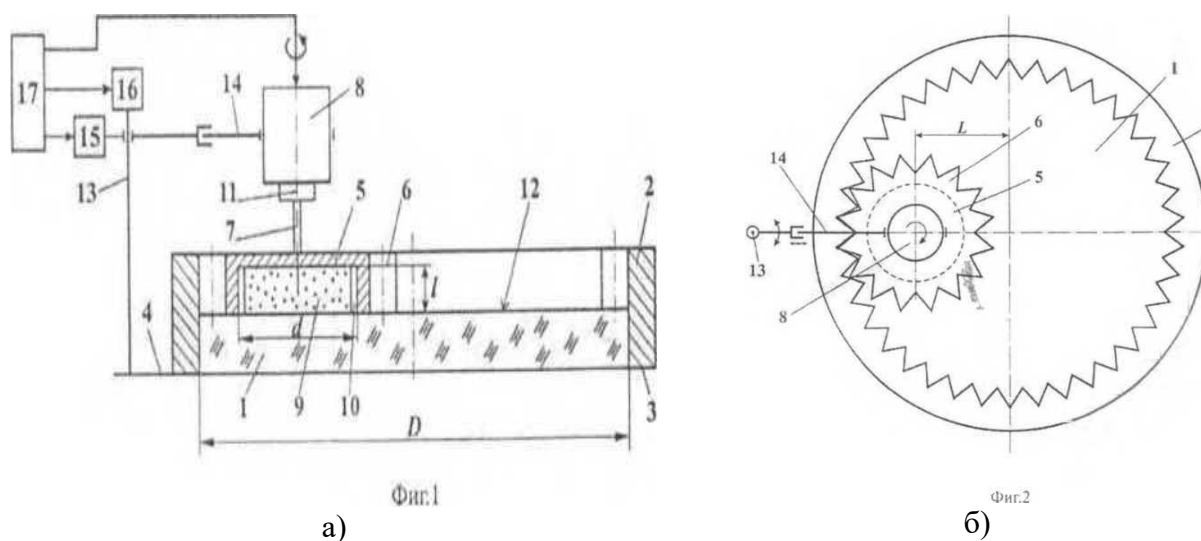


Рисунок 3.8 – Прибор для измерения сил сцепления (а) схематичное изображение прибора (б) вид сверху прибора

Изобретение относится к измерительной технике и может применяться для фиксации момента отрыва и измерения сил сцепления между снежно-ледяным образованием и дорожным покрытием.

Технический результат от использования предлагаемого изобретения заключается в создании компактного multifunctional прибора с улучшенными метрологически-функциональными характеристиками.

Приспособление для закрепления дорожного образца выполнено в виде цилиндрического зубчатого колеса с внутренними прямыми зубьями, приспособления для размещения снежно-ледяного образования выполнено в виде прямозубчатого зубчатого колеса с наружными зубьями, связанного торцевой частью с приводным валом электродвигателя, в зубчатом колесе с наружными зубьями изготовлен внешний, осесимметрично с его осью вращения совмещённый цилиндрический карман для размещения в нём снежно-ледяного образования, зубчатые колёса выполнены с идентичными параметрами, в том числе, одного модуля и взаимодействуют друг с другом с возможностью планетарного перемещения малого зубчатого колеса внутри внешнего, при этом внутренняя поверхность кармана малого зубчатого колеса выполнена с треугольными рифлеными рёбрами, а в качестве измерительного устройства использован дополнительно введённый в состав прибора и встроенный в приводной вал электродвигателя датчик крутящего момента.



Рисунок 3.9 – Результат исследовательской работы патент на изобретение прибора

4. Порядок проведения контрольных работ. Перед проведением измерений в течение заданного времени к образцу цементобетона прижимают слой снегалда, чтобы он затвердел. Для этого на него устанавливается номерная металлическая съемная форма, на которую прессуется мокрый снег. После выдержки элементы формы легко снимаются отвинчиванием болтов, а на цементном бетоне остается намерзший снежно-ледяной слой. Затем устройство для измерения снега и льда регистрирует силы тяги.

При температуре $t = -3...-2^{\circ}\text{C}$ был проведен эксперимент по формированию «чистого» снега и льда без применения химических реагентов, где сцепление составило в среднем 45-50 кг на нормальную площадь образец, или 0,113-0,125 МПа (11,3-12,5 тс/м²).

Аналогичные опыты проводились для профилактического метода борьбы со скользкостью с применением химических реагентов (таблица 3.2). Для этого на электронных весах взвешивалась порция соли с плотностью распределения 100 г/м², и рассыпалась на поверхности образца цементобетона до уплотнения снега. Выдержка составляла сначала 1 час (согласно результатам, относительная влажность, а также активность смерзания, характерная для каждого вида соли. Аналогичным образом выдержанный образец крепился к установке, и определялось усилие сдвига в момент отрыва (таблица 3.3) [76,с. 199].

Таблица 3.3 – Показатели силы сцепления снежно-ледяного образования под действием различных противогололедных реагентов

Название реагентов	Химическая формула	Температура, град	Плотность распределения, г/м ²	Интервал времени до смерзания, час, мин.	Среднее значение сил сцепления, Мпа
Хлористый натрий	NaCl	-7 °С	50	55 мин	0,0114
			100	55 мин	0,0037
Хлористый магний 6-водный	MgCl ₂ ·6H ₂ O	-7 °С	50	1ч 30 мин	0,0002
			100	до 10 час	0,0009
Хлористый кальций 6-водн	CaCl ₂ ·6H ₂ O	-7 °С	50	1ч 30 мин	0,0013
			100	до 8 час	0,0016
Хлористый кальций	CaCl ₂	-7 °С	50	1 ч	0,0134
			100	1 ч	0,0049
Хлористый магний	MgCl ₂	-7 °С	50	45 мин	0,0170
			100	45 мин	0,0033
Технический карбамид (мочевина)	(NH ₂) ₂ CO KCl,	-7 °С	50	50 мин	0,0065
			100	1 ч 10 мин	0,0013
Хлористый калий	KCl,	-7 °С	50	40 мин	0,0013
			100	до 45 мин	0,0042

5. *Обработка и анализ выходных данных.* По мере воздействия солей на лед ослабляются силы смерзания (τ) между его кристаллами и ледяная корка размягчается.

Состояние сыпучего тела и, следовательно, свежевывавшего снега, характеризуется следующим уравнением:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (3.1)$$

где τ – касательное напряжение (сил смерзания), МПа; σ – нормальное напряжение сжатия, действующее в направлении, перпендикулярном к направлению сдвига, МПа; $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент внутреннего трения; c – сцепление материала, МПа.

Материалы многочисленных исследований показали, что в состав 3-компонентной смеси должны входить (таблица 3.4): бишофит (MgCl₂·6H₂O), мочевина (карбамид– (NH₂)₂CO), техническая соль (NaCl). В состав 2-компонентной смеси бишофит (MgCl₂·6H₂O) и мочевина (карбамид– (NH₂)₂CO). Целью проводимого опыта является действия смеси ниже –20 °С.

При подборе оптимального состава смеси использовался градиентный метод оптимизации нелинейных функций с постоянным шагом.

Преимущество этого метода заключается в том, что число экспериментальных работ проводится по сдвигу образцов с содержанием указанных видов реагентов только при двух значениях расхода материалов: нижний предел 15 г/м², верхний предел – 35 г/м². В смеси. Знак «-» говорит о

том, что в случае 3-компонентной смеси применялось 15 г/м² химического реагента, знак «+» – 35 г/м². В случае 2-компонентной г/м² [55,с. 287].

Таблица 3.4 – Композиция химической смеси из трех компонентов «бишофит-мочевина-техническая соль»

Номер опыта	X ₁	X ₂	X ₃	Усилие сдвига, МПа	Сила сцепления σ _{сц} , МПа
1	-	-	-	3711	7,71
2	-	+	+		4,03
3	+	-	+		4,79
4	+	+	-	1338	5,21
5	-	-	+	1042	6,83
6	+	-	-	1424	6,18
7	-	+	-	371	6,7
8	+	+	+	0246	3,06

При подборе оптимального состава смеси использовался градиентный метод оптимизации нелинейных функций с постоянным шагом.

Преимущество этого метода заключается в том, что число экспериментальных работ проводится по сдвигу образцов с содержанием указанных видов реагентов только при двух значениях расхода материалов: нижний предел 15 г/м², верхний предел – 35 г/м². В смеси. Знак «-» говорит о том, что в случае 3-компонентной смеси применялось 15 г/м² химического реагента, знак «+» – 35 г/м². В случае 2-компонентной г/м².

Данные пределы расхода реагентов обусловлены имеющейся практикой внесения реагентов в снег (15, 25, 35, 50 г/м²).

При использовании 3-компонентной противогололедной смеси «Бишофит-Мочевина-Техническая соль» (таблица 3.4) наименьшая сила смерзания (τ_{мин}=3,06 МПа) наблюдается при использовании состава смеси №7 с общим расходом 65 г/м². При использовании состава смеси № 8 сила смерзания понижается до 0, однако, наблюдается значительный перерасход материала (до 40 %). Наибольшая сила смерзания возникает при использовании смеси № 1, где расход химического реагента составляет около 100 г/м², и τ достигает 3,24 МПа, что в 10 раз больше чем у состава смеси №7 [63,с. 15].

3.4 Анализ экспериментальных данных и сопоставление их с возможностями средств механизации

Мощность снегоочистительной машины на базе ЗИЛ-130 равна 150 л.с., максимальная рабочая скорость 60 км/ч, общий вес снегоочистителя 5800 кг. Рабочая скорость 20 км/ч или 8,333 м/сек. [18,с. 72].

$$N = \frac{T_{сн} \cdot v_{пл}}{270 \cdot \eta_{пер}} \quad (3.2)$$

где $T_{сн}$ - тяговое усилие снегоочистителя для уборки снега, кг; $\eta_{пер}$ – КПД приводного механизма станка, $\eta_{пер}=0,92$; $v_{пл}$ - скорость плуга, км/ч, $V_{пл}=20$ км/ч [18, с. 72].

$$T_{сн} = \frac{270N \cdot \eta_{пер}}{v_{пл}} = 270 \cdot 150 \cdot 0,92 / 20 = 1863 \text{ кг/м}^2 = 0,1863 \text{ кг/см}^2 = 0,0186 \text{ МПа}$$

Полное тяговое усилие, необходимое для передвижения плужного очистителя составляет для скоростного очистителя

$$T_{сн.ск} \approx (f_0 + i)G_M + (f + i)G_{пл} + 77 \frac{\rho F}{g} v_{пл}^2 (1 + \cos \alpha \cos \beta) \quad (3.3)$$

где f_0 – коэффициент сопротивления передвижению базовой машины (или коэффициент сопротивления качению колеса), $f_0=0,08-0,10$ при плотности снежно-ледяного образования $\rho=0,55$ г/см³; $G_{пл}$ – вес плуга, кг $G_{пл}=1300$ кг G_M - вес базовой машины, $G_M=4500$ кг; f – коэффициент трения плуга о покрытие, (при лыжной опоре $f=f_1=\text{tg } \varphi_1$), $f=0,030$; i – подъем местности, $i=0^\circ$ ρ – плотность убираемого снежно-ледяного образования, кг/м³, $\rho=0,55$ г/см³; g – ускорение свободного падения, м/сек²; F – площадь сечения стружки, вырезаемой плугом, м²; $v_{пл}$ – транспортная скорость плуга, $v_{пл}=30$ км/ч; α – угол наклона снежной стружки, вырезаемой плугом, $\alpha=30^\circ$; β – угол наклона между плугом и направлением движения снегоочистителя, $\beta=60^\circ$; где f_0 – коэффициент сопротивления передвижению базовой машины, $f_0=0,030$ [19, с. 45].

Площадь сечения стружки определяется по формуле:

$$F = \frac{h_1 + h_2}{2} l_{пл} = \frac{0,70 + 1,84}{2} 3,70 = 4,70 \text{ м}^2$$

Тогда тяговое усилие, необходимое для передвижения самого плужного очистителя:

$$T_{сн.ск} \approx (0,2 + 0,01) \cdot 4500 + (0,110 + 0,01) \cdot 1300 + 77 \frac{0,200 \cdot 4,699}{9,81} \cdot 20^2 (1 + \cos 30 \cdot \cos 60) =$$

$$= 5329 \text{ кг/м}^2 = 0,5329 \text{ кг/см}^2$$

Силы сцепления, полученные в результате эксперимента, приведены в таблице 3.4 и 3.5. В период сравнения механических свойств механизации с предельным режимом необходимо учитывать возможности определенной чистоты снега. Например, при уборке машиной мощностью 150 л.с. ЗИЛ-130 мощность резания составляет 0,0186 МПа при рабочей скорости 20 км/ч.

Для уборки снежно-ледяного образования плотностью 550 кг/м³ без применения противогололедных сетей необходимое тяговое усилие для уборки составляет 0,0533 МПа. По результатам эксперимента применение химических реагентов с расходом более 50 г/м² эффективно снижает адгезию снежно-

ледяного слоя к поверхности покрытия, а также позволяет очистить покрытие механическим способом [25,с. 287].

3.5 Результаты экспериментальных исследований цементобетона на солеустойчивость в лабораторных условиях

Практически во всех европейских странах мира по борьбе со скользкостью на автомобильных и городских дорогах в основном используются химические реагенты, т.к. их климатические условия благополучны для этого. Химические методы на автодорогах Средней Азии и Казахстана не всегда приемлемы из-за резкоконтинентальности климата. Например, средний перепад суточной температуры воздуха в самом холодном месяце года в Центральном Казахстане составляет 13-17 °С, в Восточных – 11-16 °С, в Северных – 11-14 °С, а в Южных – 15-19 °С. Годовое количество осадков соответственно – 260-300, 340-370, 300-340 и около 150 мм [1,с. 238], применение передового опыта развитых стран мира в условиях IV-V дорожно-климатических зонах не всегда практичны из-за следующих технологических соображений: во-первых, отсутствие городской коммуникаций для распределения жидких противогололедных реагентов; во-вторых, из-за большого перепада суточной температуры воздуха противогололедные растворы замерзают в трубопроводах противогололедной системы.

Применение 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. В связи с этим, учеными КазАДИ совместно со специалистами Алматинского ОФ РГП «Казахавтодор» запатентовали конструкцию мини-завода по приготовлению и хранению жидких противогололедных реагентов (а.с. №79927 от 18.02.2012 г.) [9,с. 480].

Предлагаемая конструкция предусматривает сокращение объемов применения песко-соляной смеси и химических реагентов в твердом виде. При этом полностью предотвращаются образования ледяной корки или снежного наката на поверхности покрытия. В связи с этим возрастают требования к технологии приготовления, хранения и применению жидких противогололедных реагентов с учетом климатических особенностей. При приготовлении раствора ПГР появляется возможность использовать ингибиторы коррозии.

С сентября 2015 года нами, под руководством профессора Киялбаева А.К. [9,с. 480] в рамках докторской диссертации исследуется технология приготовления и хранения жидких противогололедных реагентов, применительно для дорожно-климатических зон с резкоконтинентальным климатом. В лаборатории КазАДИ определена оптимальная концентрация химических солей (рисунок 3.10) с учетом температуры воздуха и потери прочности цементобетонных образцов в солевых растворах (рисунок 3.10).

Материалами исследования является широко применяемого в эксплуатационных службах Казахстана, хлористые соли.



а – выдерживание образцов цементобетона в солевом растворе; б – испытания образцов цементобетона после выдержки в солевом растворе на прессе

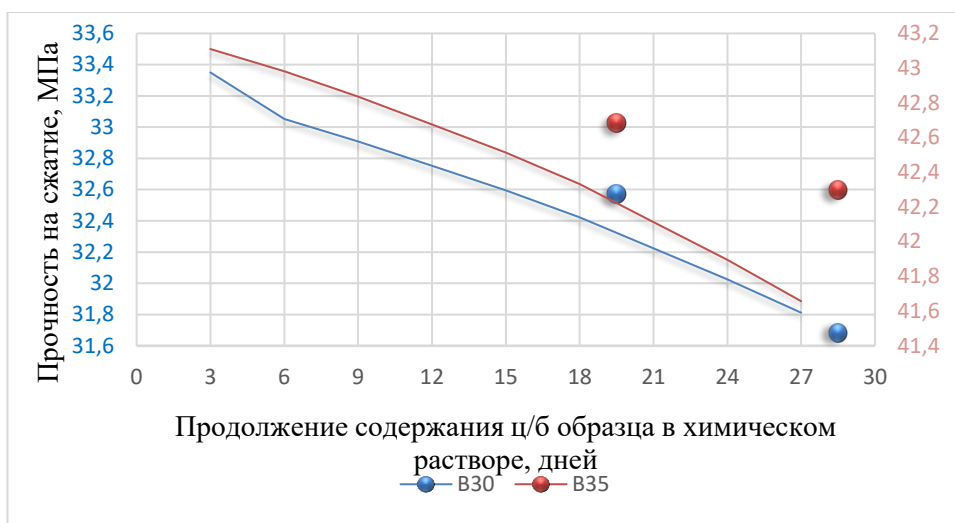
Рисунок 3.10 – Испытание цементобетона в растворах противогололедных реагентов

Для проведения экспериментальных исследований использовались следующие приборы и оборудования: комплекс ареометров для определения плотности раствора, высокоточные электронные весы, морозильная камера, гидравлический пресс для испытания образца цементобетона на прочность после выдержки образцов в химических растворах.

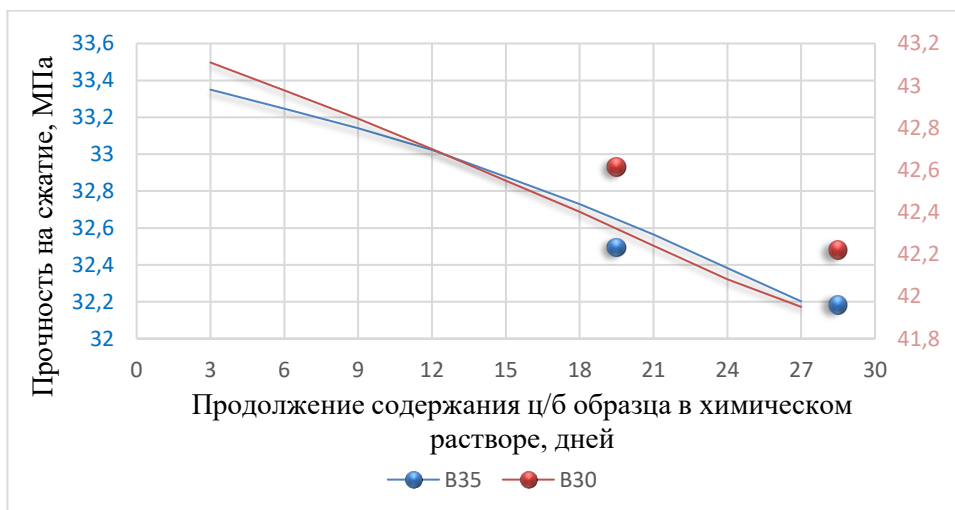
Как видно на рисунке 3.11, при максимальном месячном выдерживании в 25 %- концентрации ацетата аммония потеря прочности бетона марки В30 составляет 4,46 % (рисунок 3.11 а), а марки В35 составляет 3,37 %, раствор технического карбамида потеря прочности бетона марки В30 составляет 2,01 %, а марки В35 составляет 1,42 % (рисунок 3.11 б), раствор хлористого натрия потеря прочности бетона марки В30 составляет 3,44 %, а марки В35 составляет 2,69 % (рисунок 3.11 в), раствор 6-ти водного хлористого магния потеря прочности бетона марки В30 составляет 3,06 %, а марки В35 составляет 2,14 % (рисунок 3.11 г).

Результаты анализа испытания. Таким образом, 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/м² хлориды в 10-15 раз, а при $q_n = 100$ г/м² в 20-30 раз. При использовании 3-компонентной противогололедной смеси «Бишофит-Мочевина-Техническая соль» получаем наименьшее усилие сдвига. Жидкие противогололедные химические вещества (рассолы) в свою очередь подразделяются на: слабые – 50-150, крепкие – 150-320, весьма крепкие – 320-500 и предельно насыщенные более 500 г/л.

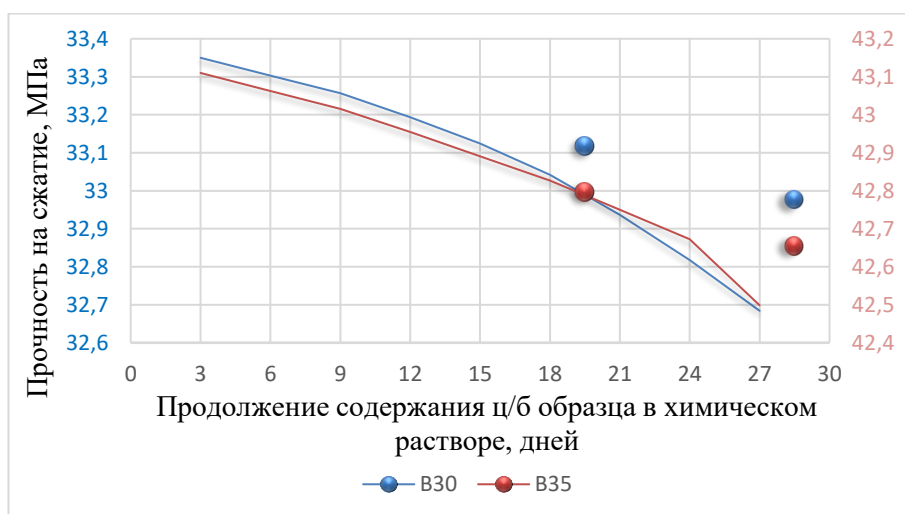
Результаты испытаний показали, что с увеличением прочности бетона их устойчивость с воздействиями химических растворов увеличивается.



а)

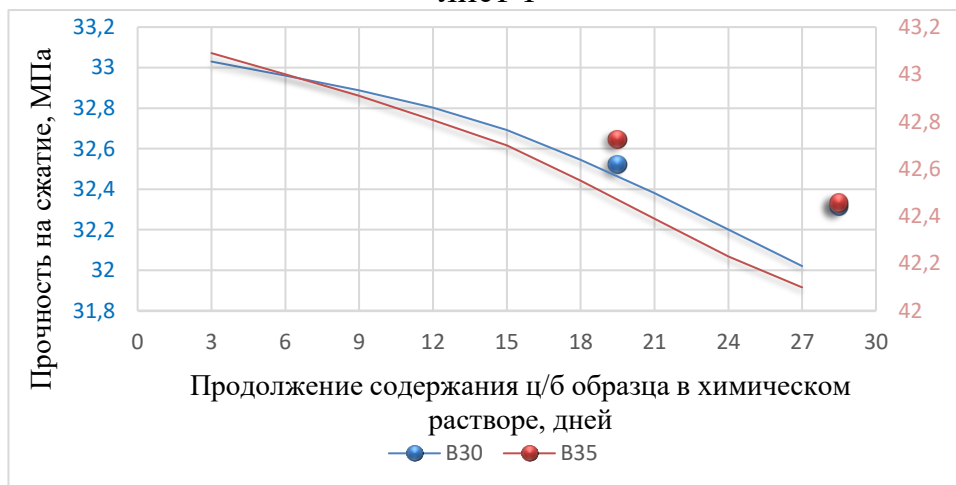


б)



в)

Рисунок 3.11 – Потеря прочности цементобетонных образцов в противогололедных химических растворах (кривые соответствуют шкалам согласно цветовой гамме), лист 1



г)

Рисунок 3.11, лист 2

Например, при максимальной месячной выдержке в 25 %-й концентрации раствора технического карбамида потеря прочности бетона марки В30 составляет 2,01 %, а марки В35 составляет 1,42 %, для концентрации аммоний-уксусного раствора потеря прочности бетона марки В30 составляет 4,46 %, а марки В35 составляет 3,37 %, для концентрации раствора хлористого натрия потеря прочности бетона марки В30 составляет 3,44 %, а марки В35 составляет 2,69 %, для концентрации раствора б-ти водного хлористого магния потеря прочности бетона марки В30 составляет 3,06 %, а марки В35 составляет 2,14 %.

Выводы по 3 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 $q_n = 50 \text{ г/м}^2$ хлориды в 10-15 раз, а при $q_n = 100 \text{ г/м}^2$ в 20-30 раз. При использовании 3-компонентной противогололедной смеси «Бишофит-Мочевина-Техническая соль» наименьшее усилие сдвига ($371,2 \text{ кг/м}^2$) наблюдается при составе смеси №7 с общим расходом 65 г/м^2 . Наименьшее значение сил сцепления ($52,0$) 2-компонентной смеси «Бишофит-Мочевина» имеет состав смеси №3 с общим расходом 75 г/м^2 .

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°C . При температуре ниже $t=-10^{\circ}\text{C}$ 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 ($\text{MgCl}_2, \text{CaCl}_2$) необходимо выполнить полную очистку проезжей части от снега в течение 1 часа.

3. Продолжительность эффективного действия химических реагентов зависит от влажности снежно-ледяного образования. При плотности распределения 50 г/м^2 эффективная продолжительность воздействия хлоридов составила 1-1,5 часа. При расходе 100 г/м^2 эффективная продолжительность действия солей, таких как хлориды магния и кальция, составляла около 10 часов. Продолжительность взаимодействия следующих солей: мочевины, ацетатов аммония и магния, хлорида магния (бисофита) может составлять сутки и более .

4. При россыпи бишофита ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), мочевины, ацетата магния наблюдается активное вступление в реакцию (кипящий эффект). Более слабо (медленно) реагирует сульфат натрия ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).

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.

7. 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.

8. 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.

9. По результатам испытания на сдвиг установлена зависимость между продолжительностью действия химических растворов от их концентрации с учетом плотности снежно-ледяного образца и температуры воздуха [63, с. 156].

4 ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО ЛИКВИДАЦИИ СКОЛЬЗКОСТИ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

4.1 Практические рекомендации по выбору и приготовлении проведения работ при борьбе со скользкостью с использованием химических реагентов

Основными требованиями к устранению скользкости химическим методом являются соблюдение точности дозировки химических реагентов, а также выдерживание выполнения технологических процессов, режим сбора снежно-ледяной массы с дороги: экспозиция, интервал и очистка покрытия от снега. Как показано на рисунке 4.1, при устранении зимней пробуксовки химическими методами различают два способа их применения: профилактический и аварийный. Технология работ по предотвращению образования скользкости предполагает распределение хлоридов непосредственно во время снегопада, до того, как выпавший снег еще уплотнится в результате движения автомобилей. Профилактический способ ликвидации зимней скользкости позволяет обеспечить приемлемые сцепные качества покрытий и безопасность движения в зимний период, снизить вредное воздействие ПГМ на окружающую среду за счет применения рациональной технологии и минимально допустимых норм распределения ПГМ, а также уменьшить расходы дорожной службы на борьбу с зимними морозами. Однако эффективность этого возможна только при условии обеспечения зимних работ специализированными прогнозами формирования зимней скользкости [15, с. 80].

При получении информации о погодных условиях с возможным образованием ледяных отложений (стеклянного льда) на покрытии за 1-2 часа до прогнозируемого погодного явления проводят предварительную обработку покрытия химическими ПГМ в количестве 5-15 г/м³.² Для предварительной обработки дорог можно использовать твердые, жидкие хлориды, а также влажную соль [16, с. 176]. В связи с этим применение жидких химических средств целесообразно в начале снегопада, когда в снежных отложениях на покрытии недостаточно влаги.

Сухие соли эффективны только в том случае, если дорожное покрытие достаточно влажное, чтобы ускорить химическое воздействие ПГМ. Если покрытию не хватает влаги или оно сухое, лучше использовать смоченные соли. При температуре воздуха выше -5 °С эффективнее использовать рассолы, которые перед осадками раскладывают на сухую поверхность для предотвращения скольжения. Концентрация природных солей невелика, то есть их негативное воздействие на окружающую среду невелико.

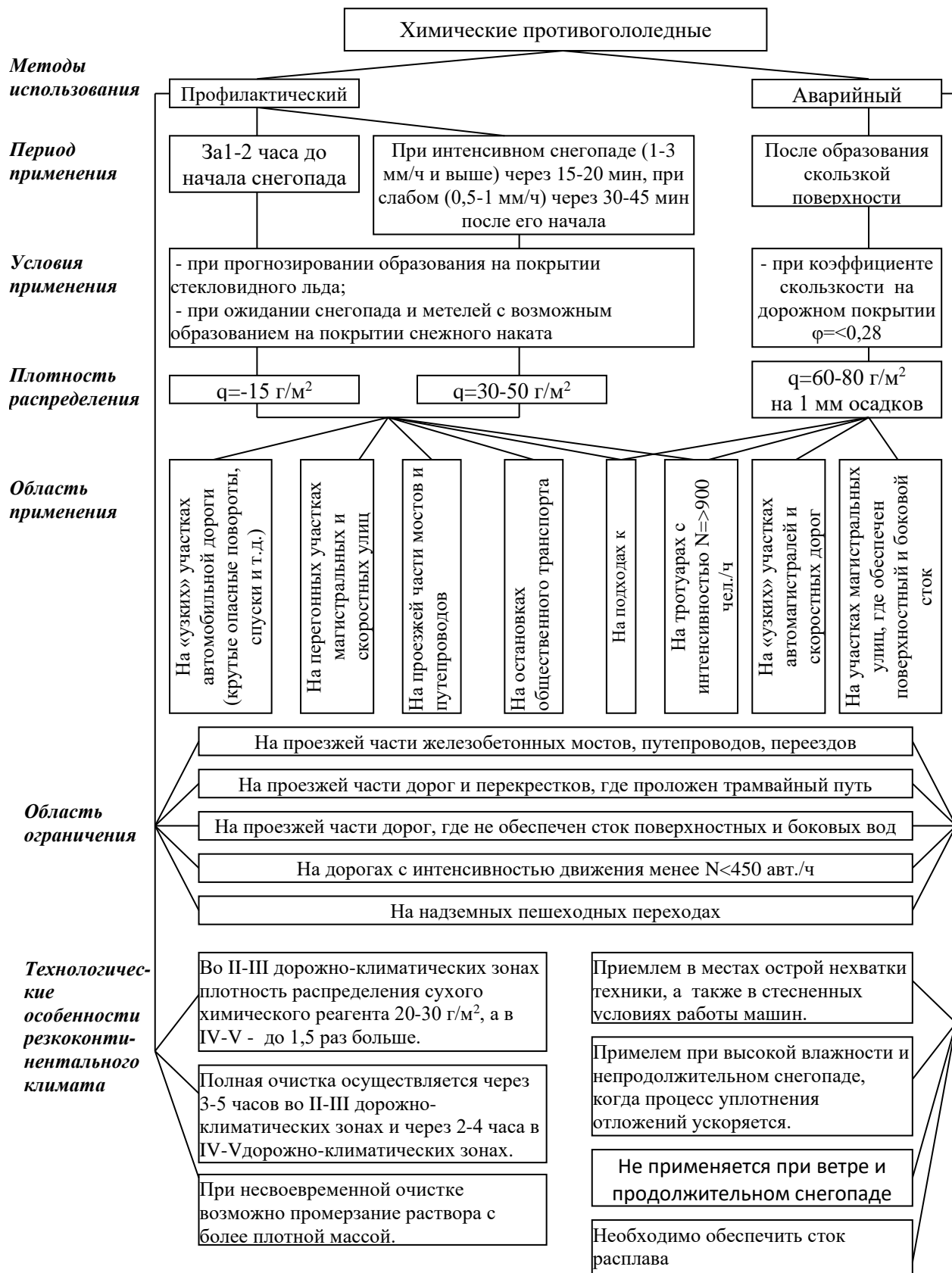


Рисунок 4.1 – Технологические особенности применения химических противогололедных материалов

В целях предотвращения образования снежного заноса в случае прогнозируемого резкого понижения температуры воздуха снегоуборочные

патрули начинаются сразу после получения уведомления от Казгидромета. Работа не прекращается до полного сбора снега. Технология работ по предупреждению образования снежного наноса при снегопадах включает следующие этапы: экспозиция, обработка свежевыпавшего снега ПГМ, интервал, очистка покрытия от снега [84,с. 37].

- Продолжительность - период времени от момента снегопада до момента распространения ПГМ. Продолжительность его воздействия зависит от интенсивности снегопада и температуры воздуха. При снегопадах 1-3 мм/час и более солераспределение начинается через 15-20 минут, а при слабом снегопаде в пределах 0,5-1 мм/час обрабатываемый материал оседает через 30-45 минут после начала.

- Обработка – быстрый прием химреагентов механизированными средствами: распределителями жидких материалов, разбрасывателями, распылителями [85,с. 205].

- установленный интервал от момента распределения ПГМ до начала уборки снега, повторяемость уборки снега и последующих обработок устанавливаются с учетом интенсивности снегонакопления и химической активности ПГМ [60,с. 45].

- Уборка - удаление снежных отложений снегоуборочными машинами: плугами, плужно-щётчными снегоочистителями, шнековыми снегоуборочными плугами, снегопогрузчиками и др.

Основой снегоуборочных работ должно быть патрулирование всех дорог, подлежащих регулярному зимнему ремонту. Патрулирование осуществляется путем периодического проезда ряда автомобилей или личного автотранспорта, которые перемещают снег с середины дороги на обочину со скоростью до 35-40 км/ч во время снегопада в зависимости от интенсивности осадков. . Образовавшийся снежный покров удаляют с помощью роторных снегоуборочных машин или автогрейдеров, перемещающих небольшие сваи в канавы [23,с. 224]. Снежные и ледяные отложения, оставшиеся после снегопада, должны быть удалены или полностью сметены [24,с. 31].

В случае образования снежного наката химические ПГМ распределяют по поверхности наката в соответствии с установленными нормами расхода для данного вида скользкости. После распределения ПГМ необходимо дожидаться частичного таяния снежных отложений химическими ПГМ и разрыхления за счет действия автомобильных колес. Образовавшуюся рыхлую массу необходимо немедленно убрать с проезжей части. При образовании на дорожном покрытии стекловидного налета льда его удаление заключается в обработке поверхности ледяной корки химическими реагентами с нормой расхода, рассчитанной на аварийную ситуацию. При нарушении технологического процесса увеличивается концентрация солей на снегу и тем самым прекращается его активное действие, в результате чего на поверхности покрытия появляются снежинки и неровности [24,с. 6].

Такие явления особенно характерны для IV дорожно-климатической зоны.

Искусственные сооружения (мосты, путепроводы, эстакады и др.) на автомобильных дорогах являются одним из наиболее гололедноопасных участков, поэтому работы на них следует проводить в первую очередь, особенно на средних и больших мостах. На железобетонных и металлических мостах и цементобетонных покрытиях в течение одного года с момента укладки следует применять ПГМ промышленного производства, не содержащие хлоридов: Нордвей, Антиснег-1, НКММ. При использовании хлорсодержащих ПГМ бетонные и цементобетонные элементы искусственных сооружений (заборы, тротуарные и карнизные блоки, выступающие части торцевых балок, ригели, насадки и т.п.), подверженные воздействию этих материалов, обрабатывают гидрофобизирующими составами: раствор гидрофобизатора в форме 1, гидрофобизатор катионный ГЦ-Б в виде 15%-ного водного раствора; катионный гидрофобизатор ГК-Б или антикоррозионная смесь; жидкости КЭ-30-04, 119-215 или жидкость ГКЖ-11. Использование ПС в борьбе со стекловидным льдом, образующимся в виде сплошной тонкой корки льда на гладкой поверхности дорожного покрытия (литого асфальтобетона) со средней глубиной шероховатости менее 0,3 мм. хлорид кальция и хлорид магния запрещены. Использование этих солей для полного растворения тонкого слоя льда приводит к образованию на дороге раствора, который снижает коэффициент сцепления до недопустимого уровня и повышает износостойкость за счет более медленного высыхания по сравнению с хлоридом натрия. период повышенного проскальзывания. Дорожные покрытия со средней глубиной неровностей более 0,3 мм можно обрабатывать всеми видами противогололедных материалов [80, с. 123].

Суммарный расход соли в зимний период не должен превышать 2 кг/м² для II и 1,5 кг/м² для III дорожно-климатической зоны.

Невозможно проводить противоюзные работы при температуре воздуха ниже эвтектического значения. Предельные температуры, до которых допустимо использовать рассолы различной концентрации, приведены в таблице 4.1 [89, с. 24].

Таблица 4.1 – Предельные температуры, до которых допустимо применение рассолов

Тип рассола	Концентрация		Температура воздуха, до которой допускается применение рассолов, °
	%	г/л	
хлорид натрия	15	166	-11
	20	230	-16
Хлористокальций	15	170	10
	20	238	17

Для приготовления солевой смеси на площадку с твердым покрытием привозят соль и выравнивают слоем 10-15 см. Сверху распределяют необходимое количество хлористого кальция, после чего его перемешивают

бульдозером и перемещают в штабель на хранение [34,с. 9]. Требования к химическим антиобледенительным материалам приведены В таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Требования к химическим противогололедным материалам

Наименование индикаторов	Норма	
	твердый	жидкость
Органолептика:		
1. Внешний вид	Гранулы, кристаллы, чешуя	Водный раствор без механических включений осадка и взвеси
2. Цвет	От белого до светло-серого	Яркий, прозрачный
3. Запах	Недоступно (для населенных пунктов)	
Физико-химические:		
4. Зерновой состав, %, массовая доля частиц размером: - более 10 мм - более 5 мм до 10 мм включительно - более 1 мм до 5 мм включительно - 1 мм и менее, не более	не допускается не более 10 не менее 75 15	- - - -
5. Массовая доля растворимых солей, % (концентрация)	-	не менее 20
6. Температура кристаллизации, °С,	не выше -10	-10
7. Влажность, %	не более 5	-
8. Массовая доля нерастворимых в воде веществ, %	не больше 2,5	-
9. Водородный показатель, ед. (рН)	5-9	5-9
10. Плотность, г/см ³	0,8-1,15	1,1-1,3
11. Динамическая вязкость, сантипуаз, (кг*с)/м ²	не более 4	не более 5
технологический		
12. Текучесть, г/г	не менее 5	не менее 2,5
13. Гигроскопичность, %/сут.	10-50	-
14. Чистота	Не допускается	-
15. Скользящий индекс	не более 0,2	не более 0,2
Экологический:		
16. Удельная эффективная активность естественных радионуклидов, Бк/кг, для дорог и улиц в населенных пунктах:	не более 740	не более 740
- для загородных дорог	1500	1500
17. Коррозионная активность по металлу (Ст3), мг/см ² *сут.	не более 0,8	не более 0,8
18. Индекс агрессивности цементобетона, %	не более 0,5	не более 0,5

4.1.1 Практические рекомендации по применению химреагентов в зоне с резко континентальным климатом

Проблема обеспечения транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильных дорог особенно актуальна в Казахстане, в условиях резко континентального климата. Обледенение дорожных покрытий зимой - неизбежное природное явление, сохраняющееся до 3-5 месяцев и более в зависимости от дорожно-климатической зоны и особенностей местности [89,с. 29].

Использование химических реагентов в борьбе с пробуксовкой на дорогах с резко континентальным климатом (IV и V дорожно-климатические зоны), для которых характерны большие суточные перепады температур и низкая влажность воздуха, имеют существенные отличия от зон с умеренным климатом. (II и III дорожно-климатическая) зона) и повышенной влажности [89,с. 20]. Так, в зонах с резко континентальным климатом плавящая активность химических реагентов и, как следствие, продолжительность эффективного действия уменьшаются в 1,5-4 раза [10,с. 147].

Согласно СНиП 2.05-82 территория Республики Казахстан расположена в зоне с резко континентальным климатом, для которого характерны большие перепады температур как днем, так и в течение года.

Среднегодовая продолжительность температуры воздуха в диапазоне 0...-6 °С, при которой наиболее вероятно образование наиболее скользкого покрытия (рисунок 1.1), составляет 250 часов в год в южных районах и 400 часов в южных районах. северные и западные районы республики. Снежно-ледообразование плотностью 0,7 т/м³ образуется при диапазоне температур воздуха -6...-12 °С. Его средняя продолжительность составляет 120 часов в год в южных районах, 310 часов в северных районах. , 230 часов в западных регионах и 290 часов в восточных регионах. Образование сухого слежавшегося снега характерно при температуре -12°С и выше. Продолжительность этого температурного интервала составляет 50 часов в южных и 240 часов в северных и западных районах Республики Казахстан (таблица Д.1 в приложении Д) [89,с. 21].

Продолжительность снежного покрова значительно различается в разных регионах страны. Южные районы относятся ко второй категории снегоочистки (районы легкого снегопада). В обычные зимы необходимо снимать отложения толщиной до 10-15 см. Участки средней полосы относятся к III категории (участки средней сложности уборки снега). Продолжительность снежного периода 100-160 дней, отложения небольшой мощности и осадки. Северные районы с сильными ветрами и интенсивными метелями относятся к IV и V категориям (зоны обильных снегопадов) . области – 163 и 146 дней соответственно СНиП 2.01-82 «Строительная климатология» (таблица А.2).

Одним из наиболее эффективных методов устранения буксования является применение химических реагентов [88,с. 56]. Применение химических реагентов в IV и V дорожно-климатических зонах (в частности, для дорог Казахстана) требует особого контроля за выполнением технологических процессов. Для этой зоны характерны большие колебания суточной температуры и влажности

воздуха, что может негативно сказаться на текучести противогололедных солей. Очевидно, что чем ниже влажность снега, тем ниже способность реагентов к таянию, и наоборот [48,с. 23].

В практике применения материалов для профилактики зимних скользких видов скорость их распространения во всех НИИ СНГ и стран дальнего зарубежья, например Германии, Австрии и др., расход химреагентов колеблется от 10 до 80 г/м². Но при этом в основном учитываются температура воздуха и виды используемых реагентов. Условно учитывается влажность воздуха, что важно для континентальных районов с суровым климатом.

Влияние климатических факторов непосредственной континентальности климата часто препятствует применению профилактических методов. Снег быстро превращается в лед, образуя ледяные пятна на дорожном полотне. В этом случае есть срочный способ устранения зимней буксировки.

В связи с изложенным возникает задача детального изучения области применения химических материалов в борьбе со скользкостью. Одним из направлений этих исследований является определение технологических особенностей использования химических реагентов, уточнение нормы их распределения для аварийно-профилактических способов ликвидации проскальзывания в условиях резко континентального климата [51,с. 14].

Дороги общего пользования подразделяются на классы зимнего содержания в зависимости от интенсивности движения и предъявляемых к ним требований. Сбор снега проводят при наличии не менее 2-6 см сухого снега или 2-5 см мокрого снега. Максимально допустимое количество снега перед его сбором не должно превышать 5-12 см. На дорогах, подверженных метели, в середине проезжей части допустимо образование сугробов высотой 8-15 см. Дорогу посыпают песком или песком, смешанным с солью, когда условия сцепления между шинами и дорожным покрытием особенно плохи [51,с. 14]. Точечное опрыскивание следует проводить в течение 2-4 часов при снижении коэффициента сцепления до 0,25.

Количество дорожно-транспортных происшествий в зимний период зависит от качества проведения следующих мероприятий: уборка снега, профилактическое посыпание солью, посыпание скользких мест солью, рассчитанной на аварийный метод, повышенная готовность дорожно-эксплуатационной службы к содержанию дорог, общее повышение уровня содержания дорог в зимний период, установка снегозащитных ограждений на участках дороги, подверженных метели [89,с. 22].

На рисунке 4.2 показано изменение риска дорожно-транспортных происшествий, выявленное шведскими и немецкими исследованиями в течение дня на дорогах, где изучалось влияние мероприятий по зимнему содержанию дорог (Schanndason 1986; Savenhed, 1994).

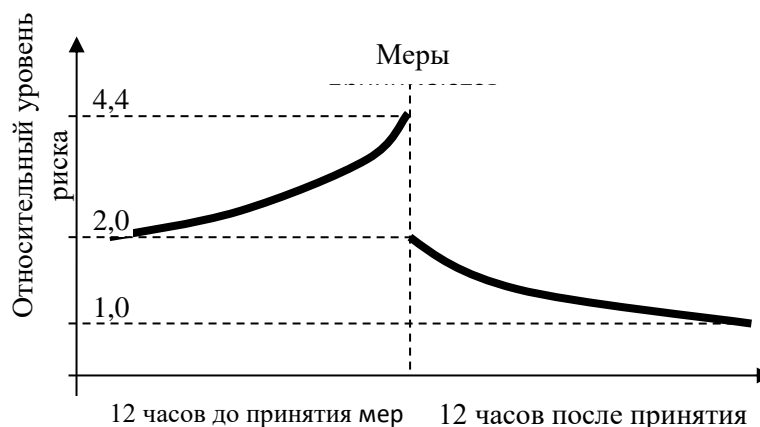


Рисунок 4.2 – Развитие относительного риска ДТП до и после принятия мер по ликвидации скользкости

В период до принятия мер степень риска попадания в ДТП резко возрастает в результате постоянно ухудшающихся условий движения. Сразу после принятия мер риск дорожно-транспортных происшествий значительно снижается [88,с. 50]. После этого степень дорожно-транспортных происшествий постепенно снижается примерно до исходного уровня, имевшего место до неблагоприятных условий движения. Безопасность дорожного движения зимой существенно зависит от рассматриваемого периода эксплуатации. В таблице 4.3 представлен общий обзор результатов вышеупомянутых исследований влияния мероприятий по содержанию зимних дорог на аварийность [88,с. 52].

Повышение класса зимнего содержания позволяет снизить количество дорожно-транспортных происшествий с травмами на 10 % и дорожно-транспортных происшествий с материальным ущербом - на 30 % (Хвослеф, 1976).

Посыпание солью снижает количество дорожно-транспортных происшествий. Если не посыпать солью, увеличивается количество дорожно-транспортных происшествий. Более ранние исследования влияния засоления не указывают на то, что эта мера влияет на количество дорожно-транспортных происшествий показали, что посыпание солью снижает количество дорожно-транспортных происшествий. Это следующее. Во-первых, с течением времени технология посыпания солью стала более совершенной. Одно из норвежских - исследований не доказало снижения количества дорожно-транспортных происшествий на дорогах, где использовалась соль, до 1988 года. Однако после 1988 г. дорожно-транспортные происшествия на дорогах с применением соли стали снижаться. Все ранние исследования воздействия соли, особенно финское исследование 1972 г., проводились на дорогах без знаков ограничения скорости. Поэтому можно предположить, что ограничение скорости служит ограничителем стремления некоторых участников дорожного движения к увеличению скорости за счет улучшения тяговых условий (таблица 4.3) [89,с. 22].

Таблица 4.3 – Влияние мероприятий по содержанию зимних дорог на аварийность

Тяжесть аварии	Процентное изменение количества дорожно-транспортных происшествий		
	Тип дорожно-транспортного происшествия	Лучший результат	Пределы колебания результатов
Повышение нормы содержания дорог в зимний период			
ДТП с пострадавшими	Все дорожно-транспортные происшествия	-12	(-14;-10)
ДТП с причинением материального ущерба	Все дорожно-транспортные происшествия	-30	(-32;-29)
Посыпание солью в течение всего зимнего периода			
ДТП с пострадавшими	Все дорожно-транспортные происшествия	-15	(-22;-7)
ДТП с причинением материального ущерба	Все дорожно-транспортные происшествия	-19	(-39; +6)
Отказ от посыпки солью на протяжении всей зимы			
ДТП с пострадавшими	Все дорожно-транспортные происшествия	+12	(-4; +30)
ДТП с причинением материального ущерба	Все дорожно-транспортные происшествия	+1	(-15; +21)
Повышенная готовность к ремонту дорог в зимний период			
Тяжесть аварии не установлена	Все дорожно-транспортные происшествия	-8	(-14;-1)
Посыпание солью - эффект в течение 24 часов после принятия события			
Тяжесть аварии не установлена	Все дорожно-транспортные происшествия	-24	(-42; 0)
Сбор снега - эффект в течение 24 часов после использования события			
Тяжесть аварии не установлена	Все дорожно-транспортные происшествия	-35	(-59; +3)
Шлифовка - экспозиция в течение 24 часов после использования мероприятия			
Тяжесть аварии не установлена	Все дорожно-транспортные происшествия	-62	(-85;-5)
Увеличена тяга снежных щитов с 0 до 50%.			
Тяжесть аварии не установлена	ДТП на высокой насыпи	-11	(-24; +6)

В шведских исследованиях изучалось влияние на количество дорожно-транспортных происшествий высокой готовности дорожно-эксплуатационной службы к проведению мероприятий по содержанию дорог в зимний период. В период дежурства (с 3:00 до 7:00) бригады рабочих количество дорожно-транспортных происшествий уменьшилось на 30 %, а в период автомобильного патрулирования количество дорожно-транспортных происшествий уменьшилось на 23 %. При сниженной готовности количество дорожно-транспортных происшествий за сутки, общее количество дорожно-транспортных происшествий (травмы и материальный ущерб) уменьшились на 8%.

По результатам исследований по методу трения (Оберг, 1978), посыпание песком привело к увеличению коэффициента сцепления на 0,1 от исходного значения 0,2-0,3, а скорость возросла в среднем на 2,4 км/ч [89,с. 20]. После того, как проехало около 300 автомобилей, большая часть песка была смета с проезжей части.

Их грузоподъемность существенно зависит от качества зимнего содержания дорог, высокая грузоподъемность является основным показателем эффективности большинства мероприятий, проводимых на дорогах по устранению скользкости в зимний период. Результаты исследований влияния различных мер на скорость движения приведены в таблице 4.4 [89,с. 23].

Таблица 4.4 – Влияние инженерных мероприятий на подъездную дорогу

Исследователь	Запад	Ограничить скорость	Пределы изменения средней скорости
Оберг, 1978 г.	Песок	Неизвестный	+2,4 км/ч
Рууд, 1981 г.	Соль	80 км/ч	+5,1 км/ч
Оберг, 1981 г.	Уборка снега	90 км/ч	+2,0-7,0 км/ч
Оберг и др. 1985 г.	Соль	Неизвестный	+0,0-2,0 км/ч
Оберг и др. 1978 г.	Соль	90 км/ч	+2,3-5,9 км/ч
Сакшауг и Ваа, 1995 г.	Соль	80 км/ч	+4,0 км/ч

Эти исследования показывают, что зимние дороги увеличивают среднюю скорость движения на 7 км/ч. Когда идет снег, скорость снижается на 10-15 км/ч. Даже когда идет снег, временной интервал между проезжающими автомобилями увеличивается [88,с. 55].

4.2 Технологические правила приготовления противогололедных реагентов и технические требования к ним

Большим спросом в зимний период пользуются антиголодные реагенты, их выпускают многие предприятия [13,с. 66]. Но качество даже схожих по составу реагентов может отличаться у разных производителей. Чтобы приобрести действительно эффективные реагенты, необходимо знать пропорции материалов и свойства каждого из них. Немаловажным аспектом является правильно организованное производство, в частности, качественное смешивание всех

ингредиентов до однородной массы и упаковка в пакеты с логотипом, антигололедные реагенты таких фирм действительно высокого качества.

Несмотря на то, что реагенты производятся десятками компаний, наибольшим спросом пользуется продукция лишь нескольких компаний.

Современное производство различных видов антигололедных реагентов. Даже самые простые противогололедные материалы (ПГМ), выпускаемые отечественными производителями, отличаются высокой плавящей способностью и хорошим качеством. Техническая соль, входящая в состав антигололедных материалов, должна поставляться белого или светло-серого цвета, абсолютно сухой, чистой и с гранулами, не превышающими фракцию более 5 мм, что предотвращает ее замерзание и появление грязные пятна после его использования. То же самое касается песка и песчано-солевых смесей. Абразивные материалы, предлагаемые компаниями – например, гранитная или мраморная крошка фракции 2-5 мм, также отличаются чистотой и точным соответствием размера частиц заявленной фракции.

Современные составы на основе хлоридов натрия, кальция и магния не менее качественные. Используются качественные сырьевые компоненты, налажено высокотехнологичное современное производство, антигололедные реагенты имеют в своем составе эти хлориды, обладают очень высокими характеристиками и текучестью.

Производители стремятся сделать производимые склады максимально экологичными. Одним из способов является использование гранулированных реагентов, которые имеют очень низкий расход. Кроме того, активно используются безопасные для природы и человека вещества – хлорид кальция и хлорид магния (бишофит), а также на основе биофильных соединений.

Последовательность приготовления жидкого раствора из химических реактивов. Перед использованием жидких химических растворов (рассолов) из хлорида натрия (или других солей) выполняются следующие виды работ:

Проверяется сертификационное качество используемых реагентов (документально).

Реактив подвергают ситовому анализу в лабораторных условиях, оценивают большое количество материала.

Крупные частицы (большого диаметра 0,315 мм) предварительно измельчают. Эта операция осуществляется на соответствующих предприятиях с помощью дробилок, предназначенных для дробления каменных материалов [8, с. 101].

Приготовленный сухой реагент предварительно взвешивают (рисунок 4.3) на весах с точностью $\pm 0,1$ кг.

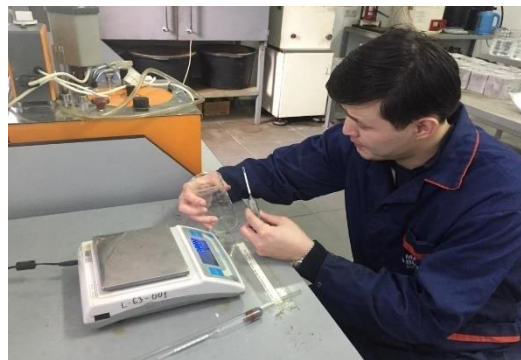
Нагрев воды в баке.

Замешивание раствора, используемого в качестве противогололедного материала, осуществляли в стационарной смесительной установке (рисунок 3.5). Его конструкция состоит из электронасоса (1), емкости для приготовления жидкого раствора ($V_e=0,75$ м³) (2), шланга подачи сжатого воздуха (3) и компрессора (4) [89,с. 24]. При приготовлении раствора воду в емкости

предварительно нагревают до температуры кипения (до +100 оС). Это повышает эффективность растворения химических реагентов и значительно сокращает время их растворения.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.3 – Взвешивание реагентов и подбор состава ПГМ

Схема данной установки и принцип ее работы разработаны на базе Карагандинского областного филиала РДП «Казахавтодор» (рисунок 4.3).

Готовность хлоридно-натриевого состава растворов к применению и его концентрацию определяют по процессу растворения соли в емкости. При этом через определенное время (10, 20, 30 минут) плотность раствора проверяют с помощью плотномера. Для этого в литровую банку или стакан, наполненный раствором, погружают плотномер и, узнав плотность рассола, определяют его концентрацию и температуру замерзания по таблице 3.5 (П РК 218-32-03).

Эта операция осуществляется на соответствующих предприятиях с помощью дробилок, предназначенных для дробления каменных материалов. Приготовленный сухой реагент предварительно взвешивают (на весах с точностью $\pm 5\%$). Размещение раствора. Для приготовления раствора в эксплуатационных службах рекомендуется подготовить специальные установки (рисунок 4.4).



1 – электронасос; 2 – емкость для приготовления жидкого раствора ($V_{\text{ж}}=0,75 \text{ м}^3$); шланг подачи сжатого воздуха; 4 – компрессор

Рисунок 4.4 – Общий вид блока подготовки жидкий реагент

Таблица 4.5 – Выбор концентрации химических растворов

Концентрация раствора хлорида натрия			Концентрация раствора хлорида кальция			Концентрация раствора хлорида магния		
плотность раствора, т/м ³	Содержание NaCl в 100 г раствора, г	температура замерзания, °C	плотность раствора, т/м ³	содержание CaCl ₂ в растворе 100 г, г	температура замерзания, °C	плотность раствора, т/м ³	содержание MgCl ₂ в 100 г раствора, г	температура замерзания, °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,04	5,6	-3,5	1,04	4,8	-2,4	1,04	5,2	-3,56
1,05	7,0	-4,4	1,05	5,9	-3,0	1,05	6,4	-5,25
1,06	8,3	-5,4	1,06	7,1	-3,7	1,06	7,8	-6,40
1,07	9,6	-6,4	1,07	8,3	-4,4	1,07	9,0	-7,38
1,08	11,0	-7,5	1,08	9,4	-5,2	1,08	10,1	-8,28
1,09	12,2	-8,6	1,09	10,5	-6,1	1,09	11,1	-9,10
1,10	13,6	-9,8	1,10	11,5	-7,1	1,10	11,5	-10,0
1,11	14,9	-11,0	1,11	12,6	-8,1	1,11	12,1	-12,9
1,12	16,2	-12,2	1,12	13,7	-9,1	1,12	12,8	-14,2
1,13	17,5	-13,6	1,13	14,7	-10,2	1,13	13,5	-16,1
1,14	18,0	-15,1	1,14	15,8	-11,4	1,14	14,5	-18,7
1,15	20,0	-16,0	1,15	16,8	-12,7	1,15	15,6	-20,3
1,16	21,2	-18,2	1,16	17,8	-14,2	1,16	16,7	-22,1
1,17	22,4	-20,0	1,17	18,9	-15,7	1,17	17,8	-24,5
1,175	23,1	-21,2	1,18	19,9	-17,4	1,18	18,5	-26,8
			1,19	20,9	-19,2	1,19	19,6	-29,2
			1,20	21,9	-21,2	1,20	20,5	-31,2
			1,23	24,7	-28,3			
			1,24	25,7	-31,2			
			1,25	26,6	-34,6			
			1,26	27,5	-38,6			

Продолжение таблицы 4. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
			1,27	28,4	-43,6			
			1,28	29,4	-50,1			
Примечание - Время растворения химреагентов зависит от температуры нагрева воды								

Таблица 4.6 – Плотность, твердость снега и его сопротивление резанию

Характеристики снега покрытие	Плотность, т/м ³	Твердость, МПа	Удельное сопротивление резанию, МПа
Очень рыхлый, свежий	0,010-0,200	0,02	0,001
Рыхлые, слегка уплотненные, скрученные, свежеспавшие.	0,220-0,300	0,02-0,1	0,005-0,01
Сгущенное, свежее	0,300-0,400	0,2-0,4	0,01-0,02
Старик лежит	0,480-0,520	0,4-0,5	0,025-0,08
Мелкозернистый лавинный, уплотненный валок	0,550-0,700	0,5-0,7	0,1-0,5
Катание снега и льда	0,700-0,950	-	1,0-2,5

Интенсивность и скорость автомобильного движения, увеличивающиеся с каждым годом, предъявляют повышенные требования к состоянию дорожного полотна, особенно в зимний период. В результате совокупного воздействия отрицательных и близких к 0°С температур воздуха, повышенной влажности, таяния снега с последующим замерзанием талых вод, охлаждения покрытия, осадков, конденсации паров воды ухудшаются адгезионные свойства и состояние покрытия. покрытия меняются. Наиболее опасные условия для движения возникают при появлении на поверхности зимних скользких покрытий, основными причинами которых являются:

а) замерзание дорожного покрытия: замерзание мокрой поверхности; иней; ослабление влияния факторов, вызывающих скользкость;

б) осадки и туман: дождь, падающий на холодную поверхность; Снежная буря; туман.

Сцепные качества покрытий в этот период во многом определяют безопасность дорожного движения: они должны обеспечивать минимальный тормозной путь, устойчивость и управляемость автомобиля в любую погоду. Для их поддержки на высоком уровне используются технологии, целью которых является (рисунок 4.5):

– предотвращение образования снежно-ледяных отложений, препятствующих непосредственному взаимодействию колеса с покрытием, или их полному разрушению;

- Повышение шероховатости поверхности обледенелых покрытий.



Рисунок 4.5 – Основные направления борьбы с зимней скользкостью

Сцепные качества покрытий в этот период во многом определяют безопасность дорожного движения: они должны обеспечивать минимальный тормозной путь, устойчивость и управляемость автомобиля в любую погоду. Для их поддержки на высоком уровне используются технологии, целью которых является (рисунок 4.5):

- предотвращение образования снежно-ледяных отложений, препятствующих непосредственному взаимодействию колеса с покрытием или их полному разрушению;

- Повышение шероховатости поверхности обледенелых покрытий.

Технологии зимнего содержания предполагают применение различных способов устранения скользкости покрытий, среди которых можно выделить термические, химические, комбинированные, физико-химические и фрикционные (таблице 4.7).

Таблица 4.7 - Характеристика основных способов борьбы с зимней скользкостью

Индикатор	Материалы для борьбы с зимним проскальзыванием			
	химический	трение-он	совмещенный санузел	физические и химические
1	2	3	4	5
Используемые материалы	соли, антигололедные реагенты	песок, щебень, шлак и др.	Фрикционный материал + химреагент	добавки в асфальтобетон, гидрофобизаторы
Время распределения материала	до, во время или после образования зимней скользкости	после образования зимнего проскальзывания	во время или после образования зимнего проскальзывания	при укладке покрытия

Продолжение таблицы 4. 7

1	2	3	4	5
Температурный диапазон использования	до -12°C (отдельные вещества до -40°C)	не ограничен	не ограничен	до -3...-7°C
Продолжительность действия	в зависимости от интенсивности движения и погодных условий			добавки к асфальтобетону - до 7 лет гидрофобизаторы - до 2 лет
Эффективность использования	высокая с соблюдением технологии	средний	средний	средний
Преимущества	- Высокая плавучесть; - малые нормы расхода; - обработка большой площади одной машиной	- Простота; - низкая стоимость материала	- быстрое увеличение коэффициента связи	позволяет снизить затраты на ликвидацию гололеда на проезжей части
Недостатки	- Высокая стоимость материала; - ограниченные условия использования (по температуре, внутреннему движению); - строгие требования по соблюдению технологии работы	- большая скорость рассеивания; - незначительное увеличение коэффициента связи; - большое количество дистрибьюторов; - Большой объем закупок ПГМ; - слабая фиксация ПГМ на покрытии	- Нарушение техники резко ухудшает условия движения; - Высокие требования к качеству подготовки материала	снижает межремонтный срок службы покрытия

1. Обработка покрытия ПГМ, способствующего более интенсивному взаимодействию колеса с дорожным покрытием. В качестве качества используются песок, отсев, щебень и подобные фрикционные материалы, а на величину коэффициента сцепления в основном влияет размер ПГМ и его количество. При максимальном расходе результатом обработки будет поверхность, напоминающая поверхностную обработку.

С учетом этого к полученной поверхности можно применять требования по размерам материала, шероховатости и т. д., которые предъявляются к обработке поверхности. Это покрытие обеспечит несколько меньшую площадь фактического контакта (по сравнению с необработанным покрытием), но за счет значительного увеличения механической составляющей силы трения взаимодействие колеса с покрытием будет более интенсивным, что будет

способствовать к увеличению коэффициента сцепления. Но в практике зимнего содержания полный аналог этого способа неэкономичен, так как требуется значительный расход ПГМ, а при выпадении снега эффект от его применения резко снижается. Обычно количество материала, расходуемого при антифризной обработке покрытия, значительно меньше и выбирается таким образом, чтобы обеспечить минимально допустимое значение коэффициента адгезии, установленное нормативными документами. В то же время, независимо от количества ПГМ, основным недостатком этого метода является слабая фиксация частиц фрикционного материала на покрытии, что приводит к снижению эффективности противообледенительной обработки и, как следствие, как следствие, к неравномерности коэффициента адгезии и необходимости повторных обработок. Таким образом, для повышения эффективности использования фрикционных материалов основное внимание следует уделить обеспечению надежности их фиксации на поверхности покрытий, особенно обледенелых.

2. Использование зимней резины, в том числе с противоскользящими шипами. Элементы рисунка протектора зимних шин оптимально приспособлены для сцепления на обледенелой дороге: каждая щель, соприкасаясь с дорогой, образует ступенчатую грань, взаимодействующую с микронеровностями дорожного покрытия. Чем больше деформация паза, тем лучше сцепление. При этом в зимних шинах используются мягкие виды резины для лучшего сцепления со снегом и льдом. Такие шины улучшают ходовые качества автомобиля в плане управляемости, проходимости, сокращают тормозной путь и наиболее эффективны на дорогах с утрамбованным снегом. На обледенелых дорогах желательно дополнительно использовать шипы противоскольжения. Они способствуют проталкиванию мокрой пленки, играющей роль смазки между шиной и дорогой, а также внедряются в снежно-ледяные отложения, что в совокупности позволяет обеспечить относительно устойчивый контакт колес с поверхностью. Но даже при температуре выше -4°C эффективность шипов заметно снижается, так как лед становится мягким. Кроме того, при движении автомобиля с шипованной резиной по чистому цементобетонному покрытию снижается безопасность движения (резко меняется коэффициент сцепления, тормозной путь увеличивается на 5 - 20 %). Таким образом, шипы расширяют зону действия зимних шин, позволяя использовать их на льду и твердом снегу. Но в то же время они вредят цементобетонным покрытиям, содержащимся в чистом виде, так как способствуют быстрому износу их верхнего слоя и образованию липкости.

4.3 Технические требования к средствам механизации при развозке противогололедных материалов на дорогах с цементобетонным покрытием

Правильная организация и проведение работ по содержанию зимних дорог во многом зависят от постоянной и полной эксплуатационной готовности снегоуборочной машины, разбрасывающей сыпучие материалы и переливающей жидкие химические реагенты техники [30, с. 367].

Распределение химических реагентов с дорожного покрытия осуществляется специальными распределителями твердых, жидких и влажных противогололедных материалов.

В настоящее время выпускаются распределители реагентов для зимней обработки материалов, которые устанавливаются на различные отечественные базовые шасси (ЭД-403, ЭД-242, ДМ-38, ЭД-224, КО-713М, Тройка-2000, КУМ-99, так далее.). Для раздачи жидких противогололедных материалов применяют машины МКДС-4005, КУМ-100, ДКТ-503 и др. При отсутствии этих машин можно использовать поливальные машины с распределительным устройством РХ-10. При остановке машин с такими устройствами необходимо немедленно прекратить выливание обрабатываемого материала на дорожное покрытие, т.к. чрезмерное растекание жидких хлоридов по дорожному покрытию может привести к повышенному скольжению и дорожно-транспортным происшествиям .

Раствор подключается, как правило, к распределительному диску, к которому подводится сухой реагент и подсоединяются рассольные трубки для смачивания реагента раствором [89,с. 22].

Необходимое количество реагентов-распределителей определяется в зависимости от имеющихся видов и принятых норм распределения, обслуживания и переработки, расстояния между базами (складами) хранения ПГМ и производительности машин, а также установленного срока размораживания. Аппаратура дозирования противогололедных реагентов (жидких и сухих) легко переоборудуется в летнюю поливочную машину (рисунок 4.6-4.7).



Рисунок 4.6 – Транспортное оборудование для раздачи химреагентов с учетом КамАЗ

Примечание - Источник [88,с. 50]



Рисунок 4.7 – Снегоуборочное оборудование

Примечание – Источник [89,с. 23]

К машинам зимнего хранения предъявляются следующие требования готовности:

- все автомобили службы зимнего содержания дорог должны быть тщательно осмотрены и отремонтированы до 31 августа текущего года;
- транспортные средства службы зимнего содержания дорог должны заправляться и проверяться на исправность после каждого использования;
- необходимо регулярно проверять дополнительное электрооборудование, исправность и техническое состояние цепей противоскольжения и их установки на колесах, надежность навесных частей плужных снегоочистителей и распределителей противогололедных материалов. В зимний период необходимо каждые две недели проводить эксплуатационную проверку всех машин и механизмов и фиксировать их работу или обнаруженные неисправности в журнале контроля [89,с. 24];
- ремонт механизмов и машин для зимнего ремонта должен производиться в кратчайшие сроки [89,с. 24].

4.4 Технология и организация работ по борьбе с зимней скользкостью

Реагенты для зимнего содержания хранятся на складах. От выполняемых работ зависит количество и пропускная способность, площадь обрабатываемых дорог, выработка производственных баз, виды используемых материалов, тип и марка распределителей и другие факторы. Они хранятся на хороших складах с загрузкой не менее 80 % в зависимости от сезонной потребности в материалах для планируемого участка дороги. Внутренние размеры склада должны обеспечивать свободное пространство для работы дорожной техники и транспорта.

Металлические, бетонные и кирпичные стены внутри склада должны быть защищены от коррозии и механических повреждений.

В исключительных случаях допускается хранение химических и комбинированных противогололедных материалов, отгружаемых и перевозимых навалом (без тары) в штабелях, бортах или конусах на открытых

специальных площадках. При этом края (конусы) закрывают водонепроницаемым материалом (полиэтиленовая пленка, брезент).

Для приготовления и хранения комбинированных противогололедных материалов по периметру устраивают открытые площадки с асфальтобетонным покрытием и дренажной системой. Насыпь выполнена из песчаного асфальтобетона трапецевидного сечения (рисунок 4.8).

На входе и выходе оползней устраивают пологий серповидный профиль высотой 15-20 см (рисунок 4.9) [89,с. 24].

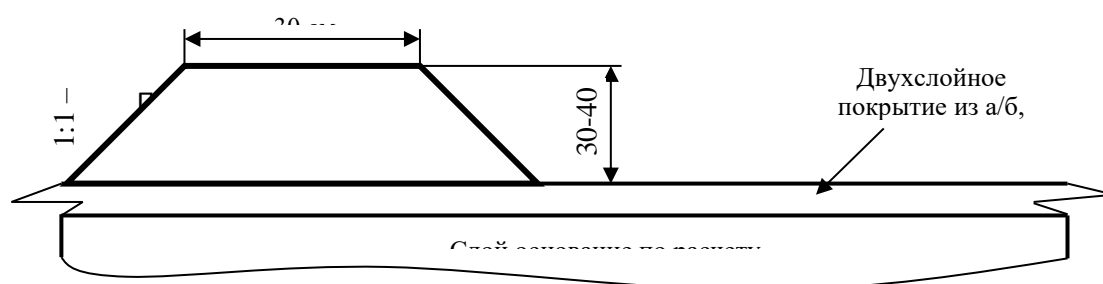


Рисунок 4.8 – Схема открытой площадки для хранения сыпучих материалов химические и комбинированные антиобледенительные материалы



Рисунок 4.9 – Устройство въезда на открытую площадку

Размеры площадок определяются исходя из расчета размещения на них 100 % сезонной потребности в фрикционных или комбинированных противогололедных материалах для данного участка дороги, при этом можно использовать две штабеля (конусы) с различным соотношением песка и соли. быть создан. Для предотвращения засоления природной среды необходимо устраивать дренажную систему с приемными колодцами и испарительным бассейном. Вертикальная планировка площадок должна обеспечивать поступление дождевых и талых вод в испарительные бассейны или приемные колодцы.

Площадка для приготовления и хранения песчано-солевой смеси должна быть огорожена, иметь въездные ворота и наружное освещение.

Готовить песчано-соляную смесь на открытых участках целесообразно в августе-октябре, выбирая при этом сухие дни без осадков.

Погрузка песчано-солевой смеси и химических противогололедных материалов из штабелей, бортов или конусов в раздаточные машины

осуществляется одноковшовыми фронтальными погрузчиками или бульдозерами через загрузочные бункеры и эстакады. Применяются также конструкции галерейного типа, в которых запас песчано-солевой смеси (конус) создается заранее бульдозером на 3-4 дня работы, а загрузка распределителя, расположенного в галерее, осуществляется путем открывания вручную скользящие (сегментные) затворы. Применение сооружений галерейного типа не требует ежедневного присутствия бульдозера [89,с. 24].

Галереи целесообразно устраивать в дальних концах обслуживаемой территории, используя для этих целей рельеф местности, разработанные карьеры с глубокими подземными водами.

Погрузка химических ПГМ со склада может осуществляться одноковшовыми фронтальными погрузчиками, а также грейферными или фрезерно-роторными снегопогрузчиками ТМ-3А, КО-206А, СНП-17, КО-207, СНФ-200.

Химические противогололедные материалы, отпускаемые в мелкой (20-40 кг) или крупной (500-1000 кг) таре, складываются штабелями в крытых складах и перегружаются крановым оборудованием со специальными строповочными захватами. По окончании работ механизмы, участвующие в загрузке химических и комбинированных противогололедных материалов, должны быть тщательно вымыты. Для раздачи противогололедных материалов в период гололеда требуется 1 дозатор ЭД-224, во время снегопада – 2 дозатора ЭД-224.

В таблице 4.8 представлена информация об операционных элементах управления.

Почасовой график работы распределителей антигололедных материалов (таблицы 4.9, 4.10).

Таблица 4.8 – Оперативный контроль качества

Операции	Хранилище контроль	Контролирующее лицо	Метод контроля	Время
Распределение твердых ПГМ	Скорость движения машин при раздаче	Инженер	По спидометру 30 км/ч.	В процессе работы
	Ширина перекрытия прохода распределителя	Инженер	Визуально	В процессе работы
	Норма распределения ПГМ	Инженер	лед - 105 г/м ² , снегопад - 212,5 г/м ²	В процессе работы
Уборка и очистка проезжей части от остатков снега и льда	Скорость движения	Инженер	По спидометру 30 км/ч.	В процессе работы
	Ширина уборки и перекрытие пути снегоочистителя	Инженер	0,2-0,5 м.	В процессе работы
	Расстояние между автомобилями	Инженер	Визуально 30-60 м.	В процессе работы

Таблица 4.9 – Информация для расчета времени технологических операций по распределению противогололедных материалов при гололедообразовании

Число мах.	Номер рейса	T_{-}	$T_{гр}$	T_p	T_p	T_c	Время с начала смены
1	1	0,12	0,038	0,296	0,158	0,612	1112
1	2	0,12	0,038	0,296	0,173	0,627	1739
1	3	0,12	0,260	0,241	0,294	0,915	2654

Таблица 4.10 – Информация для расчета времени технологических операций по распределению противогололедных материалов во время снегопада

Число мах.	Номер рейса	T_{-}	$T_{гр}$	T_p	T_p	T_c	Время с начала смены
1	1	0,12	0,032	0,146	0,095	0,393	0,893
2	1	0,12	0,142	0,146	0,168	0,576	1196
1	2	0,12	0,032	0,146	0,085	0,383	1276
2	2	0,12	0,252	0,146	0,241	0,759	1955
1	3	0,12	0,128	0,146	0,158	0,552	1828
2	3	0,12	0,362	0,101	0,292	0,875	2,83

4.5 Расчет необходимого количества материалов из расчета противогололедных материалов

Расчет необходимого количества антигололедных материалов.

$$Q = L \cdot B \cdot a, \quad (4.1)$$

где Q - необходимое количество противогололедного материала на 1 сосульку или 1 снегопад, т. е.; L - длина дороги, м.; B – ширина проезжей части, м; a – скорость растекания материала, т/м³.

$$Q_{CH} = 25000 \cdot 9 \cdot 0,0002125 = 47,81 \text{ т};$$

$$Q_P = 25000 \cdot 9 \cdot 0,000105 = 23,63 \text{ т}$$

Вся потребность в антигололедных материалах на зимний период будет равна:

$$Q = Q_G \cdot m \cdot Q_{CH} \cdot n, \quad (4.2)$$

где m - количество дней со льдом; n – количество дней со снегопадом.

$$Q = 23,63 \cdot 27 + 47,81 \cdot 34 = 2263,55 \text{ т}.$$

В целом количество песчано-солевой смеси за период ликвидации скользкости составило 2263,55 т, хлорида натрия – 339,53 т (15%), песка – 1924,02 т (85%).

Расчет необходимого количества машин и механизмов для устранения зимней буксировки.

Определить длину одного разряда.

$$l_p = \frac{q}{a \cdot b} \quad (4.3)$$

где q - грузоподъемность распределителя, т.; a - скорость размещения, т/м²; b - ширина россыпи за 1 проход, м.

Раздатчик марки ЭД-224 на базе МАЗ-5337, грузоподъемностью 5,6 м³ или 8,4 т, раздача мерзлых материалов на ширину 4-12 м.

$$t_p = l_p / V_p, \quad (4.4)$$

где l_r - длина одной выгрузки, км; V_p - скорость движения машин при раздаче противогололедных материалов, км/ч.

$$l_p^r = \frac{8,4}{0,000105 \cdot 9} = 8,889 \text{ км}$$

$$l_p^{сн} = \frac{8,4}{0,0002125 \cdot 9} = 4,392 \text{ км}$$

Определить время, необходимое для 1 разгрузки.

$$t_p^{сн} = \frac{4,392}{30} = 0,15 \text{ ч.}$$

$$t_p^r = \frac{8,889}{30} = 0,30 \text{ ч.}$$

Определите количество поездок, которое должен совершить дистрибьютор противогололедных материалов для обработки каждой зоны.

$$R = L / l_p, \quad (4.5)$$

где L - длина участка дороги, км; l_r - длина одной выгрузки, км.

$$R^r = \frac{25}{8,889} = 2,81$$

$$R^{сн} = \frac{25}{4,492} = 5,57$$

Определить продолжительность пути груженого автомобиля.

$$t_{гр} = \frac{2 \cdot l_0 \cdot L + L_{п}^2 + L_{л}^2}{2 \cdot V_{гр} \cdot L} \quad (4.6)$$

где l_0 - расстояние от основания до съезда на обрабатываемый участок дороги, км.; L - длина дороги, км.; L_n и L_l - левая и правая обочины обрабатываемого участка дороги, км.; $V_{гр}$ - скорость груженого автомобиля, км/ч (рисунок 2.10) [15, с. 80].

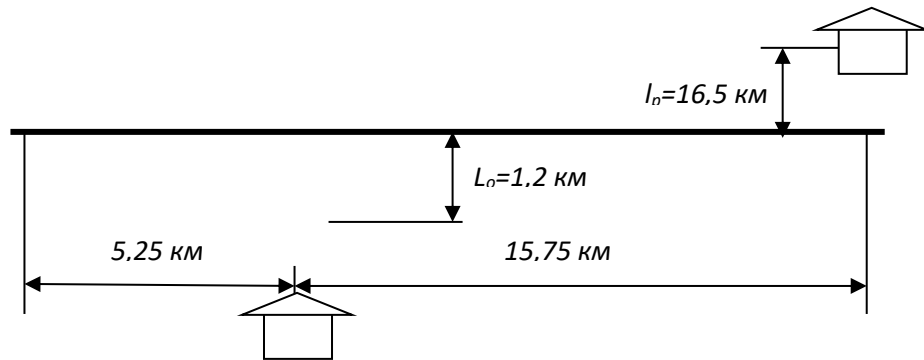


Рисунок 2.10 – Схема противообледенительного основания. материалы в придорожной зоне

$$t_{гр} = \frac{2 \cdot 1,0 \cdot 25 + 16,5^2 + 8,5^2}{2 \cdot 40 \cdot 25} = 0,20 \text{ ч.}$$

Определить время в пути порожнего автомобиля.

$$t_{п} = \frac{2 \cdot l_0 \cdot L + L_{п}^2 \cdot L_{л}^2}{2 \cdot V_{п} \cdot L} \quad (4.7)$$

где V_n - скорость порожнего автомобиля, км/ч.

$$t_{п} = \frac{2 \cdot 1,0 \cdot 25 + 16,5^2 + 8,5^2}{2 \cdot 60 \cdot 25} = 0,13 \text{ ч.}$$

Определить среднюю продолжительность 1 полета.

$$t_{ц} = t_{порп} + t_p + t_{гр} + t_{п} \quad (4.8)$$

$$t_{ц}^r = 0,12 + 0,30 + 0,20 + 0,13 = 0,75 \text{ ч.}$$

$$t_{ц}^{сн} = 0,12 + 0,15 + 0,20 + 0,13 = 0,60 \text{ ч.}$$

Среднее количество рейсов одного распределителя за директивное время ликвидации зимней скользкости.

$$\tau = \frac{T_n - t_{оп}}{t_{ц}} \quad (4.9)$$

где T_n – максимальный нормативный срок ликвидации зимней буксировки, ч; $t_{оп}$ – время оповещения, пуска, прихода и загрузки распределителя.

$$\tau^r = \frac{4 - 0,5}{0,75} = 4,67$$

$$\tau^{сн} = \frac{4 - 0,5}{0,60} = 5,83$$

Определение количества дистрибьюторов.

$$N = \frac{R}{K_u \cdot \tau} \quad (4.10)$$

где R – количество рейсов, которое необходимо совершить распределителю для обработки каждой секции; K_u – коэффициент использования машин во времени; Ch – среднее количество рейсов одного дистрибьютора.

$$N^r = \frac{2,81}{0,8 \cdot 4,67} = 0,75 \approx 1 \text{ шт.}$$

$$N^{сн} = \frac{5,57}{0,8 \cdot 5,83} = 1,19 \approx 2 \text{ шт.}$$

4.6 Пример расчета определения нормы времени и норм приготовления противогололедных растворов

Постановка задач. Определение нормативного времени приготовления жидких противогололедных растворов определяют путем проведения хронометражных наблюдений [88, с. 50].

Погода в день обследования была пасмурная, ветреная, шел снег.

Состав бригады, выполняющей данный вид работ, составляет 3 человека: один дорожный рабочий 1-го разряда со стажем работы 2 года, один 4-го разряда со стажем работы 5 лет и один 2-го разряда со стажем работы 3 года [89, с. 24].

Состав и порядок приготовления жидких противогололедных растворов. В ходе наблюдений зафиксирован следующий состав элементов производственного процесса:

- заполнение емкости подогретой водой (+70°C);
- взвешивание реагента на электронных весах с точностью $\pm 0,1$ кг;
- Включение компрессора;
- перемешивание раствора до полного растворения соли;
- Измерение плотности раствора ареометром с интервалом 30 минут.

Обработка результатов измерений. После покадровых наблюдений они были обработаны с помощью стоимостного анализа. Темп работы при

наблюдениях соответствовал требованиям производственного задания, норм и правил, а также техническим условиям эксплуатации станка.

Исходные данные. Оперативное время, затраченное дорожниками на приготовление жидких антигололедных растворов, составило 67,52 мин, но с учетом того, что в рабочем процессе наполнения контейнера (ОР-1) участвовали 2 дорожных рабочих, а на взвешивании 3 врача. реагент. - Затраты труда составят 162,33 чел/мин. Для компрессора потребление составило 192,05 мин. Затраты вспомогательного времени работы привода компрессора составили 0,53 минуты. Суммарная стоимость оперативного времени (основного и вспомогательного) на приготовление 750 лраствора для дорожных рабочих равна 162,33 мин или 2,71 чел.-час, а для компрессора 192,58 мин или 3,21 маш-час. Материал – хлористый кальций (таблица 4.11) [79,с. 114].

1. На расход реагента при приготовлении раствора - $q_p = 0,128 \text{ кг/м}^3$.

Расчет производственной нормы времени приготовления жидких противогололедных растворов проводят по формуле [80,с. 123]:

$$N_{np} = \frac{N_{o.p} \times 100}{[100 - (N_{нзр} + P_{tp} + P_{тр})]} \quad (4.11)$$

где: $N_{или}$ - рабочее время; $N_{пзр}$ - нормы подготовительных и заключительных работ; $P_{тр}$ - время для отдыха и личных нужд; $P_{тр}$ - расчетная величина технологических перерывов, для разбойников - 2,7.

Таблица 4.11 – Сводка видов времени, затраченного на приготовление жидких реагентов

Индекс	Наименование затрат времени	Продолжительность, мин		
		экспериментальные значения	для дор. рабочие	для мебели
1	2	3	4	5
ОР-1	Наполнение емкости подогретой водой (+70°C), (2 дорожных рабочих)	40 футов 13 дюймов	40,22	
ВР-2	Взвешивание реагента на электронных весах с точностью ±0,1 мг, (3 дорожных рабочих)	27'18"	27.30	
ИЛИ-3	Перемешивание раствора компрессором до полного растворения соли	192'03"		192,05
Основная оперативная работа ГР:			67,52	192,05
БП-4	Включение компрессора	00:32"		0,53
Оперативно-вспомогательные работы ВР:				0,53
Измерение плотности раствора ареометром:				
$P_{тп}$	- первое измерение	00:44"	0,73	
$P_{тп}$	- второй замер	00:36"	0,60	
$P_{тп}$	- третье измерение	00:42"	0,70	
$P_{тп}$	- четвертое измерение	00:51"	0,85	

Продолжение таблицы 4.11

1	2	3	4	5
П _{тп}	- пятый замер	00:38"	0,63	
П _{тп}	- застыл шестой, последний	00'54"	0,90	
Производственный технологический перерыв П _{тп}			4,41	
Вместе вспомогательные работы (ОР+ВР)			67,52	192,58
Вместе продуктивное время PZ (БП + БП + Птп)			71,93	192,58
Общий:			71,93	192,58
Примечание – Источник [81,с. 2]				

Согласно требованиям технического регламента труда время на подготовительные и заключительные работы составляет 5 %, время на отдых и личные нужды - 10 % от продолжительности рабочей смены.

Исходя из этого, производственная норма времени будет равна [28,с. 41]:
для дорожников:

$$H_e = 2,71 \frac{100}{[100 - (5 + 10 + 2,7)]} = 3,29 \text{ человеко-часа,}$$

для компрессора:

$$H_e = 3,21 \frac{100}{[100 - (5 + 10)]} = 3,78 \text{ человеко-часа.}$$

Расчетная норма строительного машинного времени и затрат труда машинистов и других рабочих, непосредственно обслуживающих машину, заработная плата которых включается в стоимость машинных смен, принимается в расчетах по производственным нормам с применением к ним переходных коэффициентов [28,с. 17]. В расчетах коэффициент перехода от производственных норм к расчетным принят в виде 1,03.

Расчетная норма времени оператора снегоуборочной машины и расчетная норма времени работы машины составят:

- для дорожных рабочих: $3,29 \times 1,03 = 3,39$ человеко-часа
- для компрессора: $3,78 \times 1,03 = 3,89$ часов затирания [28,с. 18].

По квалификации и знаниям рабочие, занятые приготовлением реактивных противогололедных растворов, относятся к дорожным рабочим II разряда.

Заработная плата подмастерьев по тарифной ставке II разряда - 144 тенге в час, а с учетом 30-процентной отраслевой надбавки - 187,20 тенге. Работа компрессора РК СН 8.02-03-2003 «Сборник сметных норм и цен на применение строительных машин», коды 0-6-1, с учетом роста отрасли на 30% - 236,99.

Зарплата дорожного рабочего при приготовлении жидких антигололедных растворов составит:

$$187,20 \text{ тенге} \times 3,39 \text{ человеко-часа} = 634,61 \text{ тенге.}$$

Для компрессора оклад на приготовление жидких антиобледенительных растворов составит:

$$236,99 \text{ тенге} \times 3,89 \text{ маш.часа} = 921,89 \text{ тенге.}$$

2. На расход реагента при приготовлении раствора - $q_p = 0,191 \text{ кг/м}^3$.

Исследования проводились на реках с расходом воды до $500\,000 \text{ м}^3$ в сутки, протекающих в черте города и загрязняющихся в основном через городскую ливневую канализацию, наибольшая концентрация хлоридов в зимний период составила 20-30 мг./л, но оставался на этом уровне не более суток. В реках с меньшим расходом воды концентрация солей достигала более высокого значения, но в течение 7 дней после их использования на дорогах практически всегда снижалась до нормального уровня. В стоячей воде или водотоках с малым расходом и большим водосборным бассейном концентрации хлоридов могут превышать санитарные нормы [89,с. 24].

Негативное воздействие NaCl и CaCl_2 менее вредно по сравнению с MgCl_2 и солями серной кислоты $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, которые оказывают вредное воздействие на дорожные покрытия и здания [89,с. 24]. Соединения азота менее эффективны, чем соединения хлора, но они больше способствуют коррозии металлов и отрицательно влияют на воду.

По данным Н.П. Орната растворы NaCl более агрессивны, чем CaCl_2 той же концентрации. При этом под руководством проф. В.Б. Ратиновым в МАДИ, АХ им. Памфилова и НДИОХИМ разработаны дешевые и эффективные реагенты, представляющие собой расслоенный кальций, не комкующийся, со специальными добавками полифункционального действия [89,с. 24]. Среди них: чешуйчатый хлористый кальций, фосфатированный хлористый кальций (ХКФ); бишофит чешуйчатый; неслеживающаяся смесь, состоящая из 85-88% (по массе) хлористого кальция чешуйчатого или ГХФ или бишофита, нитрата мочевины кальция (НКН) и др., для стимуляции роста зеленых насаждений настолько сильно, что вредное воздействие на них хлоридов снижается в 1,5-2 раза [89,с. 24]. Комплекс мероприятий по снижению воздействия солей на почву можно условно разделить на физические, химические и биологические (рисунок 4.11).



Рисунок 4.11 – Природоохранные мероприятия по защите почв и растительности от воздействия остатков противогололедных материалов

Уменьшение загрязнения воды и почвы возможно, если применять химические реагенты не для полного таяния снежно-ледяных образований (аварийный способ), а для предотвращения образования отложений (профилактический способ), либо только рыхление с последующим применением механических средств. Очистки [89, с. 24].

Коррозионное действие раствора NaCl снижается на 66 % при добавлении к нему 10 % CaCl_2 , также очень эффективен 3 % раствор мочевины.

Смеси реагентов для обработки обледенения на поверхности дорог с пониженной окислительной способностью состоят из: 52,2% суспензии шлама, образующегося при сульфатации масла (отхода), обработанного HCl и нейтрализованного водным раствором NaOH , порошка CaS , порошка $\text{Ca}(\text{OH})_2$ SO_4 при 20 °С или молотый известняк. Полученный раствор используют для поливки дорог при температуре -20 °С и имеет следующий состав: 18,5 % NaCl , 4,7 % CaCl_2 , 0,2 % Na_2SO_4 и 0,1 мг NaOH .

Наиболее неблагоприятно действуют противогололедные соли на цементобетонные покрытия. Разрушение бетона в значительной степени вызывается агрессивным по отношению к нему раствором хлористых солей в сочетании с замораживанием. Степень разрушения бетона зависит от вида и концентрации соли [24, с. 12]. Хлористый кальций обладает наибольшей агрессивностью по отношению к тону. Хлорид магния вызывает незначительное повреждение бетона, хотя длительное воздействие этого солевого раствора может привести к коррозии бетона. Для защиты железобетонных складов от воздействия противогололедных реагентов по РК 218-33-03 могут применяться битумно-скипидарная мастика, битумно-латексно-варочная мастика или мастика на основе эпоксидных смол [24, с. 13].

Одним из наиболее эффективных методов снижения экологических последствий применения химических реагентов является пересмотр норм расхода, а также снижение активного действия противогололедных солей.

Сезонное содержание зарубежных автомобильных дорог в зимнее время показывает, что наличие гигроскопичных солей при обработке приводит к завышению степени засоления при избыточном опрыскивании. А их присутствие на поверхности трассы сокращается за счет талой воды на обочине. В придорожной зоне повреждаются растения с повышенной чувствительностью к засолению.

Выводы по 4 разделу

1. Необходимо строго соблюдать правила техники, режим уборки снежно-ледяной массы с проезжей части: выдержка, обработка свежеснегавпавшего снега ПГМ, интервальная, очистка покрытия от снега. А также предотвратить передозировку соли.

2. При раздаче химреагентов особое значение имеет влажность снежно-ледяных образований. И от этого зависит их скорость орошения. Поэтому при профилактическом приеме во II - III дорожно-климатических зонах достаточно распределять кристаллохимические вещества из расчета 20-30 г/м², а в IV - V ,

в связи с резко континентальным климатом, эту норму не удовлетворяет критической применимости материалов, поэтому его необходимо увеличить в 1,5 раза. Полную очистку следует проводить через 3-5 часов во II - III транспортно-климатических зонах и через 2-4 часа в IV - V .

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

4. При температуре ниже $t = -10^{\circ}\text{C}$ для восточной и северной части Казахстана ($W_0 = 67-72\%$) применение эндотермических химреагентов не рекомендуется, а при использовании экзотермических химреагентов необходимо строго соблюдать технологию уборки снега [89,с. 24].

5. Превентивный метод позволяет снизить затраты, обеспечить приемлемые тяговые качества покрытий и безопасность движения в зимний период, снизить вредное воздействие солей на окружающую среду.

6. Применение аварийного метода наиболее целесообразно в ограниченных условиях эксплуатации машин, а также в местах, требующих качественной очистки поверхности: на подходах к транспортным развязкам, поворотам, спускам, на тротуарах интенсивностью более 750 футов в час, на остановках общественного транспорта и искусственных сооружениях [89,с. 24].

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

10. Для снижения негативного воздействия химических реагентов на окружающую среду рекомендуются следующие мероприятия [89,с. 25]:

- инактивация или снижение активного действия химических реагентов с помощью ионообменных смол, сорбирующих органические вещества реагентов или уменьшение их поступления через почву;
- выращивание культур, устойчивых к загрязнению и способных выводить из почвы ядовитые вещества;
- применение ингибиторов коррозии (добавки, вводимые в бетон для защиты арматуры от коррозии);
- при температуре ниже -17°C не рекомендуется использовать соли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По результатам изучения физико-механических свойств противогололедных реагентов и условий их применения на автомобильных дорогах с цементобетонным покрытием установлен характер образования гололеда на поверхности цементобетонных покрытий в зависимости от условия их увлажнения и температуры воздуха.

2. По результатам теоретических расчетов и экспериментальных испытаний обоснованы механизмы воздействия химических реагентов на разрушения силы смерзания льда над дорожным покрытием и установлены корреляционная зависимость между плотностью распределения химических реагентов и силы сцепления льда над дорожным покрытием.

3. По результатам выбора композиции противогололедных реагентов и пример расчета были установлены доли их содержания в составе противогололедного химического раствора.

4. Экспериментально установлено влияние химических реагентов на устойчивость воздействия химических противогололедных реагентов цементобетонных материалов и проведены технико-экономические сравнения полученных растворов.

Выводы

Результаты литературного обзора, анализ проведенных теоретических и экспериментальных исследований дали возможность следующие общие выводы.

1. Применение химических реагентов в большинстве странах мира, особенно в Европе, является основным методом в борьбе со скользкостью на автомобильных дорогах и городских улицах. Однако, в этих странах применение данного метода строго регламентируются технологией и нормы их распределения.

2. С точки зрения расположения атомов кислорода лед представляет собой правильный кристалл. Однако, исходя из расположения протонов, его можно отнести к неупорядоченным аморфным телам. Плотность льда составляет $\rho_{\text{л}}=0,9168 \text{ т/м}^3$, тогда как плотность воды равна $\rho_{\text{в}}=0,9998 \text{ т/м}^3$.

3. Химические реагенты обладает свойством гигроскопичности. Благодаря этой способности они имеют свойство интенсивно впитывать влагу из воздуха. Взаимодействуя со льдом, они вызывают разрушение кристаллической структуры льда. Рассыпанная на поверхности соль, адсорбирует влагу льда, образуя тонкий слой насыщенного раствора. Вследствие собственного колебательного движения, ионы соли при соприкосновении с жидкостью отделяются от кристаллов и, распределяясь в растворителе (диффузия), соединяются с молекулами воды. Образующийся при этом раствор имеет более низкую температуру замерзания, нежели вода.

4. Образование скользкости в значительной степени зависящий от температуры и влажности воздуха, теплообменного процесса, передаваемого от колес движущихся автомобилей при скольжении (торможении) и качении. На процесс образования скользкости также влияют климатические особенности,

такие, как суточный перепад температуры воздуха и физико-механические свойства самого снежно-ледяного образования.

5. Точка эвтектики насыщенных растворов NaCl составляет минус 21,2 °С, CaCl₂ – минус 51°С, MgCl₂ – минус 33,5 °С, KCl – минус 10 °С. В процессе плавления льда растворы хлоридов разбавляются, концентрация вещества в растворе падает. В связи с этим, на практике хлористый натрий рационально использовать при температуре воздуха до -10°С, хлористый кальций до -34°С, композитный гранулированный ПГМ на основе хлористого кальция и натрия - до -20°С, хлористый магний - до -15°С, хлористый калий - до -4°С.

6. Испытания выбора концентрации 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.

7. Оптимальный состав противогололедной смеси определяется при определенном шаговом подходе, методом аппроксимации при норме, зависящей от силы сдвига, $q=f(\tau)$. Оптимальный состав смеси определяется при каждом шаге к приближения его точки экстремума, например при: первом приближении $q=52,35 \text{ мл/м}^2$ соответствуют коэффициенты $a_1=0,00035$, $a_2=0,01526$, $a_3=0,116429$, $a_4=-0,22534$, $a_5=-2,734571$ и $a_6=24,50525$ при $\tau=11,85 \text{ МПа}$ и т.д., а во втором приближении, т.е. $q=55,33 \text{ мл/м}^2$ значения аппроксимационного уравнения соответствуют $a_1=-0,0007$, $a_2=-0,00321$, $a_3=-0,09625$, $a_4=-0,07897$, $a_5=-1,44025$ и значение $a_6=24,50525$ при $\tau=11,56 \text{ МПа}$. Таким образом, оптимальное значение плотности распределения соответствует в третьей смеси, где $q_3=56,56 \text{ г/м}^2$. Здесь минимальное значение силы смерзания льда над покрытием соответствует – $\tau=5,79 \text{ МПа}$ [89,с. 24].

8. На покрытии дорог, особенно в Южном регионе, часто наблюдается такой вид скользкости как снежно-ледяной накат плотностью от 0,2 до 0,85 т/м³. Появление снежно-ледяных накатов часто связано не только с технологическими недостатками, такими как несвоевременная очистка дорожного покрытия и др. На появление снежно-ледяного наката на автомобильных дорогах существенно влияет:

- во-первых, динамическая нагрузка, передаваемая колесами движущихся транспортных средств [89,с. 25]. На высокоинтенсивных дорогах, в зависимости от скорости движения, нагрузка от колес грузовых автомобилей может повторяться через каждые 1,5-6 сек. На ровном покрытии коэффициент динамической нагрузки не выходит за пределы 1,15, а на неровной проезжей части с повышением скорости этот коэффициент возрастает до 3. Поэтому с возрастанием динамической нагрузки ускоряется образование снежного наката. Если снег находится в сухом состоянии, то накатаобразование происходит очень медленно [89,с. 20]. В этом случае до накатаобразования одна снегоуборочная

машина в течение 4 часов может очистить 20-35 км дороги (шириной 7 м) от снежного вала в зависимости от его толщины;

- во-вторых, климатические факторы. Если влажность снежных осадков высокая (до 10-15%), то накопление от воздействия динамических нагрузок происходит значительно быстрее (в течение одного часа), чем при выпадении сухого снега [89,с. 21]. Поэтому, в таких случаях производительность снегоуборочных машин снижается в 3-8 раз, что не позволяет очистить дорожное покрытие от образующегося снежно-ледяного наката.

9. Технология приготовления жидких противогололедных материалов включает следующие операции:

– проверка сертификационного качества применяемых химреагентов (документально);

– проведение ситового анализа в лабораторных условиях, определение крупности материала;

– предварительное измельчение крупных частиц (диаметром более 0,315 мм) [78,с. 23]. Эта операция на предприятиях должна осуществляться с помощью дробилок, предназначенных для измельчения каменных материалов [80,с. 123];

– предварительное взвешивание подготовленного сухого реагента на весах с точностью 5%;

– размещение раствора в стационарных установках.

10. Жидкие реагенты при норме распределения $q=120$ мл/м² при $C=25$ % или $q=450$ мл/м² при $C=15$ % могут быть использованы только при профилактическом методе борьбы со скользкостью, а при аварийном методе для ликвидации снежно-ледяного наката нижний предел нормы распределения, т.е. $q=120$ мл/м², при любой концентрации не дает положительного эффекта [80,с. 123].

11. Сметная норма времени строительных машин и затрат труда машинистов и других рабочих, непосредственно обслуживающих машины, заработная плата которых включается в стоимость машино-смен, принимается в расчетах по производственным нормам с применением к ним переходных коэффициентов. В расчетах принят переходный коэффициент от производственных норм к сметным в размере 1,03. Таким образом, сметная норма времени машиниста универсального распределителя и сметная норма времени на работу машины составит: а) для дорожных рабочих: $N_{в.м}=3,29 \times 1,03 = 3,39$ чел-час; б) для компрессора: $N_{в.к}=3,78 \times 1,03 = 3,89$ маш-часа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Бабков В.Ф. Дорожные условия и организация движения. – М.: Транспорт, 1974. – 238 с.
- 2 Бабков В.Ф., Афанасьев М.Б., Васильев А.П. и др. Дорожные условия и режимы движения автомобилей. – М.: Транспорт, 1967. – 223 с.
- 3 Бялобжевский Г.В., Дюнин А.К. и др. Зимнее содержание автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1966. – 221 с.
- 4 Бяловжеский Г.В., Дербенева М.М., Мазепова В.И., Рудаков Л.М. Борьба с зимней скользкостью на автомобильных дорогах. – М.: Транспорт, 1975. – 112 с.
- 5 Р РК 218-138-2017. Рекомендации. Зимнее содержание автомобильных дорог общего пользования: утв.: и введен в действие приказом Комитета автомобильных дорог Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 26 декабря 2017 года, №178.
- 6 Васильев А.П. Метод комплексной оценки качества и состояния автомобильных дорог // Журнал «Автомобильные дороги». – М., 1989. - №7-8. – С. 8-11.
- 7 Васильев А.П. Состояние дорог и безопасность движения автомобилей в сложных погодных условиях. – М.: Транспорт, 1976. – 224 с.
- 8 Васильев А.П., Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения: учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1990. – 304 с.
- 9 аБулдаков С.И., Силуков Ю.Д., Малинковских М.Д. Содержание и ремонт автомобильных дорог. – Екб., 2017. – 200 с.
- 10 Киялбаев А.К., Телтаев Б.Б. Зимние виды скользкости и химические методы борьбы с ними: учебное пособие. – Алматы: КазАТК, 2020. – 147 с.
- 11 Самодурова Т.В. Организация борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах по данным прогноза: автореф. ... канд. техн. наук: 05.23.11. - М., 1992. – 17 с.
- 12 Немчинов М.В. Влияние движения автомобилей на образование снежного наката на покрытиях дорог зимой. Повышение качества и надежности строительства и эксплуатации автомобильных дорог. – М.: МАДИ, 1988. – С. 87-94.
- 13 Немчинов М. В. Сцепные качества дорожных покрытий и безопасность движения автомобиля. – М.: Транспорт, 1984. – 287 с.
- 14 Кунгурцев А.А. Проектирование снегозащитных мероприятий на дорогах. – М.: Автотрансиздат, 1961. – 108 с.
- 15 Карабан Г.Л., Ратинов В.Б. Борьба со снежно-ледяными образованиями на дорогах с помощью химических реагентов. – М.: Стройиздат, 1976. – 80 с.
- 16 Орнатский Н.П. Автомобильные дороги и охрана природы. – М.: Транспорт, 1982. – 176 с.
- 17 Лед и снег / под ред. У.Д. Кингери. – М.: Мир, 1996. - 480 с.

- 18 Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах. Издание официальное. – М.: Минтранс РФ, 2003. - 72 с.
- 19 Киялбаев А.К. Обоснование организации экологического мониторинга при содержании автомобильных дорог и городских улиц. спец: автореф. ... док. техн. наук. - Алматы: КазАТК, 2004. – 45 с.
- 20 Бабков В.Ф. Ландшафтное проектирование автомобильных дорог. - М.: Транспорт, 1980. – С. 45-56.
- 21 Бялобжеский Г.В., Дербенева М.М., Мазепова В.И., Рудаков Л.М. Борьба с зимней скользкостью на автомобильных дорогах. - М.: Транспорт, 1975. – 105 с.
- 22 Гибшман Е.Е. Мосты и сооружения на дорогах. - М., 1972. - 408 с.
- 23 Глухов А.Т. Защита придорожной местности от загрязнения противогололедными химическими веществами. – Саратов, 2002. - 224 с.
- 24 Жданов Л.С. Снижение влияния транспортных потоков на загрязнение атмосферы в городах: автореф. ... канд. техн. наук. - М.: МАДИ, 1984. - 31 с.
- 25 Киялбаев А.К. Проблемы экологической безопасности в сферах дорожного хозяйства // Материалы межд. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы транспортно-коммуникационного комплекса на пороге третьего тысячелетия». - Алматы: Минтранс РК, 2001. - С. 287-290.
- 26 Киялбаев А.К. Экологическая безопасность при эксплуатации автомобильных дорог и городских улиц. – Алматы: НИЦ, Гылым, 2003. - 297 с.
- 27 Баловнев В.И., Ермилов А.Б. Оценка технико-экономической эффективности дорожно-строительных машин на этапе проектирования. – М., 1984. - 102 с.
- 28 Халилова Р.Х. Влияние автомобильных дорог на экологическое состояние прилегающих сельскохозяйственных угодий: автореф. ... док. техн. наук.- М., 2001.- 41с.
- 29 Абденова Г.А. Разработка методики учета влияния легкорастворимых солей при расчете дорожных конструкций: автореф. ... канд. техн. наук: 05.23.11. – Алматы, 2003. - 37 с.
- 30 Карабан Г.Л. Машины для содержания и ремонта автомобильных дорог и аэродромов. Конструкции и основы расчета. - М.: Машиностроение, 1975. - 367 с.
- 31 Киялбаев А. Обоснование применения термически обработанных фрикционных материалов и композиций химических реагентов для борьбы с зимней скользкостью на дорожных покрытиях зимой: автореф. ... канд. техн. наук: 05.23.11. - М., 1993. – 18 с.
- 32 Бекмагамбетов М.М., Писаная Е.П., Смаркова И.Б. Концепция развития международных транспортных коридоров Республики Казахстан // Сб. тр. научн.-практ. конф. «Актуальные проблемы транспортно-коммуникационного комплекса на пороге третьего тысячелетия». – Алматы: АИЭС, 2001. - С. 257-260.
- 33 Мхитарян Н.А. Снижение воздействия физического и химического загрязнения от эксплуатации автотранспорта на окружающую среду крупных

городов (На примере г. Москвы): автореф. ... канд. техн. наук. – РУДН, 2003. – 38 с.

34 ВСН 20-87. Инструкция по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорог.- Введен 01.07.88. – М.: Транспорт, 1988. - 41с.

35 ВСН 24-88.Технические правила ремонта и содержания автомобильных дорог. Введен 01.01.89.- М.: Транспорт, 1988. – 198 с.

36 ВСН 46-83. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа.- Введен 01.01.84. - М.: Транспорт, 1985.- 157 с.

37 Гусев Л.М. Борьба со скользкостью дорог.- М.: Стройиздат, 1964.-102 с.

38 Руководство по краткосрочным прогнозам. - Алматы: Гидрометеоиздат, 1986. – 102 с.

39 Сильянов В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог. - М.: Транспорт, 1984. – 287 с.

40 Орнатский Н.П. Автомобильные дороги и охрана природы. - М.: Транспорт, 1982. - 176 с.

41 Телтаев Б.Б. Метод диаграмм плавкости для определения водно-солевого режима грунтовых оснований инженерных сооружений. Современные проблемы управления процессами перевозок на ж.д. транспорте. – Алматы: КазАТК, 1999.- С. 144-150.

42 Орнатский Н.П. Охрана окружающей среды при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог. Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов. - М., 1980. – Т. 8. – 128 с.

43 Карабан Л.Г., Лифшиц Б.А., Ратинов В.Б. Комплексная технология снегоочистки городских дорог. - М.: Стройиздат, 1990. – 156 с.

44 Бируля А.К. Конструирование и расчет нежестких одежд автомобильных дорог. - М.: Транспорт, 1964. - 167 с.

45 Литвинов А.М. Теоретические основы теплотехники. - М.: Энергия, 1964. - 367 с.

46 Михайлов А.В., Коцюбинская Т.А. Строительная теплотехника дорожных одежд. - М.: Транспорт, 1986. – 124 с.

47 Маэно Н. Наука о льде / пер. с японского А.И. Леонова; под ред. д.ф.-м.н. В.Ф. Петренко. - М.: Мир, 1988. – 231 с.

48 Александровская З.И., Долганин Б.М., Зайкина Е.Ф., Медведев Я.В. Содержание городских улиц и дорог. - М.: Стройиздат, 1989. - С. 23-45.

49 Строительство автомобильных дорог: учебное пособие / под ред. В.К. Некрасова. - М.: Транспорт, 1980. - Т.1. - С. 89-90.

50 Строительство автомобильных дорог: учебное пособие / под ред. В.К. Некрасова. - М.: Транспорт, 1980. – Т.2. - С. 12-14.

51 Телтаев Б.Б., Киялбаев А.К., Еркибаева А.С. Учет влияния климата на действие химических реагентов, применяемых в борьбе со скользкостью // Вестник КазАТК. – Алматы, 2003.- №5. - С. 61-65.

52 Лыков А.В. Теория теплопроводности. - М.: Высшая школа, 1967. - 599 с.

53 Самуэль К. Голбек. Уплотнение мокрого снега на автомобильных

дорогах // Материалы 2-го межд. симп. «Борьба со снегом и гололедом на транспорте» / под. ред. д.т.н., проф. А.П. Васильева. - М.: Транспорт, 1986. – С. 25-29.

54 Раймонд Н. Йонг. Механика снега: взаимодействие машины и снега // Материалы 2-го Междунар. симпозиума «Борьба со снегом и гололедом на транспорте» / под. редакцией д.т.н., проф. А.П. Васильева. – М.: Транспорт, 1986. – С. 20-25.

55 Ремонт и содержание автомобильных дорог: справочник инженера-дорожника / под ред. проф. А.П. Васильева.- М.: Транспорт, 1989. – 287 с.

56 Александровская З.И., Долганин Б.М., Зайкина Е.Ф., Медведев Я.В. Содержание городских улиц и дорог: справочник. – М.: Стройиздат, 1989. – 208 с.

57 Бялобжеский Г.В., Иванов А.Н., Шалман Д.А. Очистка автомобильных дорог от снега. – М.: Транспорт, 1972. – 104 с.

58 Пат. 4588512 США. Noncorrosive de-icing composition and methode comprising / Pipil W. Calziumandcarboxylate. USA.

59 Rosenberg A.M., Gaidis J.M., Kossivas T.G., Previte R.W.A. Corrosion Inhibitor Formulated with Calcium Nitrite for Use in Reinforced Concrete // ASTM STR. –1977. - №629. – P. 89-99.

60 Телтаев Б.Б., Киялбаев А.К., Еркибаева А.С. Применение химических реагентов при определении нормы расхода химических реагентов в борьбе со скользкостью на автомобильных дорогах // Межд. науч.-техн. конф. «Теоретические и экспериментальные исследования строительных конструкций». – Алматы: КазГАСА, 2004. - Ч. 2, вып. 8. – С. 45-51.

61 Телтаев Б.Б., Киялбаев А.К., Еркибаева А.С. Проблемы использования противогололедных химических реагентов в зонах с резко континентальным климатом // Межд. науч.-техн. конф. «Экология и ресурсосбережение в дорожно-транспортном комплексе»: сборник научных статей. – Минск: РУП «БелДорНИИ», 2000. - Вып 16. - С. 118-125.

62 Карабан Г.Л., Борисюк Н.В. Современная технология содержания дорог. - М.: МАДИ, 1988. - 92 с.

63 Карабан Г.Л., Лифшиц Б.А., Ратинов В.Б. Комплексная технология снегоочистки городских дорог. - М.: Стройиздат, 1990. - 156 с.

64 Карабан Г.Л., Ратинов В. Б. Борьба со снежно-ледяными образованиями на дорогах с помощью химических реагентов. - М.: Стройиздат, 1976. - 80 с.

65 Немчинов М.В. Влияние движения автомобилей на образование снежного наката на покрытиях дорог зимой. Повышение качества и надежности строительства и эксплуатации автомобильных дорог. - М.: МАДИ, 1988. – С. 87-94.

66 ОДН 218.2.027-2003 Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах. Издание официальное. – М.: Минтранс РФ, 2003. - 20 с.

67 Лефельд Л.Г., Бартц Х., Матц П., Нойман Г. и др. Зимнее содержание дороги / пер. с нем. Сардарова. - М.: Транспорт, 1977. – 57 с.

68 Талгатбекова К.А., Киялбаев А.К., Сайлаубекова Н.С., Токкулов С.Т.,

Тобашев М.Ш., Еркибаева А.С., Джакешев К.С., Копжасарова Р.С., Досбаева Р.Ж. Р РК-218-32-03. Методические рекомендации по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах Казахстана с применением химических реагентов и мероприятия по защите окружающей среды. – Алматы: Комитет автомобильных дорог и инфраструктурного комплекса Минтранском РК, 2004. - 151 с.

69 Киялбаев А.К., Еркибаева А.С. Техничко-экономическое обоснование выбора химических реагентов в зонах с резко континентальным климатом //Межд. науч.-практ. конф., посвященная 45-летию Казахстанской дорожной науки. - Алматы: КазДорНИИ, 2004. - С. 123-131.

70 Самолыга Т.С., Шаройкина Е.А. Влияние химических реагентов на окружающую среду и совершенствование экологических требований при зимнем содержании автомобильных дорог // Межд. науч.-техн. конф. «Экология и ресурсосбережение в дорожно-транспортном комплексе»: сб. научных статей.– Минск: РУП «БелДорНИИ», 2000. - Вып 16. - С. 95-99.

71 Михаэль М. Касинскас. Применение рассолов для борьбы с гололедом //Материалы 2-го межд. симп. «Борьба со снегом и гололедом на транспорте» /под. ред. д.т.н., проф. А.П. Васильева. - М.: Транспорт, 1986. – С. 193-198.

72 Ларримор Д.Р., Моснер Е.Х., Никсон Дж.Г. Усиление оттаивания льда каменными солями путем предварительного увлажнения хлористым кальцием //Материалы 2-го межд. симп. «Борьба со снегом и гололедом на транспорте» /под. ред. д.т.н., проф. А.П. Васильева. - М.: Транспорт, 1986. – С. 199-205.

73 American Concrete Inst. of Mannal Concrete Practice. - Detroit, 1982. - Vol. 31, part 1. – 212 p.

74 Evans U.R The Corrosion and Oxidation of Metals: Scientific Pranci-Pb and Practical Applications. - London: Edward Arnold Ltd, 1960. – 120 p.

75 Джеймс Г., Хэвенс В., Вернон Адзеведо, Ассаф С., Рахаль Роберт, Дин С. Борьба со снегом и гололедом на транспорте // Материалы 2-го межд. симп. / под. ред. д.т.н., проф. А.П. Васильева. - М.: Транспорт, 1986. – С. 98-99.

76 Канди Вик А., Нидал Джон Е., Кинрик М. Геотермальный обогрев проезжей части мостов // Материалы 2-го межд. симп. «Борьба со снегом и гололедом на транспорте» / под. ред. д.т.н., проф. А.П. Васильева. - М.: Транспорт, 1986. – С. 199-205.

77 Моут Т.В., Саундерс Р.Л. Отделение льда от поверхностей с помощью света высокой интенсивности // Материалы 2-го межд. симп.. «Борьба со снегом и гололедом на транспорте» / под. ред. д.т.н., проф. А.П. Васильева. - М.: Транспорт, 1986. – С. 205-206.

78 Р РК 218-46-2005 Рекомендации по применению добавки «Антилед» к асфальтобетонным смесям для устройства покрытий автодорог с антигололедными свойствами / Асматуллаев Б.А., Алипов У.Т., Бессонов Д.В., Сарсембаева А.С. - Алматы, 2005. - 21 с.

79 Киялбаев А.К., Еркибаева А.С. Технологические особенности применения химических реагентов для борьбы со скользкостью на автомобильных дорогах при аварийном методе распределения // Новости науки

Казахстана. – Алматы: КазГосИНТИ, 2004.- №3. - С. 114-120.

80 Еркибаева А.С. Применение химических реагентов в борьбе со скользкостью на автомобильных дорогах при аварийном методе распределения //Международная научно-техническая конференция, посвященная 100-летию железной дороги Казахстана и 125-летию со дня рождения М. Тынышпаева.– Алматы: КазАТК, 2004. – Т. 3. - С. 123-126.

81 Еркибаева А.С. Влияние теплового эффекта на расплавление снежно-ледяного образования при помощи химических реагентов // Вестник КаздорНИИ. – Алматы, 2004. - №1.- С. 34-36.

82 Сарсембаева А.С. Определение плотности распределения химических реагентов при борьбе со скользкостью на автомобильных дорогах //Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы автомобильных дорог». – Алматы: КазАТК, 2005. - С. 143-146.

83 Сарсембаева А.С. Технология работ по ликвидации зимней скользкости с применением химических реагентов // Вестник КазАТК. - Алматы, 2005. - №3. - С. 12-16.

84 Сарсембаева А.С. «Исследование эффективности применения противогололедных химических реагентов и их смесей экспериментальным методом» // Вестник КазАТК. - Алматы, 2005.- №5(36). - С. 37-41.

85 Данн и Рой У. Шенк. Противогололедные химикаты, которые можно применять вместо хлористых солей на автомобильных дорогах // Материалы 2-го межд. симп. «Борьба со снегом и гололедом на транспорте» / под. ред. д.т.н., проф. А.П. Васильева. - М.: Транспорт, 1986. – С. 205-206.

86 Шамшин Д.Л. Физическая и коллоидная химия. - М.: Высшая школа, 1968.- 280 с.

87 Древинг В.П. Правило фаз. - М.: МГУ, 1954. - 175 с.

88 Гриневич С.В., Лысенко В.Е., Каменецкий Л.В. Новая антигололедная добавка "Грикол" к асфальтобетонным смесям // Об-ние НПО.- Росдорнии, 1994. - №7. - С. 93-98.

89 Гороу Вакахама и Йикико Мицуно. Испытание прочности мокрого снега на разрыв // Материалы 2-го межд. симп.. «Борьба со снегом и гололедом на транспорте» / под. ред. д.т.н., проф. А.П. Васильева. - М.: Транспорт, 1986. – С. 29-33.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Климатические характеристики района исследования

Таблица А.1 - Средняя продолжительность температуры воздуха различных градаций, ч

Температура воздуха, °С	Актобе	Алматы	Аральск	Атбасар	Атырау	Зайсан	Иртышск	Қарағанды	Қарсақпай	Қостанай	Петропавловск	Тургай	Туркестан	Уил	Уральск	Уч-Арал
1,9...0	482	482	438	403	508	272	421	386	342	429	421	412	456	473	465	412
-0,1...-2	447	492	421	429	508	298	368	421	421	398	333	351	325	359	386	368
-2,1...-4	429	394	333	334	395	297	324	412	386	368	333	298	237	333	333	342
-4,1...-6	359	324	298	342	324	289	298	368	368	324	307	272	184	289	289	316
-6,1...-8	316	280	263	307	246	324	289	359	334	324	307	272	140	246	228	254
-8,1...-10	280	210	219	245	228	307	272	316	334	289	316	272	114	254	272	263
-10,1...-12	237	193	219	298	219	259	316	316	272	298	289	254	96	219	237	219
-12,1...-14	245	140	210	263	140	324	263	289	254	280	289	237	79	202	228	184
-14,1...-16	219	123	193	263	131	272	280	280	280	263	254	245	61	166	166	149
-16,1...-18	210	61	175	254	114	245	254	245	228	254	219	228	44	149	149	140
-18,1...-20	175	44	123	237	88	219	210	193	254	210	193	193	26	130	140	96
-20,1...-22	166	26	123	219	44	201	193	158	175	175	140	158	26	96	105	70

Таблица А.2 – Суммарная (прямая и рассеянная) солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности, МДж/м²

Города в РК	Месяцы						
	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
Астана	211	126	94	134	234	408	496
Айдарлы	339	209	146	214	297	423	557
Алматы	321	187	136	176	239	354	484
Аральск	337	182	132	182	285	446	614
Балхаш	322	193	142	193	289	465	599
Жаныбек	238	115	80	123	212	358	486
Жезказган	287	172	132	176	266	419	540
Костанай	209	109	75	113	201	385	482
Рудный	205	105	75	105	193	381	461
Семей	245	143	107	142	230	418	536
Уральск	209	100	84	113	209	394	477
Актау	310	175	109	138	218	374	538

Таблица А.3 – Распределение продолжительности (дни) залегания снежного покрова

Город в РК	Астана	Алматы	Кустанай	Караганды	Семей	Усть-Каменогорск
Количество дней залегания снежного покрова	151	102	157	146	162	163

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Классификация и характеристики противогололедных солей

Таблица Б.1 - Виды и нормы противогололедных материалов

Наименование ПГМ	Соответствующий номер ТУ на ПГМ	Рыхлый снег и накат, 1°С						Стекловидный лед, 1°С		
		-2	-4	-8	-12	-16	-20	-2	-4	-8
Твердые, г/м'										
Хлориды										
] Технический хлористый натрий карьерный	ТУ 2 152-067-00209 527-95	10	20	30	50	60		45	90	160
2. ПГМ на основе хлористого натрия	ТУ 2 152-082-002 09527-99	10	15	30	45	55	-	40	80	145
3. Биомаг	ТУ 21 52-001-53561075-02	15	30	50	60	70	80	80	140	240
4. ХКФ	ТУ 2 152-0576 1643-2000	10	20	30	40	50	60	40	85	150
Карбамиды										
5. КАС	ТУ 2 149-00 1-40 18052-97	20	25	60	-	-	-	50	115	-
Нитраты										
6. АНС (НКМ)	ТУ 6-03-349-73	20	25	50	75	•	"	65	130	-
7. НКММ	ТУ 2 149-05 1-05 761643-98	10	20	40	65	"	"	45	95	200
Жидкие, мл/м'										
Хлориды										
8. ХКМ	ТУ 2 149-026-13164401-98	20	40	65	80	95	110	-	-	-
9. Биомаг	ТУ 2152-001-53561075-02	20	50	70	90	100	115	-	-	-
Ацетаты										
10. Антиснег-1	ТУ 2 149-009-93988694-07	10	20	30	50	60	80	-	-	-
11 Нордвей	ТУ 2 149-002-99874358-10	5	10	15	25	30	40	-	-	-

Таблица Б.2 – Характеристики противогололедных химических материалов

Наименование ПГМ	Соответствующий номер ТУ на ПГМ	Характеристики противогололедных химических материалов	Производство (Страна, область)	Примечание
1	2	3	4	5
Хлористый натрий (соль поваренная техническая)	ТУ 2 152-067-00209 527-95	Зерновая соль с размером зерен до 40 мм и молотой соли №3 (не менее 85% зерен мельче 4,5 мм)	На предприятиях Кызылординской и Павлодарской областях	Для предотвращения слеживаемости рекомендуется вводить добавку хлористого кальция в количестве 10-12 % от массы смеси
Магний хлористый (бишофит)	ТУ 2152-001-53561075-02 ГОСТ 4209-77	Кристаллы соли в форме тонких (1-2 мм) пластинок, площадью от 0,5 до 5 см ² , светло серого цвета		Очень гигроскопичен выпускается в полиэтиленовых мешках
Кальций хлористый технический	ТУ 6-09-4711-81	В виде гранул, чешуек (пластинки размером до 15 мм толщиной 1 мм) и порошка	ОАО «Химический завод им. Карпова» Россия	Очень гигроскопичен выпускается в полиэтиленовых мешках (чешуированный) и барабанах (порошкообразный)
Хлористый кальций фосфатированный (ХКФ)	ТУ 2 152-0576 1643-2000	Чешуированный с добавкой 4-6 % по массе фосфатов в качестве ингибиторов коррозии	ОАО «Химический завод им. Карпова» Россия	Очень гигроскопичен, расплывается
Природная поваренная соль «Гранатка»		Кристаллы размером 2,0-2,5 мм, загрязненные илстыми отложениями	Озера Павлодарской области	Наличие илстой «рубашки» на поверхности зерен снижает слеживаемость при хранении
Некондиционная поваренная соль		Кристаллы размером 2,0-2,5 мм	Комбинат «Аралсоль» Кызылординская область	
Природные рассолы		Наличие хлора, магния и кальция не менее 150г/дм ³	Пластовые воды Эмбинского и Мангистауского нефтеносных залежей и озера Балхаш, Арал и др.	

Продолжение таблицы Б.2

1	2	3	4	5
Хлоркалий электролит отработанный	ТУ 118 РК 155-93	Порошок серого цвета с размером зерен менее 5 мм	Твердый отход Усть-Каменогорского титано-магниевого комбината	Предназначен для борьбы с гололедом на а/д I-IV категорий за пределами населенных пунктов.
Раствор хлористого кальция		Раствор 180-250 г/дм ³ хлористого кальция и до 10 г/дм ³ примесей сульфатов	Жидкий отход Усть-Каменогорского титано-магниевого комбината	
Бишофит	ТУ 2152-001-53561075-02	Природный рассол хлористого магния	ЗАО «Бишофит-Авангард» г. Волгоград, г. Попов, Россия	При рациональном использовании является удобрением для зеленых насаждений

ПРИЛОЖЕНИЕ В

В.1. Функции зависимости температуры от количественного соотношения двухкомпонентных систем

Температура точки эвтектики двухкомпонентной системы « $\text{MgCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ » $t_3 = -33,6$ °С.
Концентрация точки эвтектики системы $C = 20,6$ %

Составлены следующие функции зависимости температуры от количественного соотношения (концентрации) системы:

Функция $Y_1 = -0,0798x^2 + 0,0127x$ для кривой ab

Величина достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9985$

Функция $Y_2 = -0,2274x^2 + 4,3497x - 37,55$ для участка bc

Величина достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9679$

Функция $Y_3 = 8,215x - 27,645$ для участка cd

Величина достоверности аппроксимации $R^2 = 1$

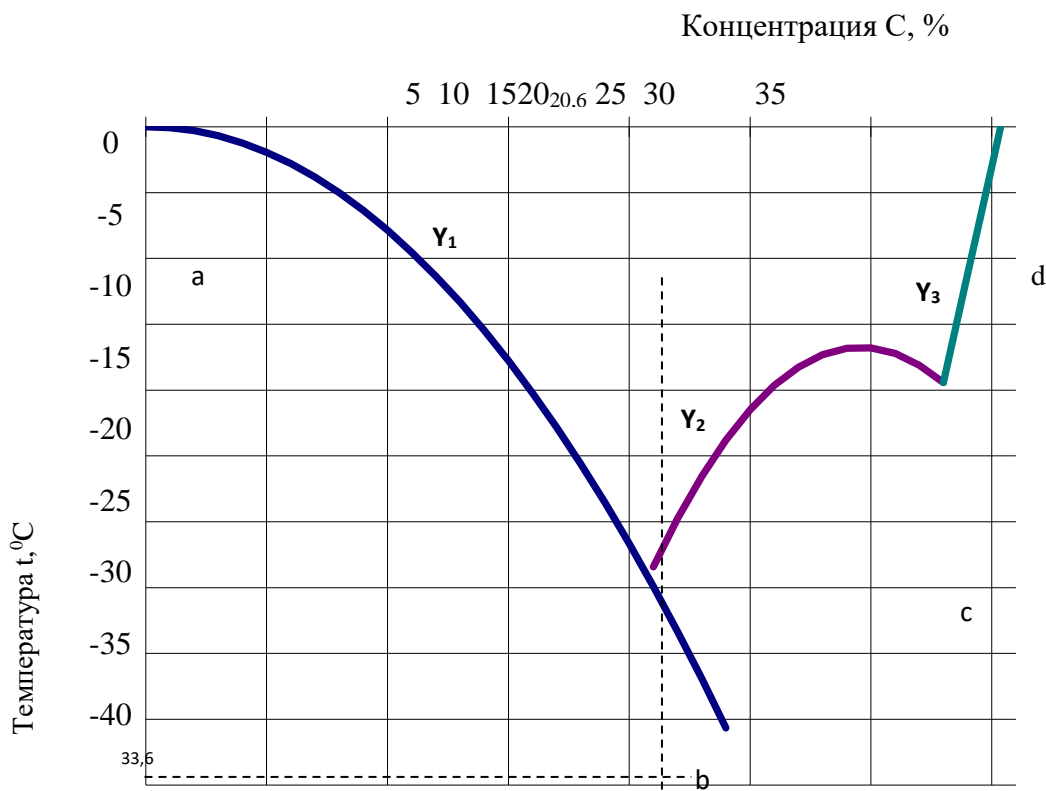


Рисунок В.1 - Диаграмма плавкости двухкомпонентной системы « $\text{MgCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ »

В.2. Двухкомпонентная система «Антиснег-1- H_2O »

Температура точки эвтектики двухкомпонентной системы «Антиснег-1- H_2O » $t_3 = -44,9$ °С.

Концентрация точки эвтектики системы $C = 29,6$ %

Функции зависимости температуры от количественного соотношения (концентрации) системы:

Функция $Y_1 = -0,0413x^2 + 0,2416x$ для кривой ab

Величина достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9861$

Функция $Y_2 = -0,157x^2 + 6,0451x - 49,928$ для кривой bc

Величина достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9971$

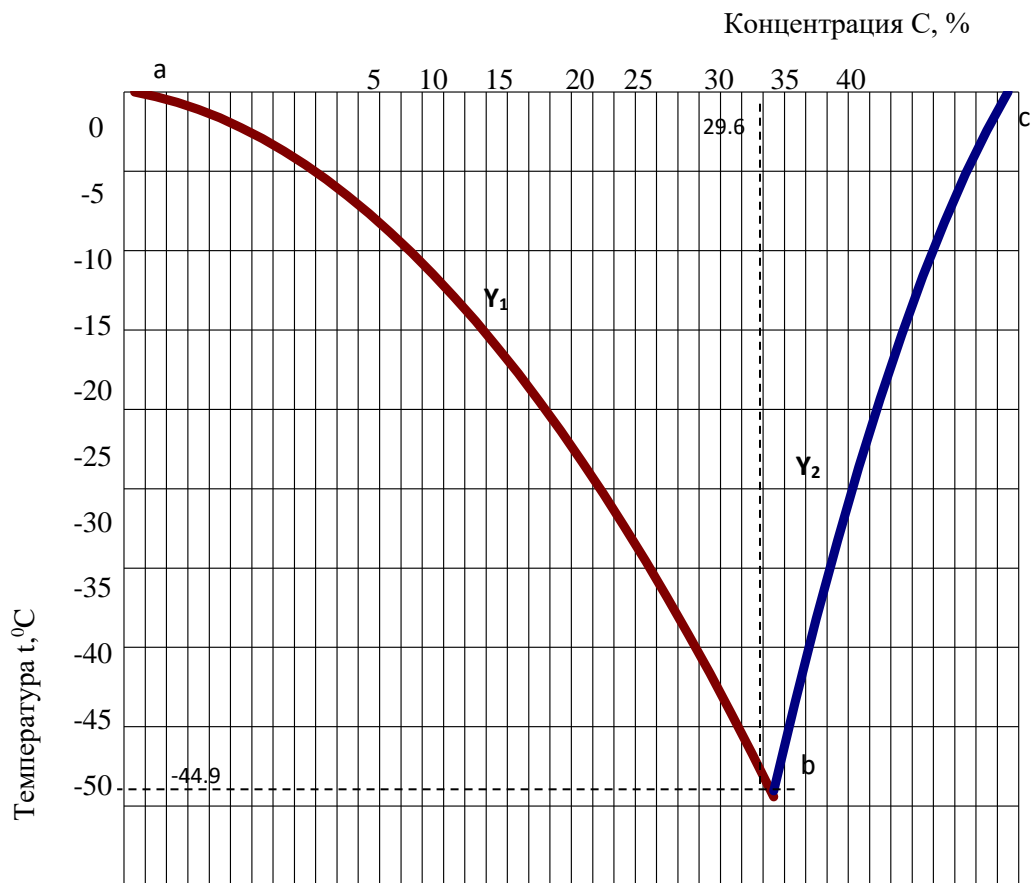


Рисунок В.2 - Диаграмма плавкости двухкомпонентной системы «Антиснег-1-1-Н₂О»

В.3. Двухкомпонентная система «Нордвей-Н₂О»

Температура точки эвтектики двухкомпонентной системы «Нордвей - Н₂О» $t_3 = -59,8$ °С.
 Концентрация точки эвтектики $C = 50,1$ %

Функция $Y_1 = -0,016x^2 - 0,385x + 0,01$ для кривой ab . Величина достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9987$

Функция $Y_2 = -0,016x^2 + 2,172x - 61,956$ для кривой bc Величина достоверности аппроксимации $R^2 = 1$

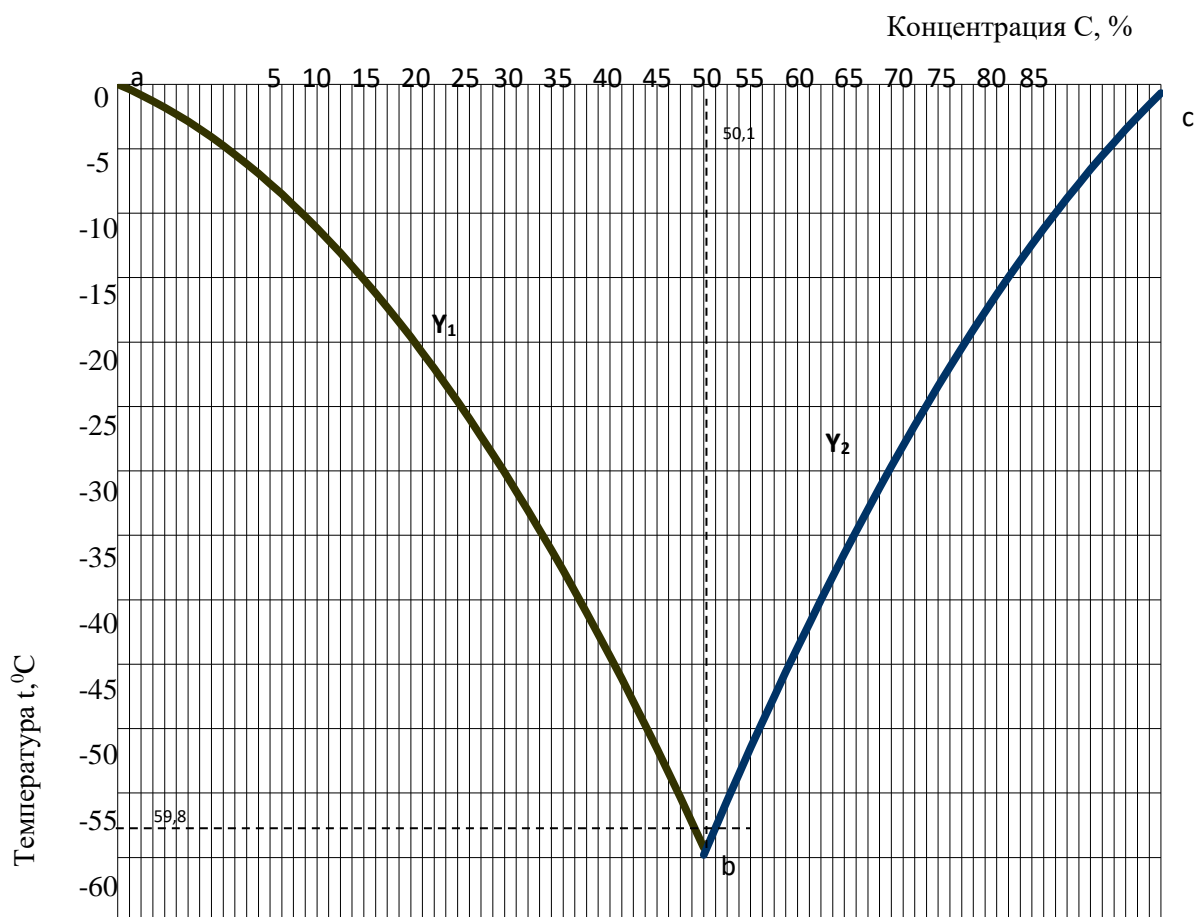


Рисунок В.3- Диаграмма плавкости двухкомпонентной системы «Нордвей-Н₂О»

В.4. Диаграмма плавкости двухкомпонентной системы «CaCl₂-H₂O»

Температура точки эвтектики двухкомпонентной системы «CaCl₂-H₂O» $t_3 = -49,8$ °C.
 Концентрация точки эвтектики $C = 30,5$ %

Функция $Y_1 = -0,001x^3 - 0,012x^2 - 0,2098x - 0,1969$ для кривой ab

Величина достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9929$

Функция $Y_2 = -0,1333x^2 - 7x - 56,667$ для кривой bc Величина достоверности аппроксимации $R^2 = 1$

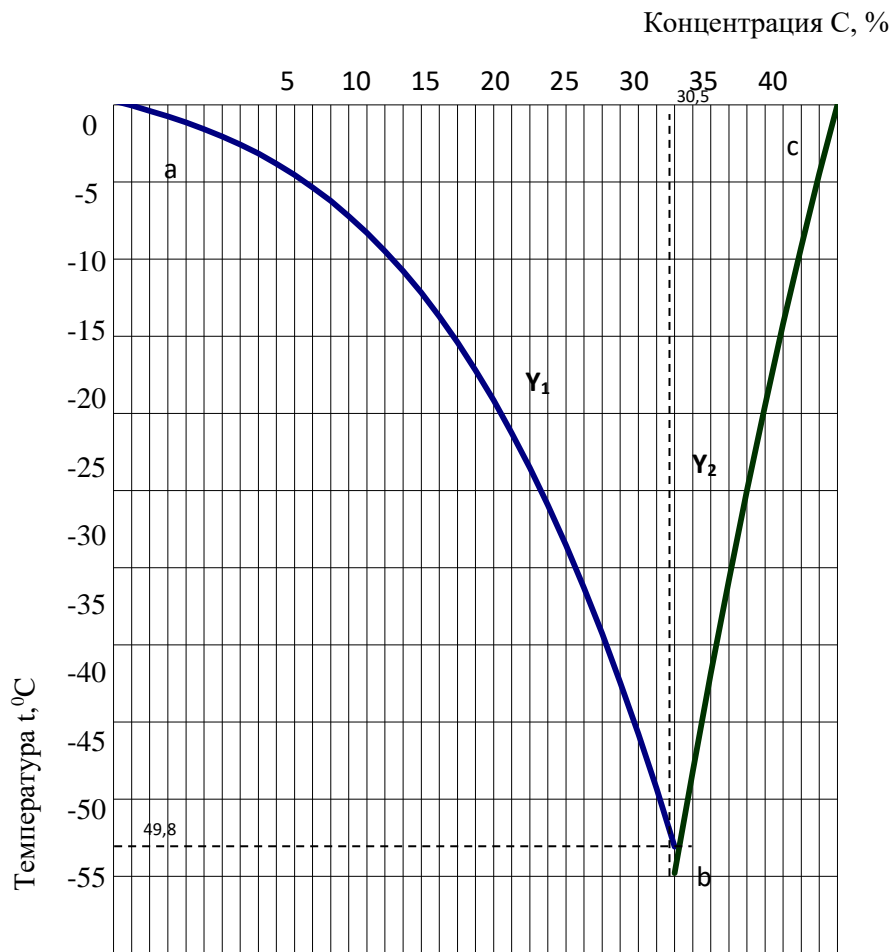


Рисунок В.4 – Диаграмма плавкости двухкомпонентной системы «CaCl₂-H₂O»

В.5. Диаграмма плавкости двухкомпонентной системы «NaCl-H₂O»

Температура точки эвтектики двухкомпонентной системы «NaCl-H₂O» $t_3 = -21,2$ °C.
 Концентрация точки эвтектики $C = 23,3$ %

Функция $Y_1 = -0,0251x^2 - 0,3501x - 0,0242$ для кривой *ab*. Величина достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9996$

Функция $Y_2 = -1,7292x^2 - 15,712x - 35,183$ для кривой *bc*. Величина достоверности аппроксимации $R^2 = 1$

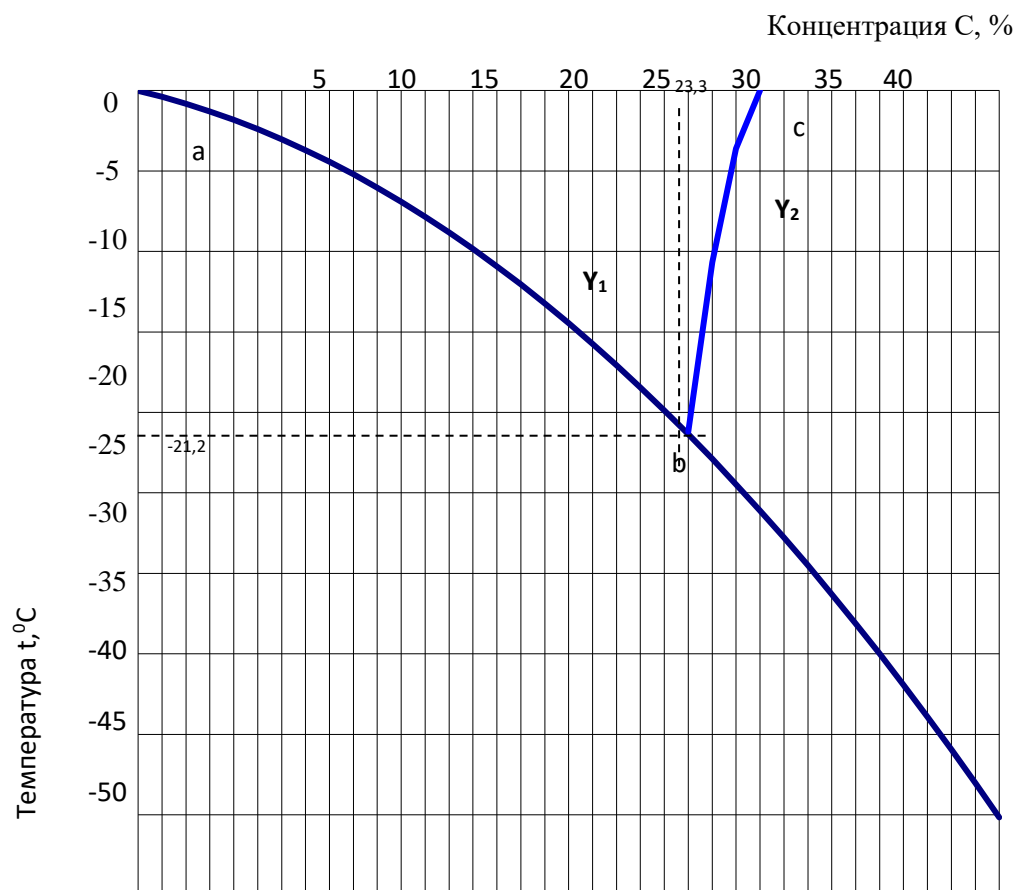


Рисунок В.5 - Диаграмма плавкости двухкомпонентной системы «NaCl-H₂O»

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Г.1. Расчет норм расхода противогололедных химических материалов (NaCl, CaCl₂, MgCl₂, Антиснег-1, Нордвей) при расплавлении 20% от общей массы системы

Таблица Г.1 – Определение нормы расхода химического материала NaCl при температуре (-2 °С), %

Плотность снежных отложений кг/м ³ при температуре -2	Толщина снежных отложений, м	Масса снежно-ледяного образования, г	Концентрация полного плавления NaCl, C ₁ (%)	Расход хим. реагента, для 100% плавления г/м ²	Расход хим. реаг для 20 % плавления, % в системе	Расход хим. реаг для плавления 20 %, грамм	Количество кристаллов льда в системе, грамм	Расплав в системе, грамм	Вода в расплаве, грамм	Хим реаг в расплаве, грамм
550	0,001	550	4,18	23,99	0,836	4,8	459,2	114,8	110	4,8
550	0,002	1100	4,18	47,99	0,836	9,6	918,4	229,6	220	9,6
550	0,005	2750	4,18	119,96	0,836	24,0	2296,0	574,0	550	24,0
550	0,007	3850	4,18	167,95	0,836	33,6	3214,4	803,6	770	33,6
550	0,01	5500	4,18	239,93	0,836	48,0	4591,9	1148,0	1100	48,0
550	0,02	11000	4,18	479,86	0,836	96,0	9183,9	2296,0	2200	96,0
550	0,03	16500	4,18	719,79	0,836	144,0	13775,8	3444,0	3300	144,0
800	0,001	800	4,18	34,90	0,836	7,0	667,9	167,0	160	7,0
800	0,002	1600	4,18	69,80	0,836	14,0	1335,8	334,0	320	14,0
800	0,005	4000	4,18	174,49	0,836	34,9	3339,6	834,9	800	34,9
800	0,007	5600	4,18	244,29	0,836	48,9	4675,4	1168,9	1120	48,9
800	0,01	8000	4,18	348,99	0,836	69,8	6679,2	1669,8	1600	69,8
800	0,02	16000	4,18	697,98	0,836	139,6	13358,4	3339,6	3200	139,6
800	0,03	24000	4,18	1046,96	0,836	209,4	20037,6	5009,4	4800	209,4
900	0,001	900	4,18	39,26	0,836	7,9	751,4	187,9	180	7,9
900	0,002	1800	4,18	78,52	0,836	15,7	1502,8	375,7	360	15,7
900	0,005	4500	4,18	196,31	0,836	39,3	3757,0	939,3	900	39,3
900	0,007	6300	4,18	274,83	0,836	55,0	5259,9	1315,0	1260	55,0
900	0,01	9000	4,18	392,61	0,836	78,5	7514,1	1878,5	1800	78,5
900	0,02	18000	4,18	785,22	0,836	157,0	15028,2	3757,0	3600	157,0
900	0,03	27000	4,18	1177,83	0,836	235,6	22542,3	5635,6	5400	235,6

Таблица Г.2 – Определение нормы расхода химического материала CaCl₂ при температуре (-2 °С), %

Плотность снежных отложений кг/м ³ при температуре -2 ⁰ С	Толщина снежных отложений, м	Масса снежно-ледяного образования, грамм	Концентрация полного плавления CaCl ₂ , С' ₁ (%)	Расход хим. реагента, для 100% плавления г/м ²	Расход хим. реаг для 20 % плавления, % в системе	Расход хим. реаг для плавления 20 %, грамм	Количество кристаллов льда в системе, грамм	Расплав в системе, грамм	Вода в расплаве, грамм	Хим реаг в расплаве, грамм
550	0,001	550	5,9	34,48	3,54	20,7	233,8	350,7	330	20,7
550	0,002	1100	5,9	68,97	3,54	41,4	467,6	701,4	660	41,4
550	0,005	2750	5,9	172,42	3,54	103,5	1169,0	1753,5	1650	103,5
550	0,007	3850	5,9	241,39	3,54	144,8	1636,6	2454,8	2310	144,8
550	0,01	5500	5,9	344,85	3,54	206,9	2337,9	3506,9	3300	206,9
550	0,02	11000	5,9	689,69	3,54	413,8	4675,9	7013,8	6600	413,8
550	0,03	16500	5,9	1034,54	3,54	620,7	7013,8	10520,7	9900	620,7
800	0,001	800	5,9	50,16	3,54	30,1	340,1	510,1	480	30,1
800	0,002	1600	5,9	100,32	3,54	60,2	680,1	1020,2	960	60,2
800	0,005	4000	5,9	250,80	3,54	150,5	1700,3	2550,5	2400	150,5
800	0,007	5600	5,9	351,12	3,54	210,7	2380,4	3570,7	3360	210,7
800	0,01	8000	5,9	501,59	3,54	301,0	3400,6	5101,0	4800	301,0
800	0,02	16000	5,9	1003,19	3,54	601,9	6801,3	10201,9	9600	601,9
800	0,03	24000	5,9	1504,78	3,54	902,9	10201,9	15302,9	14400	902,9
900	0,001	900	5,9	56,43	3,54	33,9	382,6	573,9	540	33,9
900	0,002	1800	5,9	112,86	3,54	67,7	765,1	1147,7	1080	67,7
900	0,005	4500	5,9	282,15	3,54	169,3	1912,9	2869,3	2700	169,3
900	0,007	6300	5,9	395,01	3,54	237,0	2678,0	4017,0	3780	237,0
900	0,01	9000	5,9	564,29	3,54	338,6	3825,7	5738,6	5400	338,6
900	0,02	18000	5,9	1128,59	3,54	677,2	7651,4	11477,2	10800	677,2
900	0,03	27000	5,9	1692,88	3,54	1015,7	11477,2	17215,7	16200	1015,7

Таблица Г.3 – Определение нормы расхода химического материала $MgCl_2$ при температуре (-2 °C), %

Плотность снежных отложений кг/м ³ при температуре -2 °C	Толщина снежных отложений, м	Масса снежно-ледяного образования, грамм	Концентрация полного плавления $MgCl_2$, C'1(%)	Расход хим. реагента, для 100% плавления г/м ²	Расход хим. реаг для 20 % плавления, % в системе	Расход хим. реаг для 20 %, грамм	Количество кристаллов льда в системе, грамм	Расплав в системе, грамм	Вода в расплаве, грамм	Хим реаг в расплаве, грамм
550	0,001	550	5,1	29,56	3,06	17,7	231,8	347,7	330	17,7
550	0,002	1100	5,1	59,11	3,06	35,5	463,6	695,5	660	35,5
550	0,005	2750	5,1	147,79	3,06	88,7	1159,1	1738,7	1650	88,7
550	0,007	3850	5,1	206,90	3,06	124,1	1622,8	2434,1	2310	124,1
550	0,01	5500	5,1	295,57	3,06	177,3	2318,2	3477,3	3300	177,3
550	0,02	11000	5,1	591,15	3,06	354,7	4636,5	6954,7	6600	354,7
550	0,03	16500	5,1	886,72	3,06	532,0	6954,7	10432,0	9900	532,0
800	0,001	800	5,1	42,99	3,06	25,8	337,2	505,8	480	25,8
800	0,002	1600	5,1	85,99	3,06	51,6	674,4	1011,6	960	51,6
800	0,005	4000	5,1	214,96	3,06	129,0	1686,0	2529,0	2400	129,0
800	0,007	5600	5,1	300,95	3,06	180,6	2360,4	3540,6	3360	180,6
800	0,01	8000	5,1	429,93	3,06	258,0	3372,0	5058,0	4800	258,0
800	0,02	16000	5,1	859,85	3,06	515,9	6743,9	10115,9	9600	515,9
800	0,03	24000	5,1	1289,78	3,06	773,9	10115,9	15173,9	14400	773,9
900	0,001	900	5,1	48,37	3,06	29,0	379,3	569,0	540	29,0
900	0,002	1800	5,1	96,73	3,06	58,0	758,7	1138,0	1080	58,0
900	0,005	4500	5,1	241,83	3,06	145,1	1896,7	2845,1	2700	145,1
900	0,007	6300	5,1	338,57	3,06	203,1	2655,4	3983,1	3780	203,1
900	0,01	9000	5,1	483,67	3,06	290,2	3793,5	5690,2	5400	290,2
900	0,02	18000	5,1	967,33	3,06	580,4	7586,9	11380,4	10800	580,4
900	0,03	27000	5,1	1451,00	3,06	870,6	11380,4	17070,6	16200	870,6

Таблица Г.4 – Определение нормы расхода химического материала Антиснег-1 при температуре (-2 °С), %

Плотность снежных отложений кг/м ³ при температуре -2 °С	Толщина снежных отложений, м	Масса снежно-ледяного образования, грамм	Концентрация полного плавления Антиснег-1, С'1(%)	Расход хим. реагента, для 100% плавления г/м ²	Расход хим. реаг для 20 % плавления, % в системе	Расход хим. реаг для плавления 20 %, грамм	Количество кристаллов льда в системе, грамм	Расплав в системе, грамм	Вода в расплаве, грамм	Хим реаг в расплаве, грамм
550	0,001	550	4,67	26,94	0,934	5,4	461,6	115,4	110	5,4
550	0,002	1100	4,67	53,89	0,934	10,8	923,1	230,8	220	10,8
550	0,005	2750	4,67	134,72	0,934	26,9	2307,8	576,9	550	26,9
550	0,007	3850	4,67	188,60	0,934	37,7	3230,9	807,7	770	37,7
550	0,01	5500	4,67	269,43	0,934	53,9	4615,5	1153,9	1100	53,9
550	0,02	11000	4,67	538,86	0,934	107,8	9231,1	2307,8	2200	107,8
550	0,03	16500	4,67	808,30	0,934	161,7	13846,6	3461,7	3300	161,7
800	0,001	800	4,67	39,19	0,934	7,8	671,4	167,8	160	7,8
800	0,002	1600	4,67	78,38	0,934	15,7	1342,7	335,7	320	15,7
800	0,005	4000	4,67	195,95	0,934	39,2	3356,8	839,2	800	39,2
800	0,007	5600	4,67	274,33	0,934	54,9	4699,5	1174,9	1120	54,9
800	0,01	8000	4,67	391,90	0,934	78,4	6713,5	1678,4	1600	78,4
800	0,02	16000	4,67	783,80	0,934	156,8	13427,0	3356,8	3200	156,8
800	0,03	24000	4,67	1175,71	0,934	235,1	20140,6	5035,1	4800	235,1
900	0,001	900	4,67	44,09	0,934	8,8	755,3	188,8	180	8,8
900	0,002	1800	4,67	88,18	0,934	17,6	1510,5	377,6	360	17,6
900	0,005	4500	4,67	220,44	0,934	44,1	3776,4	944,1	900	44,1
900	0,007	6300	4,67	308,62	0,934	61,7	5286,9	1321,7	1260	61,7
900	0,01	9000	4,67	440,89	0,934	88,2	7552,7	1888,2	1800	88,2
900	0,02	18000	4,67	881,78	0,934	176,4	15105,4	3776,4	3600	176,4
900	0,03	27000	4,67	1322,67	0,934	264,5	22658,1	5664,5	5400	264,5

Таблица Г.5 – Определение нормы расхода химического материала Нордвей при температуре (-2 °C), %

Плотность снежных отложений кг/м ³ при температуре -2 °C	Толщина снежных отложений, м	Масса снежно-ледяного образования, грамм	Концентрация полного плавления Нордвей, С'1(%)	Расход хим. реагента, для 100% плавления г/м ²	Расход хим. реаг для 20 % плавления, % в системе	Расход хим. реаг для плавления 20 %, грамм	Количество кристаллов льда в системе, грамм	Расплав в системе, грамм	Вода в расплаве, грамм	Хим реаг в расплаве, грамм
550	0,001	550	4,5	25,92	0,9	5,2	460,7	115,2	110	5,2
550	0,002	1100	4,5	51,83	0,9	10,4	921,5	230,4	220	10,4
550	0,005	2750	4,5	129,58	0,9	25,9	2303,7	575,9	550	25,9
550	0,007	3850	4,5	181,41	0,9	36,3	3225,1	806,3	770	36,3
550	0,01	5500	4,5	259,16	0,9	51,8	4607,3	1151,8	1100	51,8
550	0,02	11000	4,5	518,32	0,9	103,7	9214,7	2303,7	2200	103,7
550	0,03	16500	4,5	777,49	0,9	155,5	13822,0	3455,5	3300	155,5
800	0,001	800	4,5	37,70	0,9	7,5	670,2	167,5	160	7,5
800	0,002	1600	4,5	75,39	0,9	15,1	1340,3	335,1	320	15,1
800	0,005	4000	4,5	188,48	0,9	37,7	3350,8	837,7	800	37,7
800	0,007	5600	4,5	263,87	0,9	52,8	4691,1	1172,8	1120	52,8
800	0,01	8000	4,5	376,96	0,9	75,4	6701,6	1675,4	1600	75,4
800	0,02	16000	4,5	753,93	0,9	150,8	13403,1	3350,8	3200	150,8
800	0,03	24000	4,5	1130,89	0,9	226,2	20104,7	5026,2	4800	226,2
900	0,001	900	4,5	42,41	0,9	8,5	753,9	188,5	180	8,5
900	0,002	1800	4,5	84,82	0,9	17,0	1507,9	377,0	360	17,0
900	0,005	4500	4,5	212,04	0,9	42,4	3769,6	942,4	900	42,4
900	0,007	6300	4,5	296,86	0,9	59,4	5277,5	1319,4	1260	59,4
900	0,01	9000	4,5	424,08	0,9	84,8	7539,3	1884,8	1800	84,8
900	0,02	18000	4,5	848,17	0,9	169,6	15078,5	3769,6	3600	169,6

Г.2. Расчет норм расхода противогололедных химических материалов (NaCl, CaCl₂, MgCl₂, Антиснег-1, Нордвей) при расплавлении 40% от общей массы системы

Таблица Г.6 – Определение нормы расхода химического материала NaCl при температуре (-2 °С), %

Плотность снежных отложений кг/м ³ при температуре -2 °С	Толщина снежных отложений, м	Масса снежно-ледяного образования, грамм	Концентрация полного плавления NaCl, C ₁ (%)	Расход хим. реагента, для 100% плавления г/м ²	Расход хим. реаг для 40 % плавления, % в системе	Расход хим. реаг для плавления 40 %, грамм	Количество кристаллов льда в системе, грамм	Расплав в системе, грамм	Вода в расплаве, грамм	Хим реаг в расплаве, грамм
550	0,001	550	4,18	23,99	1,672	9,6	344,4	229,6	220	9,6
550	0,002	1100	4,18	47,99	1,672	19,2	688,8	459,2	440	19,2
550	0,005	2750	4,18	119,96	1,672	48,0	1722,0	1148,0	1100	48,0
550	0,007	3850	4,18	167,95	1,672	67,2	2410,8	1607,2	1540	67,2
550	0,01	5500	4,18	239,93	1,672	96,0	3444,0	2296,0	2200	96,0
550	0,02	11000	4,18	479,86	1,672	191,9	6887,9	4591,9	4400	191,9
550	0,03	16500	4,18	719,79	1,672	287,9	10331,9	6887,9	6600	287,9
800	0,001	800	4,18	34,90	1,672	14,0	500,9	334,0	320	14,0
800	0,002	1600	4,18	69,80	1,672	27,9	1001,9	667,9	640	27,9
800	0,005	4000	4,18	174,49	1,672	69,8	2504,7	1669,8	1600	69,8
800	0,007	5600	4,18	244,29	1,672	97,7	3506,6	2337,7	2240	97,7
800	0,01	8000	4,18	348,99	1,672	139,6	5009,4	3339,6	3200	139,6
800	0,02	16000	4,18	697,98	1,672	279,2	10018,8	6679,2	6400	279,2
800	0,03	24000	4,18	1046,96	1,672	418,8	15028,2	10018,8	9600	418,8
900	0,001	900	4,18	39,26	1,672	15,7	563,6	375,7	360	15,7
900	0,002	1800	4,18	78,52	1,672	31,4	1127,1	751,4	720	31,4
900	0,005	4500	4,18	196,31	1,672	78,5	2817,8	1878,5	1800	78,5
900	0,007	6300	4,18	274,83	1,672	109,9	3944,9	2629,9	2520	109,9
900	0,01	9000	4,18	392,61	1,672	157,0	5635,6	3757,0	3600	157,0
900	0,02	18000	4,18	785,22	1,672	314,1	11271,1	7514,1	7200	314,1
900	0,03	27000	4,18	1177,83	1,672	471,1	16906,7	11271,1	10800	471,1

Таблица Г.7 – Определение нормы расхода химического материала CaCl₂ при температуре (-2 °C), %

Плотность снежных отложений кг/м ³ при температуре -2 °C	Толщина снежных отложений, м	Масса снежно-ледяного образования, грамм	Концентрация полного плавления CaCl ₂ , C'1(%)	Расход хим. реагента, для 100% плавления г/м ²	Расход хим. реаг для 40 % плавления, % в системе	Расход хим. реаг для плавления 40 %, грамм	Количество кристаллов льда в системе, грамм	Расплав в системе, грамм	Вода в расплаве, грамм	Хим реаг в расплаве, грамм
550	0,001	550	5,9	34,48	2,36	13,8	350,7	233,8	220	13,8
550	0,002	1100	5,9	68,97	2,36	27,6	701,4	467,6	440	27,6
550	0,005	2750	5,9	172,42	2,36	69,0	1753,5	1169,0	1100	69,0
550	0,007	3850	5,9	241,39	2,36	96,6	2454,8	1636,6	1540	96,6
550	0,01	5500	5,9	344,85	2,36	137,9	3506,9	2337,9	2200	137,9
550	0,02	11000	5,9	689,69	2,36	275,9	7013,8	4675,9	4400	275,9
550	0,03	16500	5,9	1034,54	2,36	413,8	10520,7	7013,8	6600	413,8
800	0,001	800	5,9	50,16	2,36	20,1	510,1	340,1	320	20,1
800	0,002	1600	5,9	100,32	2,36	40,1	1020,2	680,1	640	40,1
800	0,005	4000	5,9	250,80	2,36	100,3	2550,5	1700,3	1600	100,3
800	0,007	5600	5,9	351,12	2,36	140,4	3570,7	2380,4	2240	140,4
800	0,01	8000	5,9	501,59	2,36	200,6	5101,0	3400,6	3200	200,6
800	0,02	16000	5,9	1003,19	2,36	401,3	10201,9	6801,3	6400	401,3
800	0,03	24000	5,9	1504,78	2,36	601,9	15302,9	10201,9	9600	601,9
900	0,001	900	5,9	56,43	2,36	22,6	573,9	382,6	360	22,6
900	0,002	1800	5,9	112,86	2,36	45,1	1147,7	765,1	720	45,1
900	0,005	4500	5,9	282,15	2,36	112,9	2869,3	1912,9	1800	112,9
900	0,007	6300	5,9	395,01	2,36	158,0	4017,0	2678,0	2520	158,0
900	0,01	9000	5,9	564,29	2,36	225,7	5738,6	3825,7	3600	225,7
900	0,02	18000	5,9	1128,59	2,36	451,4	11477,2	7651,4	7200	451,4
900	0,03	27000	5,9	1692,88	2,36	677,2	17215,7	11477,2	10800	677,2

Таблица Г.8 – Определение нормы расхода химического материала $MgCl_2$ при температуре (-2 °C), %

Плотность снежных отложений кг/м ³ при температуре -2	Толщина снежных отложений, м	Масса снежно-ледяного образования, грамм	Концентрация полного плавления $MgCl_2$, C'1(%)	Расход хим. реагента, для 100% плавления г/м ²	Расход хим. реаг для 40 % плавления, % в системе	Расход хим. реаг для плавления 40 %, грамм	Количество кристаллов льда в системе, грамм	Расплав в системе, грамм	Вода в расплаве, грамм	Хим реаг в расплаве, грамм
550	0,001	550	5,1	29,56	2,04	11,8	347,7	231,8	220	11,8
550	0,002	1100	5,1	59,11	2,04	23,6	695,5	463,6	440	23,6
550	0,005	2750	5,1	147,79	2,04	59,1	1738,7	1159,1	1100	59,1
550	0,007	3850	5,1	206,90	2,04	82,8	2434,1	1622,8	1540	82,8
550	0,01	5500	5,1	295,57	2,04	118,2	3477,3	2318,2	2200	118,2
550	0,02	11000	5,1	591,15	2,04	236,5	6954,7	4636,5	4400	236,5
550	0,03	16500	5,1	886,72	2,04	354,7	10432,0	6954,7	6600	354,7
800	0,001	800	5,1	42,99	2,04	17,2	505,8	337,2	320	17,2
800	0,002	1600	5,1	85,99	2,04	34,4	1011,6	674,4	640	34,4
800	0,005	4000	5,1	214,96	2,04	86,0	2529,0	1686,0	1600	86,0
800	0,007	5600	5,1	300,95	2,04	120,4	3540,6	2360,4	2240	120,4
800	0,01	8000	5,1	429,93	2,04	172,0	5058,0	3372,0	3200	172,0
800	0,02	16000	5,1	859,85	2,04	343,9	10115,9	6743,9	6400	343,9
800	0,03	24000	5,1	1289,78	2,04	515,9	15173,9	10115,9	9600	515,9
900	0,001	900	5,1	48,37	2,04	19,3	569,0	379,3	360	19,3
900	0,002	1800	5,1	96,73	2,04	38,7	1138,0	758,7	720	38,7
900	0,005	4500	5,1	241,83	2,04	96,7	2845,1	1896,7	1800	96,7
900	0,007	6300	5,1	338,57	2,04	135,4	3983,1	2655,4	2520	135,4
900	0,01	9000	5,1	483,67	2,04	193,5	5690,2	3793,5	3600	193,5
900	0,02	18000	5,1	967,33	2,04	386,9	11380,4	7586,9	7200	386,9
900	0,03	27000	5,1	1451,00	2,04	580,4	17070,6	11380,4	10800	580,4

Таблица Г.9 – Определение нормы расхода химического материала Антиснег-1 при температуре (-2 °С), %

Плотность снежных отложений кг/м ³ при температуре -2 °С	Толщина снежных отложений, м	Масса снежно-ледяного образования, грамм	Концентрация полного плавления Антиснег-1, С'1(%)	Расход хим. реагента, для 100% плавления г/м ²	Расход хим. реаг для 40 % плавления, % в системе	Расход хим. реаг для плавления 40 %, грамм	Количество кристаллов льда в системе, грамм	Расплав в системе, грамм	Вода в расплаве, грамм	Хим реаг в расплаве, грамм
550	0,001	550	4,67	26,94	1,868	10,8	346,2	230,8	220	10,8
550	0,002	1100	4,67	53,89	1,868	21,6	692,3	461,6	440	21,6
550	0,005	2750	4,67	134,72	1,868	53,9	1730,8	1153,9	1100	53,9
550	0,007	3850	4,67	188,60	1,868	75,4	2423,2	1615,4	1540	75,4
550	0,01	5500	4,67	269,43	1,868	107,8	3461,7	2307,8	2200	107,8
550	0,02	11000	4,67	538,86	1,868	215,5	6923,3	4615,5	4400	215,5
550	0,03	16500	4,67	808,30	1,868	323,3	10385,0	6923,3	6600	323,3
800	0,001	800	4,67	39,19	1,868	15,7	503,5	335,7	320	15,7
800	0,002	1600	4,67	78,38	1,868	31,4	1007,0	671,4	640	31,4
800	0,005	4000	4,67	195,95	1,868	78,4	2517,6	1678,4	1600	78,4
800	0,007	5600	4,67	274,33	1,868	109,7	3524,6	2349,7	2240	109,7
800	0,01	8000	4,67	391,90	1,868	156,8	5035,1	3356,8	3200	156,8
800	0,02	16000	4,67	783,80	1,868	313,5	10070,3	6713,5	6400	313,5
800	0,03	24000	4,67	1175,71	1,868	470,3	15105,4	10070,3	9600	470,3
900	0,001	900	4,67	44,09	1,868	17,6	566,5	377,6	360	17,6
900	0,002	1800	4,67	88,18	1,868	35,3	1132,9	755,3	720	35,3
900	0,005	4500	4,67	220,44	1,868	88,2	2832,3	1888,2	1800	88,2
900	0,007	6300	4,67	308,62	1,868	123,4	3965,2	2643,4	2520	123,4
900	0,01	9000	4,67	440,89	1,868	176,4	5664,5	3776,4	3600	176,4
900	0,02	18000	4,67	881,78	1,868	352,7	11329,1	7552,7	7200	352,7
900	0,03	27000	4,67	1322,67	1,868	529,1	16993,6	11329,1	10800	529,1

Таблица Г.10 – Определение нормы расхода химического материала Нордвей при температуре (-2 °С), %

Плотность снежных отложений кг/м ³ при температуре -2 °С	Толщина снежных отложений, м	Масса снежно-ледяного образования, грамм	Концентрация полного плавления Нордвей, С'1(%)	Расход хим. реагента, для 100% плавления г/м ²	Расход хим. реаг для 40 % плавления, % в системе	Расход хим. реаг для плавления 40 %, грамм	Количество кристаллов льда в системе, грамм	Расплав в системе, грамм	Вода в расплаве, грамм	Хим реаг в расплаве, грамм
550	0,001	550	4,5	25,92	1,8	10,4	345,5	230,4	220	10,4
550	0,002	1100	4,5	51,83	1,8	20,7	691,1	460,7	440	20,7
550	0,005	2750	4,5	129,58	1,8	51,8	1727,7	1151,8	1100	51,8
550	0,007	3850	4,5	181,41	1,8	72,6	2418,8	1612,6	1540	72,6
550	0,01	5500	4,5	259,16	1,8	103,7	3455,5	2303,7	2200	103,7
550	0,02	11000	4,5	518,32	1,8	207,3	6911,0	4607,3	4400	207,3
550	0,03	16500	4,5	777,49	1,8	311,0	10366,5	6911,0	6600	311,0
800	0,001	800	4,5	37,70	1,8	15,1	502,6	335,1	320	15,1
800	0,002	1600	4,5	75,39	1,8	30,2	1005,2	670,2	640	30,2
800	0,005	4000	4,5	188,48	1,8	75,4	2513,1	1675,4	1600	75,4
800	0,007	5600	4,5	263,87	1,8	105,5	3518,3	2345,5	2240	105,5
800	0,01	8000	4,5	376,96	1,8	150,8	5026,2	3350,8	3200	150,8
800	0,02	16000	4,5	753,93	1,8	301,6	10052,4	6701,6	6400	301,6
800	0,03	24000	4,5	1130,89	1,8	452,4	15078,5	10052,4	9600	452,4
900	0,001	900	4,5	42,41	1,8	17,0	565,4	377,0	360	17,0
900	0,002	1800	4,5	84,82	1,8	33,9	1130,9	753,9	720	33,9
900	0,005	4500	4,5	212,04	1,8	84,8	2827,2	1884,8	1800	84,8
900	0,007	6300	4,5	296,86	1,8	118,7	3958,1	2638,7	2520	118,7
900	0,01	9000	4,5	424,08	1,8	169,6	5654,5	3769,6	3600	169,6
900	0,02	18000	4,5	848,17	1,8	339,3	11308,9	7539,3	7200	339,3

Г.3. Расчет норм расхода противогололедных химических материалов (NaCl, CaCl₂, MgCl₂, Антиснег-1, Нордвей) при расплавлении 60% от общей массы системы

Таблица Г.11 – Определение нормы расхода химического материала NaCl при температуре (-2 °С), %

Плотность снежных отложений кг/м ³ при температуре -2 °С	Толщина снежных отложений, м	Масса снежно-ледяного образования, грамм	Концентрация полного плавления NaCl, C ₁ (%)	Расход хим. реагента, для 100% плавления г/м ²	Расход хим. реаг для 60 % плавления, % в системе	Расход хим. реаг для плавления 60 %, грамм	Количество кристаллов льда в системе, грамм	Расплав в системе, грамм	Вода в расплаве, грамм	Хим реаг в расплаве, грамм
550	0,001	550	4,18	23,99	2,508	14,4	229,6	344,4	330	14,4
550	0,002	1100	4,18	47,99	2,508	28,8	459,2	688,8	660	28,8
550	0,005	2750	4,18	119,96	2,508	72,0	1148,0	1722,0	1650	72,0
550	0,007	3850	4,18	167,95	2,508	100,8	1607,2	2410,8	2310	100,8
550	0,01	5500	4,18	239,93	2,508	144,0	2296,0	3444,0	3300	144,0
550	0,02	11000	4,18	479,86	2,508	287,9	4591,9	6887,9	6600	287,9
550	0,03	16500	4,18	719,79	2,508	431,9	6887,9	10331,9	9900	431,9
800	0,001	800	4,18	34,90	2,508	20,9	334,0	500,9	480	20,9
800	0,002	1600	4,18	69,80	2,508	41,9	667,9	1001,9	960	41,9
800	0,005	4000	4,18	174,49	2,508	104,7	1669,8	2504,7	2400	104,7
800	0,007	5600	4,18	244,29	2,508	146,6	2337,7	3506,6	3360	146,6
800	0,01	8000	4,18	348,99	2,508	209,4	3339,6	5009,4	4800	209,4
800	0,02	16000	4,18	697,98	2,508	418,8	6679,2	10018,8	9600	418,8
800	0,03	24000	4,18	1046,96	2,508	628,2	10018,8	15028,2	14400	628,2
900	0,001	900	4,18	39,26	2,508	23,6	375,7	563,6	540	23,6
900	0,002	1800	4,18	78,52	2,508	47,1	751,4	1127,1	1080	47,1
900	0,005	4500	4,18	196,31	2,508	117,8	1878,5	2817,8	2700	117,8
900	0,007	6300	4,18	274,83	2,508	164,9	2629,9	3944,9	3780	164,9
900	0,01	9000	4,18	392,61	2,508	235,6	3757,0	5635,6	5400	235,6
900	0,02	18000	4,18	785,22	2,508	471,1	7514,1	11271,1	10800	471,1
900	0,03	27000	4,18	1177,83	2,508	706,7	11271,1	16906,7	16200	706,7

Таблица Г.12 – Определение нормы расхода химического материала CaCl₂ при температуре (-2 °C), %

Плотность снежных отложений кг/м ³ при температуре -2 °C	Толщина снежных отложений, м	Масса снежно-ледяного образования, грамм	Концентрация полного плавления CaCl ₂ , C'1(%)	Расход хим. реагента, для 100% плавления г/м ²	Расход хим. реаг для 60 % плавления, % в системе	Расход хим. реаг для плавления 60 %, грамм	Количество кристаллов льда в системе, грамм	Расплав в системе, грамм	Вода в расплаве, грамм	Хим реаг в расплаве, грамм
550	0,001	550	5,9	34,48	3,54	20,7	233,8	350,7	330	20,7
550	0,002	1100	5,9	68,97	3,54	41,4	467,6	701,4	660	41,4
550	0,005	2750	5,9	172,42	3,54	103,5	1169,0	1753,5	1650	103,5
550	0,007	3850	5,9	241,39	3,54	144,8	1636,6	2454,8	2310	144,8
550	0,01	5500	5,9	344,85	3,54	206,9	2337,9	3506,9	3300	206,9
550	0,02	11000	5,9	689,69	3,54	413,8	4675,9	7013,8	6600	413,8
550	0,03	16500	5,9	1034,54	3,54	620,7	7013,8	10520,7	9900	620,7
800	0,001	800	5,9	50,16	3,54	30,1	340,1	510,1	480	30,1
800	0,002	1600	5,9	100,32	3,54	60,2	680,1	1020,2	960	60,2
800	0,005	4000	5,9	250,80	3,54	150,5	1700,3	2550,5	2400	150,5
800	0,007	5600	5,9	351,12	3,54	210,7	2380,4	3570,7	3360	210,7
800	0,01	8000	5,9	501,59	3,54	301,0	3400,6	5101,0	4800	301,0
800	0,02	16000	5,9	1003,19	3,54	601,9	6801,3	10201,9	9600	601,9
800	0,03	24000	5,9	1504,78	3,54	902,9	10201,9	15302,9	14400	902,9
900	0,001	900	5,9	56,43	3,54	33,9	382,6	573,9	540	33,9
900	0,002	1800	5,9	112,86	3,54	67,7	765,1	1147,7	1080	67,7
900	0,005	4500	5,9	282,15	3,54	169,3	1912,9	2869,3	2700	169,3
900	0,007	6300	5,9	395,01	3,54	237,0	2678,0	4017,0	3780	237,0
900	0,01	9000	5,9	564,29	3,54	338,6	3825,7	5738,6	5400	338,6
900	0,02	18000	5,9	1128,59	3,54	677,2	7651,4	11477,2	10800	677,2
900	0,03	27000	5,9	1692,88	3,54	1015,7	11477,2	17215,7	16200	1015,7

Таблица Г.13 – Определение нормы расхода химического материала $MgCl_2$ при температуре (-2 °C), %

Плотность снежных отложений кг/м ³ при температуре -2 °C	Толщина снежных отложений, м	Масса снежно-ледяного образования, грамм	Концентрация полного плавления $MgCl_2$, C ₁ (%)	Расход хим. реагента, для 100% плавления г/м ²	Расход хим. реаг для 60 % плавления, % в системе	Расход хим. реаг для плавления 60 %, грамм	Количество кристаллов льда в системе, грамм	Расплав в системе, грамм	Вода в расплаве, грамм	Хим реаг в расплаве, грамм
550	0,001	550	5,1	29,56	3,06	17,7	231,8	347,7	330	17,7
550	0,002	1100	5,1	59,11	3,06	35,5	463,6	695,5	660	35,5
550	0,005	2750	5,1	147,79	3,06	88,7	1159,1	1738,7	1650	88,7
550	0,007	3850	5,1	206,90	3,06	124,1	1622,8	2434,1	2310	124,1
550	0,01	5500	5,1	295,57	3,06	177,3	2318,2	3477,3	3300	177,3
550	0,02	11000	5,1	591,15	3,06	354,7	4636,5	6954,7	6600	354,7
550	0,03	16500	5,1	886,72	3,06	532,0	6954,7	10432,0	9900	532,0
800	0,001	800	5,1	42,99	3,06	25,8	337,2	505,8	480	25,8
800	0,002	1600	5,1	85,99	3,06	51,6	674,4	1011,6	960	51,6
800	0,005	4000	5,1	214,96	3,06	129,0	1686,0	2529,0	2400	129,0
800	0,007	5600	5,1	300,95	3,06	180,6	2360,4	3540,6	3360	180,6
800	0,01	8000	5,1	429,93	3,06	258,0	3372,0	5058,0	4800	258,0
800	0,02	16000	5,1	859,85	3,06	515,9	6743,9	10115,9	9600	515,9
800	0,03	24000	5,1	1289,78	3,06	773,9	10115,9	15173,9	14400	773,9
900	0,001	900	5,1	48,37	3,06	29,0	379,3	569,0	540	29,0
900	0,002	1800	5,1	96,73	3,06	58,0	758,7	1138,0	1080	58,0
900	0,005	4500	5,1	241,83	3,06	145,1	1896,7	2845,1	2700	145,1
900	0,007	6300	5,1	338,57	3,06	203,1	2655,4	3983,1	3780	203,1
900	0,01	9000	5,1	483,67	3,06	290,2	3793,5	5690,2	5400	290,2
900	0,02	18000	5,1	967,33	3,06	580,4	7586,9	11380,4	10800	580,4
900	0,03	27000	5,1	1451,00	3,06	870,6	11380,4	17070,6	16200	870,6

Таблица Г.14 – Определение нормы расхода химического материала Антиснег-1 при температуре (-2 °С), %

Плотность снежных отложений кг/м ³ при температуре -2 °С	Толщина снежных отложений, м	Масса снежно-ледяного образования, грамм	Концентрация полного плавления Антиснег-1, С'1(%)	Расход хим. реагента, для 100% плавления г/м ²	Расход хим. реаг для 60 % плавления, % в системе	Расход хим. реаг для плавления 60 %, грамм	Количество кристаллов льда в системе, грамм	Расплав в системе, грамм	Вода в расплаве, грамм	Хим реаг в расплаве, грамм
550	0,001	550	4,67	26,94	2,802	16,2	230,8	346,2	330	16,2
550	0,002	1100	4,67	53,89	2,802	32,3	461,6	692,3	660	32,3
550	0,005	2750	4,67	134,72	2,802	80,8	1153,9	1730,8	1650	80,8
550	0,007	3850	4,67	188,60	2,802	113,2	1615,4	2423,2	2310	113,2
550	0,01	5500	4,67	269,43	2,802	161,7	2307,8	3461,7	3300	161,7
550	0,02	11000	4,67	538,86	2,802	323,3	4615,5	6923,3	6600	323,3
550	0,03	16500	4,67	808,30	2,802	485,0	6923,3	10385,0	9900	485,0
800	0,001	800	4,67	39,19	2,802	23,5	335,7	503,5	480	23,5
800	0,002	1600	4,67	78,38	2,802	47,0	671,4	1007,0	960	47,0
800	0,005	4000	4,67	195,95	2,802	117,6	1678,4	2517,6	2400	117,6
800	0,007	5600	4,67	274,33	2,802	164,6	2349,7	3524,6	3360	164,6
800	0,01	8000	4,67	391,90	2,802	235,1	3356,8	5035,1	4800	235,1
800	0,02	16000	4,67	783,80	2,802	470,3	6713,5	10070,3	9600	470,3
800	0,03	24000	4,67	1175,71	2,802	705,4	10070,3	15105,4	14400	705,4
900	0,001	900	4,67	44,09	2,802	26,5	377,6	566,5	540	26,5
900	0,002	1800	4,67	88,18	2,802	52,9	755,3	1132,9	1080	52,9
900	0,005	4500	4,67	220,44	2,802	132,3	1888,2	2832,3	2700	132,3
900	0,007	6300	4,67	308,62	2,802	185,2	2643,4	3965,2	3780	185,2
900	0,01	9000	4,67	440,89	2,802	264,5	3776,4	5664,5	5400	264,5
900	0,02	18000	4,67	881,78	2,802	529,1	7552,7	11329,1	10800	529,1
900	0,03	27000	4,67	1322,67	2,802	793,6	11329,1	16993,6	16200	793,6

Таблица Г.15 – Определение нормы расхода химического материала Нордвей при температуре (-2 °С), %

Плотность снежных отложений кг/м ³ при температуре -2 °С	Толщина снежных отложений, м	Масса снежно-ледяного образования, грамм	Концентрация полного плавления Нордвей, С ₁ (%)	Расход хим. реагента, для 100% плавления г/м ²	Расход хим. реаг для 60 % плавления, % в системе	Расход хим. реаг для плавления 60 %, грамм	Количество кристаллов льда в системе, грамм	Расплав в системе, грамм	Вода в расплаве, грамм	Хим реаг в расплаве, грамм
550	0,001	550	4,5	25,92	2,7	15,5	230,4	345,5	330	15,5
550	0,002	1100	4,5	51,83	2,7	31,1	460,7	691,1	660	31,1
550	0,005	2750	4,5	129,58	2,7	77,7	1151,8	1727,7	1650	77,7
550	0,007	3850	4,5	181,41	2,7	108,8	1612,6	2418,8	2310	108,8
550	0,01	5500	4,5	259,16	2,7	155,5	2303,7	3455,5	3300	155,5
550	0,02	11000	4,5	518,32	2,7	311,0	4607,3	6911,0	6600	311,0
550	0,03	16500	4,5	777,49	2,7	466,5	6911,0	10366,5	9900	466,5
800	0,001	800	4,5	37,70	2,7	22,6	335,1	502,6	480	22,6
800	0,002	1600	4,5	75,39	2,7	45,2	670,2	1005,2	960	45,2
800	0,005	4000	4,5	188,48	2,7	113,1	1675,4	2513,1	2400	113,1
800	0,007	5600	4,5	263,87	2,7	158,3	2345,5	3518,3	3360	158,3
800	0,01	8000	4,5	376,96	2,7	226,2	3350,8	5026,2	4800	226,2
800	0,02	16000	4,5	753,93	2,7	452,4	6701,6	10052,4	9600	452,4
800	0,03	24000	4,5	1130,89	2,7	678,5	10052,4	15078,5	14400	678,5
900	0,001	900	4,5	42,41	2,7	25,4	377,0	565,4	540	25,4
900	0,002	1800	4,5	84,82	2,7	50,9	753,9	1130,9	1080	50,9
900	0,005	4500	4,5	212,04	2,7	127,2	1884,8	2827,2	2700	127,2
900	0,007	6300	4,5	296,86	2,7	178,1	2638,7	3958,1	3780	178,1
900	0,01	9000	4,5	424,08	2,7	254,5	3769,6	5654,5	5400	254,5
900	0,02	18000	4,5	848,17	2,7	508,9	7539,3	11308,9	10800	508,9
900	0,03	27000	4,5	1272,25	2,7	763,4	11308,9	16963,4	16200	763,4

Г.4. Расчет норм расхода противогололедных химических материалов (NaCl, CaCl, MgCl, Антиснег-1, Нордвей) при расплавлении 80% от общей массы системы

Таблица Г.16 – Определение нормы расхода химического материала NaCl при температуре (-2 °C), %

Плотность снежных отложений кг/м ³ при температур е -2 °C	Толщина снежных отложений, м	Масса снежно-ледяного образования, грамм	Концентрация полного плавления NaCl, C'1(%)	Расход хим. реагента, для 100% плавления г/м ²	Расход хим. реаг для 80 % плавления, % в системе	Расход хим. реаг для плавления 80 %, грамм	Количество кристаллов льда в системе, грамм	Расплав в системе, грамм	Вода в расплаве, грамм	Хим реаг в расплаве, грамм
550	0,001	550	4,18	23,99	3,344	19,2	114,8	459,2	440	19,2
1100	0,002	1100	4,18	47,99	3,344	38,4	229,6	918,4	880	38,4
2750	0,005	2750	4,18	119,96	3,344	96,0	574,0	2296,0	2200	96,0
3850	0,007	3850	4,18	167,95	3,344	134,4	803,6	3214,4	3080	134,4
5500	0,01	5500	4,18	239,93	3,344	191,9	1148,0	4591,9	4400	191,9
11000	0,02	11000	4,18	479,86	3,344	383,9	2296,0	9183,9	8800	383,9
16500	0,03	16500	4,18	719,79	3,344	575,8	3444,0	13775,8	13200	575,8
800	0,001	800	4,18	34,90	3,344	27,9	167,0	667,9	640	27,9
1600	0,002	1600	4,18	69,80	3,344	55,8	334,0	1335,8	1280	55,8
4000	0,005	4000	4,18	174,49	3,344	139,6	834,9	3339,6	3200	139,6
5600	0,007	5600	4,18	244,29	3,344	195,4	1168,9	4675,4	4480	195,4
8000	0,01	8000	4,18	348,99	3,344	279,2	1669,8	6679,2	6400	279,2
16000	0,02	16000	4,18	697,98	3,344	558,4	3339,6	13358,4	12800	558,4
24000	0,03	24000	4,18	1046,96	3,344	837,6	5009,4	20037,6	19200	837,6
900	0,001	900	4,18	39,26	3,344	31,4	187,9	751,4	720	31,4
1800	0,002	1800	4,18	78,52	3,344	62,8	375,7	1502,8	1440	62,8
4500	0,005	4500	4,18	196,31	3,344	157,0	939,3	3757,0	3600	157,0
6300	0,007	6300	4,18	274,83	3,344	219,9	1315,0	5259,9	5040	219,9
9000	0,01	9000	4,18	392,61	3,344	314,1	1878,5	7514,1	7200	314,1
18000	0,02	18000	4,18	785,22	3,344	628,2	3757,0	15028,2	14400	628,2
27000	0,03	27000	4,18	1177,83	3,344	942,3	5635,6	22542,3	21600	942,3

Таблица Г.17 – Определение нормы расхода химического материала CaCl₂ при температуре (-2 °C), %

Плотность снежных отложений кг/м ³ при температуре -2 °C	Толщина снежных отложений, м	Масса снежно-ледяного образования, грамм	Концентрация полного плавления CaCl ₂ , C' ₁ (%)	Расход хим. реагента, для 100% плавления г/м ²	Расход хим. реаг для 80 % плавления, % в системе	Расход хим. реаг для плавления 80 %, грамм	Количество кристаллов льда в системе, грамм	Расплав в системе, грамм	Вода в расплаве, грамм	Хим реаг в расплаве, грамм
550	0,001	550	5,9	34,48	4,72	27,6	116,9	467,6	440	27,6
1100	0,002	1100	5,9	68,97	4,72	55,2	233,8	935,2	880	55,2
2750	0,005	2750	5,9	172,42	4,72	137,9	584,5	2337,9	2200	137,9
3850	0,007	3850	5,9	241,39	4,72	193,1	818,3	3273,1	3080	193,1
5500	0,01	5500	5,9	344,85	4,72	275,9	1169,0	4675,9	4400	275,9
11000	0,02	11000	5,9	689,69	4,72	551,8	2337,9	9351,8	8800	551,8
16500	0,03	16500	5,9	1034,54	4,72	827,6	3506,9	14027,6	13200	827,6
800	0,001	800	5,9	50,16	4,72	40,1	170,0	680,1	640	40,1
1600	0,002	1600	5,9	100,32	4,72	80,3	340,1	1360,3	1280	80,3
4000	0,005	4000	5,9	250,80	4,72	200,6	850,2	3400,6	3200	200,6
5600	0,007	5600	5,9	351,12	4,72	280,9	1190,2	4760,9	4480	280,9
8000	0,01	8000	5,9	501,59	4,72	401,3	1700,3	6801,3	6400	401,3
16000	0,02	16000	5,9	1003,19	4,72	802,6	3400,6	13602,6	12800	802,6
24000	0,03	24000	5,9	1504,78	4,72	1203,8	5101,0	20403,8	19200	1203,8
900	0,001	900	5,9	56,43	4,72	45,1	191,3	765,1	720	45,1
1800	0,002	1800	5,9	112,86	4,72	90,3	382,6	1530,3	1440	90,3
4500	0,005	4500	5,9	282,15	4,72	225,7	956,4	3825,7	3600	225,7
6300	0,007	6300	5,9	395,01	4,72	316,0	1339,0	5356,0	5040	316,0
9000	0,01	9000	5,9	564,29	4,72	451,4	1912,9	7651,4	7200	451,4
18000	0,02	18000	5,9	1128,59	4,72	902,9	3825,7	15302,9	14400	902,9
27000	0,03	27000	5,9	1692,88	4,72	1354,3	5738,6	22954,3	21600	1354,3

Таблица Г.18 – Определение нормы расхода химического материала $MgCl_2$ при температуре (-2 °C), %

Плотность снежных отложений кг/м ³ при температуре -2 °C	Толщина снежных отложений, м	Масса снежно-ледяного образования, грамм	Концентрация полного плавления $MgCl_2$, C' 1(%)	Расход хим. реагента, для 100% плавления г/м ²	Расход хим. реаг для 80 % плавления, % в системе	Расход хим. реаг для плавления 80 %, грамм	Количество кристаллов льда в системе, грамм	Расплав в системе, грамм	Вода в расплаве, грамм	Хим реаг в расплаве, грамм
550	0,001	550	5,1	29,56	4,08	23,6	115,9	463,6	440	23,6
1100	0,002	1100	5,1	59,11	4,08	47,3	231,8	927,3	880	47,3
2750	0,005	2750	5,1	147,79	4,08	118,2	579,6	2318,2	2200	118,2
3850	0,007	3850	5,1	206,90	4,08	165,5	811,4	3245,5	3080	165,5
5500	0,01	5500	5,1	295,57	4,08	236,5	1159,1	4636,5	4400	236,5
11000	0,02	11000	5,1	591,15	4,08	472,9	2318,2	9272,9	8800	472,9
16500	0,03	16500	5,1	886,72	4,08	709,4	3477,3	13909,4	13200	709,4
800	0,001	800	5,1	42,99	4,08	34,4	168,6	674,4	640	34,4
1600	0,002	1600	5,1	85,99	4,08	68,8	337,2	1348,8	1280	68,8
4000	0,005	4000	5,1	214,96	4,08	172,0	843,0	3372,0	3200	172,0
5600	0,007	5600	5,1	300,95	4,08	240,8	1180,2	4720,8	4480	240,8
8000	0,01	8000	5,1	429,93	4,08	343,9	1686,0	6743,9	6400	343,9
16000	0,02	16000	5,1	859,85	4,08	687,9	3372,0	13487,9	12800	687,9
24000	0,03	24000	5,1	1289,78	4,08	1031,8	5058,0	20231,8	19200	1031,8
900	0,001	900	5,1	48,37	4,08	38,7	189,7	758,7	720	38,7
1800	0,002	1800	5,1	96,73	4,08	77,4	379,3	1517,4	1440	77,4
4500	0,005	4500	5,1	241,83	4,08	193,5	948,4	3793,5	3600	193,5
6300	0,007	6300	5,1	338,57	4,08	270,9	1327,7	5310,9	5040	270,9
9000	0,01	9000	5,1	483,67	4,08	386,9	1896,7	7586,9	7200	386,9
18000	0,02	18000	5,1	967,33	4,08	773,9	3793,5	15173,9	14400	773,9
27000	0,03	27000	5,1	1451,00	4,08	1160,8	5690,2	22760,8	21600	1160,8

Таблица Г.19 – Определение нормы расхода химического материала Антиснег-1 при температуре (-2 °С), %

	Толщина снежных отложений, м	Масса снежно-ледяного образования, грамм	Концентрация полного плавления Антиснег-1, C ₁ (%)	Расход хим. реагента, для 100% плавления, г/м ²	Расход хим. реаг для 80 % плавления, % в системе	Расход хим. реаг для плавления 80 %, грамм	Количество кристаллов льда в системе, грамм	Расплав в системе, грамм	Вода в расплаве, грамм	Хим реаг в расплаве, грамм
550	0,001	550	4,67	26,94	3,736	21,6	115,4	461,6	440	21,6
550	0,002	1100	4,67	53,89	3,736	43,1	230,8	923,1	880	43,1
550	0,005	2750	4,67	134,72	3,736	107,8	576,9	2307,8	2200	107,8
550	0,007	3850	4,67	188,60	3,736	150,9	807,7	3230,9	3080	150,9
550	0,01	5500	4,67	269,43	3,736	215,5	1153,9	4615,5	4400	215,5
550	0,02	11000	4,67	538,86	3,736	431,1	2307,8	9231,1	8800	431,1
550	0,03	16500	4,67	808,30	3,736	646,6	3461,7	13846,6	13200	646,6
800	0,001	800	4,67	39,19	3,736	31,4	167,8	671,4	640	31,4
800	0,002	1600	4,67	78,38	3,736	62,7	335,7	1342,7	1280	62,7
800	0,005	4000	4,67	195,95	3,736	156,8	839,2	3356,8	3200	156,8
800	0,007	5600	4,67	274,33	3,736	219,5	1174,9	4699,5	4480	219,5
800	0,01	8000	4,67	391,90	3,736	313,5	1678,4	6713,5	6400	313,5
800	0,02	16000	4,67	783,80	3,736	627,0	3356,8	13427,0	12800	627,0
800	0,03	24000	4,67	1175,71	3,736	940,6	5035,1	20140,6	19200	940,6
900	0,001	900	4,67	44,09	3,736	35,3	188,8	755,3	720	35,3
900	0,002	1800	4,67	88,18	3,736	70,5	377,6	1510,5	1440	70,5
900	0,005	4500	4,67	220,44	3,736	176,4	944,1	3776,4	3600	176,4
900	0,007	6300	4,67	308,62	3,736	246,9	1321,7	5286,9	5040	246,9
900	0,01	9000	4,67	440,89	3,736	352,7	1888,2	7552,7	7200	352,7
900	0,02	18000	4,67	881,78	3,736	705,4	3776,4	15105,4	14400	705,4
900	0,03	27000	4,67	1322,67	3,736	1058,1	5664,5	22658,1	21600	1058,1

Таблица Г.20 – Определение нормы расхода химического материала Нордвей при температуре (-2 °С), %

Плотность снежных отложений кг/м ³ при температуре -2 °С	Толщина снежных отложений, м	Масса снежно-ледяного образования, грамм	Концентрация полного плавления Нордвей, С'1(%)	Расход хим. реагента, для 100% плавления г/м ²	Расход хим. реаг для 80 % плавления, % в системе	Расход хим. реаг для плавления 80 %, грамм	Количество кристаллов льда в системе, грамм	Расплав в системе, грамм	Вода в расплаве, грамм	Хим реаг в расплаве, грамм
550	0,001	550	4,5	25,92	3,6	20,7	115,2	460,7	440	20,7
550	0,002	1100	4,5	51,83	3,6	41,5	230,4	921,5	880	41,5
550	0,005	2750	4,5	129,58	3,6	103,7	575,9	2303,7	2200	103,7
550	0,007	3850	4,5	181,41	3,6	145,1	806,3	3225,1	3080	145,1
550	0,01	5500	4,5	259,16	3,6	207,3	1151,8	4607,3	4400	207,3
550	0,02	11000	4,5	518,32	3,6	414,7	2303,7	9214,7	8800	414,7
550	0,03	16500	4,5	777,49	3,6	622,0	3455,5	13822,0	13200	622,0
800	0,001	800	4,5	37,70	3,6	30,2	167,5	670,2	640	30,2
800	0,002	1600	4,5	75,39	3,6	60,3	335,1	1340,3	1280	60,3
800	0,005	4000	4,5	188,48	3,6	150,8	837,7	3350,8	3200	150,8
800	0,007	5600	4,5	263,87	3,6	211,1	1172,8	4691,1	4480	211,1
800	0,01	8000	4,5	376,96	3,6	301,6	1675,4	6701,6	6400	301,6
800	0,02	16000	4,5	753,93	3,6	603,1	3350,8	13403,1	12800	603,1
800	0,03	24000	4,5	1130,89	3,6	904,7	5026,2	20104,7	19200	904,7
900	0,001	900	4,5	42,41	3,6	33,9	188,5	753,9	720	33,9
900	0,002	1800	4,5	84,82	3,6	67,9	377,0	1507,9	1440	67,9
900	0,005	4500	4,5	212,04	3,6	169,6	942,4	3769,6	3600	169,6
900	0,007	6300	4,5	296,86	3,6	237,5	1319,4	5277,5	5040	237,5
900	0,01	9000	4,5	424,08	3,6	339,3	1884,8	7539,3	7200	339,3
900	0,02	18000	4,5	848,17	3,6	678,5	3769,6	15078,5	14400	678,5
900	0,03	27000	4,5	1272,25	3,6	1017,8	5654,5	22617,8	21600	1017,8

Г.5. Определение процента расплава химических реагентов в общей системе

Таблица Г.21 – Процент расплава химических реагентов материалов (NaCl, CaCl₂, MgCl₂, Антиснег-1, Нордвей), %

Наименование хим. реагента	плотность льда кг/м ³ при температуре -2 ⁰ С	толщина льда, м	масса снежно-ледяного образования, грамм	Треб. концентрация полного расплавления, С ₁ (%)	Норма расхода хим. реаг. для полного расплавления, г/м ²	Заданное количество соли, г/м ²	Процент расплава в общей системе, %
1	2	3	4	5	6	7	8
NaCl	550	0,002	1100	4,18	47,99	35	72,9
	550	0,003	1650	4,18	71,98	35	48,6
	550	0,005	2750	4,18	119,96	35	29,2
	700	0,002	1400	4,18	61,07	35	57,3
	700	0,003	2100	4,18	91,61	35	38,2
	700	0,005	3500	4,18	152,68	35	22,9
	900	0,002	1800	4,18	78,52	35	44,6
	900	0,003	2700	4,18	117,78	35	29,7
CaCl ₂	900	0,005	4500	4,18	196,31	35	17,8
	550	0,002	1100	5,9	68,97	35	50,7
	550	0,003	1650	5,9	103,45	35	33,8
	550	0,005	2750	5,9	172,42	35	20,3
	700	0,002	1400	5,9	87,78	35	39,9
	700	0,003	2100	5,9	131,67	35	26,6
	700	0,005	3500	5,9	219,45	35	15,9
	900	0,002	1800	5,9	112,86	35	31,0
	900	0,003	2700	5,9	169,29	35	20,7
900	0,005	4500	5,9	282,15	35	12,4	

Продолжение таблица Г.21

1	2	3	4	5	6	7	8
MgCL ₂	550	0,002	1100	5,1	59,11	35	59,2
	550	0,003	1650	5,1	88,67	35	39,5
	550	0,005	2750	5,1	147,79	35	23,7
	700	0,002	1400	5,1	75,24	35	46,5
	700	0,003	2100	5,1	112,86	35	31,0
	700	0,005	3500	5,1	188,09	35	18,6
	900	0,002	1800	5,1	96,73	35	36,2
	900	0,003	2700	5,1	145,10	35	24,1
	900	0,005	4500	5,1	241,83	35	14,5
(Антиснег-1) Antiice-1	550	0,002	1100	4,7	54,25	35	64,5
	550	0,003	1650	4,7	81,37	35	43,0
	550	0,005	2750	4,7	135,62	35	25,8
	700	0,002	1400	4,7	69,05	35	50,7
	700	0,003	2100	4,7	103,57	35	33,8
	700	0,005	3500	4,7	172,61	35	20,3
	900	0,002	1800	4,7	88,77	35	39,4
	900	0,003	2700	4,7	133,16	35	26,3
	900	0,005	4500	4,7	221,93	35	15,8
(Нордвей) Nordway	550	0,002	1100	4,5	51,83	35	67,5
	550	0,003	1650	4,5	77,75	35	45,0
	550	0,005	2750	4,5	129,58	35	27,0
	700	0,002	1400	4,5	65,97	35	53,1
	700	0,003	2100	4,5	98,95	35	35,4
	700	0,005	3500	4,5	164,92	35	21,2
	900	0,002	1800	4,5	84,82	35	41,3
	900	0,003	2700	4,5	127,23	35	27,5
	900	0,005	4500	4,5	212,04	35	16,5