

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,
Омск, Россия

Кафедра «Проектное управление и информационное моделирование в строительстве»

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

Об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы
(диссертации)

«Совершенствование принципов организации зимнего содержания сети
региональных автомобильных дорог на основе прогнозирования снежно-ледяных
отложений»

по направлению 08.06.01 «Техника и технологии строительства»
направленность «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов,
аэродромов, мостов и транспортных тоннелей»

Аспирант Герлейн Анна Юрьевна

Допустить к защите научного доклада

Заведующий кафедрой «ПУИМС» к.т.н., доцент Коденцева Ю.В.

Научный руководитель

Заведующий кафедрой «ПУИМС» к.т.н., доцент Коденцева Ю.В.

Нормоконтроль

к.э.н., доцент Чепелева Н.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования:

В настоящее время выполняется реализация национального проекта «Инфраструктура для жизни» (2019-2036 г.г.) основными целями которого являются увеличение доли автомобильных дорог регионального значения, соответствующих нормативным требованиям. Увеличение интенсивности движения дорогах приводит к повышению требований к качеству их содержания. Регламентированные технологии производства работ требуют увеличения материально-технических ресурсов для обеспечения своевременного и качественного обслуживания дорог в зимнее время. В нынешних реалиях в условиях ограниченного финансирования для дорожных организаций часто не представляется возможным покупка дополнительной дорожной техники и большего количества противогололедных материалов (далее ПГМ). При этом, экологические требования вынуждают снижать потребление химических реагентов, что приводит к необходимости применения превентивных мер и поиску новых технологических решений.

При формировании производственной программы зимнего содержания дорожной сети особое внимание уделяется получению большого объема метеорологической информации, который поступает из различных источников и требует детальной и серьезной дополнительной обработки для принятия решений при учете сложившейся дорожной ситуации. В условиях динамичного изменения метеорологической информации важно оперативно принимать решения по назначению необходимых мероприятий, обеспечивающие требования к безопасности дорожного движения и требуемый уровень содержания.

Однако, необходимо учитывать имеющиеся у подрядной организации парк техники и ПГМ, чтобы планировать и рассчитывать циклы производства работ с конкретными ресурсами.

Объединить все необходимые исходные данные можно в системе, которая позволит обрабатывать информацию, назначать мероприятия по зимнему содержанию автомобильных дорог и выполнять технико-экономический анализ принятых решений. При этом, применение детализированной исходной информации способствует более точно сформировать ресурсоемкость работ, а совершенствованные методы управления системой зимним содержанием позволит минимизировать их стоимость.

60% выделенных средств на содержание приходится на холодный период года, это связано с погодными условиями, которые снижают безопасность и способствуют затруднению дорожного движения, что подразумевает необходимость повышения эффективности методов содержания, путем создания Прогнозной Аналитической модели системы управления зимним содержанием. Эта необходимая мера поможет снизить затраты на содержание и сохранить безопасность дорожного движения.

В настоящее время в Сибирских регионах с зимний период продолжается сезонная борьба со снежными отложениями, однако при назначении мероприятий отсутствует прогноз высоты рыхлого и талого снега. В реальности, дорожные организации пользуются изображениями с камер пунктов весового контроля, что позволяет сделать вывод только о наличии и отсутствии отложений. Нарушением требования к состоянию проезжей части дороги в части превышения толщины талого снега и наличие снежного наката, является одним из показателей дефектов содержания.

Степень разработанности темы исследования:

Вопросами совершенствования системы управления зимним содержанием автомобильных дорог в нашей стране занимались отечественные специалисты, такие как Т.В. Боброва, Т.В. Самодурова, Д.А. Скоробогатченко, Ю.В. Коденцева, Н.Б. Сакута, Ю.В. Бакланов, Г.В. Бялобжевский, Н.В. Борисюк, В.К. Некрасов, И.Н. Кручинин, А.А. Маевский, Алексеев В.Р. и многие другие. Вопросы, посвященными характеристикам снега, его физическому состоянию при различных метеорологических данных, возникновением и развитием метелей занимались Д.М. Грейд, Г.Д. Рихтер, Е.В. Чурюлин, В.И. Бычкова и другие.

Особое внимание к вопросам зимнего содержания, в том числе снежных отложений, проявляют и зарубежные авторы: Pomeroy J. W., Gray D. M., Tabler R. D., Bartlett P.A., MacKay M.D., J. Geoph. и многие другие.

Цель исследования:

Оптимизация методов оперативного управления зимним содержанием региональной сети автомобильных дорог на основе прогнозных моделей с использованием дорожно-метеорологических данных в условиях ограниченного финансирования для обеспечения безопасности дорожного движения.

Основные задачи исследования:

1. На основе системного подхода обосновать состав детализированной метеорологической информации, необходимой для разработки метода снижения потребности в ресурсах на зимнее содержание.
2. Сформировать структуру информационно-аналитической системы управления зимним содержанием автомобильных дорог для моделирования дорожно-метеорологической ситуации и выбора оптимального мероприятия по содержанию.
3. Разработать алгоритмы расчета математической модели ресурсоемкости цикла производства работ по предотвращению образования снежного наката на покрытии автомобильных дорог с учетом динамики изменения метеорологических данных в логико-математических соотношениях.

4. Разработать стратегию приоритетности оперативного распределения технических и материальных ресурсов на региональную сеть автомобильных дорог в условиях ограниченного финансирования.

Объект исследования:

Принципы организации работ по зимнему содержанию региональной сети автомобильных дорог

Предмет исследования:

Совокупность закономерностей моделирования между организационными комплексами работ по зимнему содержанию региональной сети автомобильных дорог и прогнозируемой высотой образования снежных и снежно-ледяных отложений.

Научная новизна исследования:

- определены закономерности между параметрами (Уровень зимнего содержания) и факторами влияния (детализированная информация о дорожно-метеорологической ситуации);
- определены закономерности влияния структурированных метеорологических данных на выбор оптимальной технологии содержания в соответствии с нормативными требованиями;
- разработана аналитическая модель, позволяющая сформировать рекомендации для стратегического планирования мероприятий зимнего содержания автомобильных дорог с учетом материально-технического оснащения, технико-эксплуатационных характеристик исследуемого участка, его местоположение и уровня зимнего содержания.

Теоретическая значимость исследования заключается:

- получение информационно-аналитической модели выбора оптимальной технологии зимнего содержания с прогнозированием дорожной и метеорологической ситуации;
- получение аналитической модели приоритетного распределения материально-технических ресурсов.

Практическая значимость исследования заключается:

в возможности оперативного регулирования назначения мероприятий по зимнему содержанию региональной сети автомобильных дорог с учетом динамики изменения метеорологической информации в условиях ограниченного финансирования.

Методология и методы исследования:

Работа базируется на методологии системного анализа: использован комплексный метод исследований, который включил в себя литературный и патентный поиск, анализ и обобщение, теоретические исследования, математическое моделирование.

Положения, выносимые на защиту:

1. Концептуальные принципы организации работ по зимнему содержанию региональной сети автомобильных дорог в контексте экосистемного подхода, заключающегося в исследовании

теории и практики оперативного управления данными комплексами работ и обеспечивающие минимизацию их ресурсоемкости в условиях ограниченного финансирования, при этом, позволяющие обеспечить требования к безопасности дорожного движения.

2. Концептуальная методика прогнозирования высоты снежных и снежно-ледяных отложений на основе расчета плотности снежных масс, обеспечивающая обоснованный подход к формированию оптимального комплекса работ по зимнему содержанию сети АД и позволяющая оптимизировать их ресурсоемкость в условиях ограниченного объема ресурсов без потери требований к качеству производства работ

3. Математическая модель расчета ресурсоемкости для циклов производства работ по предотвращению образования снежного наката на основе учета динамики изменения дорожно-климатической ситуации, которая определяет зависимость между метеорологическими данными (продолжительностью и интенсивностью снегопадов, плотностью снежных отложений) и расчетными параметрами цикла (временные, материальные и технические) и позволяет обосновать и снизить затраты на выполнение комплекса работ

4. Закономерности изменения ресурсоемкости работ от вида и высоты снежных и снежно-ледяных отложений, которые обеспечивают детальный учет технических и трудовых ресурсов для производства работ и повышение эффективности используемых ресурсов, позволяющие определить стратегические принципы распределения финансов по территориям региональной сети автомобильных дорог.

Степень достоверности исследования:

обеспечивается методологический базой исследований, основанной на фундаментальных теоретических положениях, результатов других ученых и корректностью математического аппарата.

Апробация результатов:

Основные результатов исследования докладывались и обсуждались на V Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Образование. Транспорт. Инновации. Строительство», 2021 года. – Омск, СибАДИ.

Публикации по работе:

По материалам исследований опубликовано 7 печатных работ, в том числе 1 статья подготовлена и опубликована в журнале, входящем в перечень ВАК и 1 статья подготовлена и опубликована в журнале, входящем в перечень SCOPUS.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цель и задачи исследования, показаны научная новизна и практическая значимость работы.

В работах Т.В. Бобровой, Т.В. Самодуровой, Д.А. Скоробогатченко, Ю.В. Коденцевой, в достаточной мере рассматриваются вопросы прогнозирования формирования стекловидного льда, а также мероприятия по предупреждению его образования и ликвидации. При этом, снежным отложениям уделено большое внимание только в рамках снежных заносов, однако вопросы прогнозирования высоты рыхлого и талого снега, уплотненного снега остаются открытыми.

В первой главе произведен анализ отечественного и зарубежного опыта совершенствования системы зимнего содержания автомобильных дорог, обзор решенных задач и существующих проблем.

Нарушением требований к состоянию проезжей части дороги превышения толщины талого, рыхлого снега и наличие снежного наката, является одним их показателей дефектов зимнего содержания. Прогнозный расчет высоты снега, зависящей от его плотности, в составе цикла производства работ по предотвращению и ликвидации образования представляет собой одним из этапов расчета цикла производства работ и является расчетным параметром метеорологической информации.

Предлагается ввести термин плотность рыхлого снега в составе исходной детализированной метеорологической информации, влияющих на моделирование прогнозированной высоты отложений и формирование цикла по предупреждению образования снежного наката на автомобильной дороге до начала его формирования.

Снежные и снежно-ледяные формируются из выпавшего снега, однако его физическое состояние меняется из-за воздействия метеофакторов и механической нагрузки. Выпавший рыхлый снег преобразуется в талый, при частичном его плавлении, а под давлением колеса автомобильного транспорта и определенных метеорологических условиях в снежный накат.

Принято считать, что плотность снежного покрова определяется функцией от высоты, при этом разнятся соотношения и значения. Ниже представлены основные формулы для численного прогнозирования определения плотности снежного покрова (таблица 1):

Таблица 1 – Формулы определения плотности снежного покрова

№ n/n	Формулы плотности	Комментарии
1	$\rho = (90 + 130\sqrt{h})(1,5 + 0,17\sqrt[3]{T})(1 + 0,1\nu(1))$ Где, ρ - плотность снега, кг/м³; h - высота	Полученные значения плотности были завышены относительно измерений.

	снежного покрова, м; T – средняя температура воздуха во время снегопада (метели), °C; v – скорость ветра в тот же период, м/с.	
2	$\rho = 67,9 + 51,3e^{T/2,6} \quad (2)$ Где, T – средняя температура воздуха во время снегопада (метели), °C .	Дает достаточно точные результаты в ограниченном диапазоне температур.
3	$\rho = 450 + \frac{20470}{h} (1 - e^{-h/67,3}) \quad (3)$ Где, h - высота снежного покрова, м .	Коэффициент детерминации 70%, не эффективно при использовании в практике.
4	$\rho = \frac{1,6785h^{0,5235}}{g} \quad (4)$ Где, g – ускорение свободного падения, м/с² .	В работе представлено как наиболее эффективное уравнение, имеет более точные результаты
5	$\rho_{s,f} = 67,92 + 51,25e^{\frac{T_a}{2,59}}, T_a \leq 0^\circ C; \quad (5)$ $\rho_{s,f} = \min(200; 119,2 + 20T_a), T_a > 0^\circ C \quad (6)$ Где, T_a – температура воздуха, °C; $\rho_{s,f}$ – плотность свежавыпавшего снега, кг/м³ .	Применяется в случаях выпадения небольшого количества осадков, не более 12 часов, а так же для верхних слоев СП.
6	$\rho = \frac{(\frac{mg}{10^6(1-\sigma)} + 1,86)}{0,0167}, T > -5^\circ C; \quad (7)$ $\rho = \frac{(\frac{mg}{10^6(1-\sigma)} + 10,8)}{0,059}, T \leq 5^\circ C; \quad (8)$ Где, m — масса снега, вычисляемая по формуле $m = H(\rho_1 + \rho_2 + \dots)$, $H = 0,01$ м; $\rho_1, \rho_2 \dots$ плотности первого, второго и т.д. элементов, кг/м³; g — ускорение свободного падения м/с²; σ — параметр, отвечающий за изменение размера элемента при остаточной деформации, связанный с давлением вышележащих слоев.	Применяется в случаях выпадения большого количества осадков, а так же для нижних слоев СП.

Для расчета прогнозирования высоты рыхлого снега на покрытии проезжей части были применены формулы (5), (6) в составе цикла производства работ по предотвращению образования снежного наката на покрытии проезжей части.

Во второй главе сформирована структура информационно-аналитической системы управления зимним содержанием автомобильных дорог для выбора оптимального мероприятия по содержанию.

Идея построения информационно-аналитической системы заключается в моделировании дорожно-метеорологической ситуации, на основе исходной информации. Всю систему можно разделить на 3 основных блока Рисунок 1:

- «Блок исходных данных»;
- «Расчетный блок»;
- «Блок анализа и вывода».

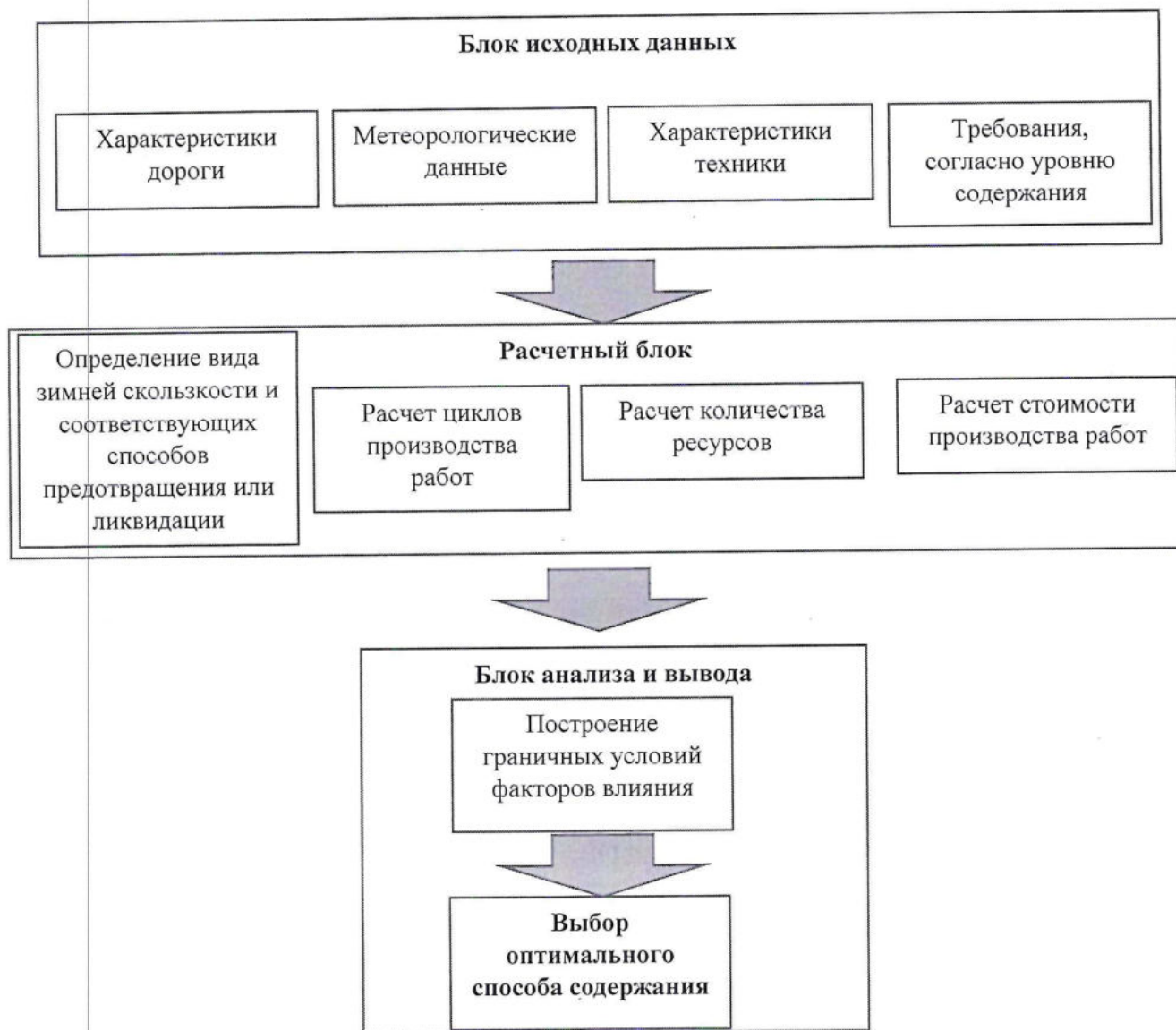


Рисунок 1. Структура информационно-аналитической системы управления зимним содержанием автомобильных дорог

«Блок исходных данных» можно условно разделить на 4 направления, несущие в себе необходимую информацию для формирования и расчета цикла производства работ:

- характеристики дороги;
- метеорологические данные, полученные с дорожных датчиков или данных Гидрометцентра;
- характеристики техники;
- требования, согласно уровню содержания.

«Расчетный блок» основан на формировании цикла производства работ, предусмотренного для соответствующего вида скользкости и на вычислении расчетных метеорологических параметров, количества и стоимости необходимых ресурсов, в рамках нормативных требований,

согласно уровню содержания автомобильных дорог (ГОСТ Р 59434-2021, ГОСТ 59201-2021, ГОСТ Р 50597-2017).

Завершающий «Блок анализа и вывода» информационно-аналитической системы является выводом выполненных расчетов, где, в результате анализа расчетных данных, формируются обоснования в виде граничных условий выбора оптимального мероприятия зимнего содержания автомобильной дороги.

Применение детализированной метеорологической информации в совокупности с расчетами информационно-аналитической системы управления зимним содержанием автомобильных дорог способствуют сокращению потребления ресурсов, оперативному регулированию методов назначения мероприятий по содержанию, созданию временных и технических резервов, особенно в условиях ограниченного финансирования и нестабильной экономики в настоящее время. Прогнозируемый цикл производства работ позволяет не только обосновать трудозатраты в рамках нормативных требований, но и совместно с анализом статистических метеорологических данных способствует более качественному обеспечению ресурсами подрядных и субподрядных организаций.

В третьей главе разработаны алгоритмы расчета математической модели ресурсоемкости цикла производства работ по предотвращению образования снежного наката на покрытии автомобильных дорог с учетом динамики изменения метеорологических данных в концепции работы информационно-аналитической модели.

Определение оптимальной стратегии предупреждения снежного наката основан на выборе комплекса работ по зимнему содержанию с необходимой ресурсоемкостью и максимальной продолжительностью – с предварительной обработкой покрытия или распределение ПГМ во время снегопада. Условия, являющиеся катализатором выбора оптимальной стратегии предупреждения образования снежного наката- совокупность факторов влияния, которые увеличат расходы на содержание участка дороги.

Весь цикл работ по предупреждению образования снежного наката во время снегопада можно разделить на несколько этапов, также представленный на рисунке 2, согласно ОДМ. Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах:

1. Выдержка;
2. Обработка покрытия ПГМ;
3. Интервал снегонакопления допустимой высоты талого снега;
4. Очистка покрытия.

При этом 2, 3 и 4 этапы могут повторяться, согласно цикличности производства работ.

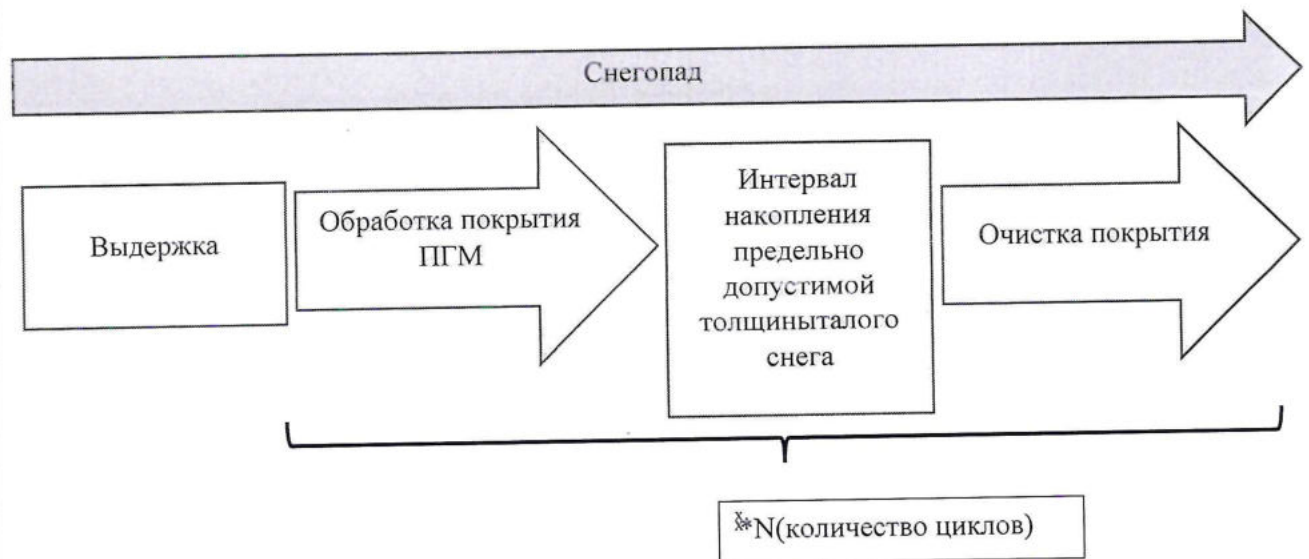


Рисунок 2. Цикл работ по предотвращению образования снежного наката во время снегопада.

Цикл работы по предотвращению определяется с помощью следующего выражения:

$$t_{\text{цикл}} = t_{\text{выд}} + t_{\text{ц1}} + t_{\text{ин}} + t_{\text{ц2}}, \quad (9)$$

где $t_{\text{цикл}}$ – время продолжительности одного цикла предупреждения образования наката, ч; $t_{\text{выд}}$ – период накопления необходимой высоты рыхлого снега на покрытии, ч; $t_{\text{ц1}}$ – продолжительность выполнения цикла распределения ПГМ, ч; $t_{\text{ин}}$ – интервал накопления допустимой толщины талого снега, ч; $t_{\text{ц2}}$ – продолжительность выполнения цикла очистки покрытия, ч.

Продолжительность выдержки определяется в зависимости от интенсивности снегонакопления и учитывается только при выполнении первого цикла предупреждения.

В первую очередь, необходимо определить временные параметры цикла, которые будут ограничиваться временем между проходами снегоочистительной техники или окончанием снегопада. В свою очередь, время между проходами определяется периодом накопления предельно допустимой высоты талого снега, а именно:

$$t_{\text{пр}} = \frac{\rho_{\text{от}} * h_{\text{доп}}}{i_{\text{ос}}}, \quad (10)$$

где $\rho_{\text{от}}$ – плотность талого снега на покрытии (отложения рыхлого снега с ПГМ, насыщенные 20% влажности), г/см³; $h_{\text{доп}}$ – предельно допустимая толщина талого снега, соответствующая уровню содержания автомобильной дороги, мм; $i_{\text{ос}}$ – интенсивность осадков, мм/ч.

Математическую модель расчета можно представить в виде логико-математических соотношений, которые буду описывать условия формирования той или иной ситуации, а результатом будут являть значения «истина» и «ложь», представляющие собой решение задачи.

Так, время одного цикла производства работ можно представить в виде соотношения:

$$\begin{aligned} &\text{Если } t_{\text{пр}} > t_{\text{снег}}, \text{ то} \\ &\text{значению «истина» соответствует } t_{\text{цикл}} = t_{\text{снег}}, \\ &\text{значению «ложь» - } t_{\text{цикл}} = t_{\text{пр}}, \end{aligned} \quad (11)$$

где $t_{\text{снег}}$ – продолжительность выпадения осадков, ч. Таким образом, можно вычислить продолжительность цикла, а так же выявить наличие цикличности.

Было определено единовременное или последовательное выполнение технологических операций по распределению ПГМ и снегоочистке. Для этого следует этап формирования расчета интервала накопления допустимой толщины талого снега. После распределения ПГМ, на дорожном покрытии рыхлый снег преобразуется в талый, расчет интервала накопления допустимой толщины которого будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} &\text{Если } t_{\text{снег}} < t_{\text{пр}}, \text{ то} \\ &\text{Значение «истина»} \left(\begin{aligned} &\text{Если } h_{\text{нт}} \leq h_{\text{доп}}, \text{ то} \\ &\text{«истина» } t_{\text{инт}} = t_{\text{дир}} + t_{\text{снег}} - t_{\text{ц2}} - t_{\text{выд}} - t_{\text{ц1}}, \\ &\text{«ложь» } t_{\text{инт}} = \frac{h_{\text{доп}} * t_{\text{снег}}}{h_{\text{тс}}} - t_{\text{выд}} - t_{\text{ц1}} \end{aligned} \right), \\ &\text{Значение «ложь»} \left(\begin{aligned} &\text{Если } h_{\text{нт}} > h_{\text{доп}}, \text{ то} \\ &\text{«истина» } t_{\text{инт}} = t_{\text{дир}} + t_{\text{цикл}} - t_{\text{ц2}} - t_{\text{выд}} - t_{\text{ц1}}, \\ &\text{«ложь» } t_{\text{инт}} = \frac{h_{\text{доп}} * t_{\text{ц1}}}{h_{\text{тс}}} - t_{\text{выд}} - t_{\text{ц1}} \end{aligned} \right), \end{aligned} \quad (12)$$

где $t_{\text{инт}}$ – интервала накопления допустимой толщины талого снега, ч; $t_{\text{ц2}}$ – продолжительность цикла сгребания, ч; $t_{\text{ц1}}$ – продолжительность цикла распределения ПГМ, ч; $h_{\text{тс}}$ – толщина талого снега на покрытии за снегопад, см.

$$h_{\text{тс}} = \frac{h_{\text{рс},\rho} * i_{\text{ос}} * t_{\text{снег}}}{1,2}, \quad (13)$$

где $h_{\text{рс},\rho}$ – толщина рыхлого снега, зависящая от его плотности, на 1 мм осадков в виде воды, см; 1,2 – коэффициент, учитывающий частичное плавление рыхлого снега, используя ПГМ.

Таким образом, соотношение (12) учитывает прогнозируемую толщину снежных отложений и требования уровня содержания. Особенностью расчета интервала снегонакопления является учет срока ликвидации талого снега, в случае накопления толщины отложений, меньше предельно допустимой толщины талого снега, тем самым, формируя временной резерв для выхода снегоочистительной техники. При продолжительном снегопаде учитывается своевременный

выход снегоочистителей по достижению требуемой высоты отложений за время $t_{пр}$. Отрицательное значение, полученное в результате данного расчета, означает выход снегоочистительной техники до окончания распределения ПГМ.

Далее следует расчет этапа снегоочистки, где необходимо учесть следующее условие, при расчете количества машин в одном отряде:

$$n_{co} * b_c > b, \quad (14)$$

где n_{co} – количество снегоочистителей в одном отряде, b_c – ширина рабочей зоны снегоочистки, м; b – ширина проезжей части в каждом направлении, м.

Рассчитаем количество проходов снегоочистительной техники, которое необходимо будет сделать за весь прогнозируемый период снегопада:

$$N_{пс} = \frac{t_{сн\epsilon\gamma}}{t_{пр}}, \quad (15)$$

где $N_{пс}$ – количество проходов снегоочистителей.

Необходимо определить общее количество машин, необходимых на весь период снегопада, используя логико-математическое соотношение:

Если $t_{сн\epsilon\gamma} > t_{по}$

$$\text{Значение «истина» } n = n_{co} * \left(\frac{t_{пр}}{t_{по}}\right),$$

$$\text{Значение «ложь» } n = n_{co} * N_{пс}, \quad (16)$$

где $t_{по}$ – время прохода одного отряда снегоочистителя всего участка дороги, ч.

При этом, значение отношения $\left(\frac{t_{пр}}{t_{по}}\right)$ необходимо округлить до целого в большую сторону.

Тем самым, соотношение (16) учитывает количество отрядов снегоочистителей, необходимых для своевременной снегоочистки проезжей части дороги.

Продолжительность этапа снегоочистки можно рассчитать с помощью следующего соотношения, учитывая цикличность выхода техники:

Если $t_{по} > t_{пр}$

$$\text{Значение «истина» } t_{ц2} = t_{по},$$

$$\text{Значение «ложь» } t_{ц2} = (N_{пс} - 1) * t_{пр} + t_{по}, \quad (17)$$

где $t_{ц2}$ – время снегоочистки, ч.

На этом завершается расчет цикла работ по предупреждению образования снежного наката во время снегопада, результатом которого является расчет ресурсоемкости работ и временных параметров (рисунок 3).

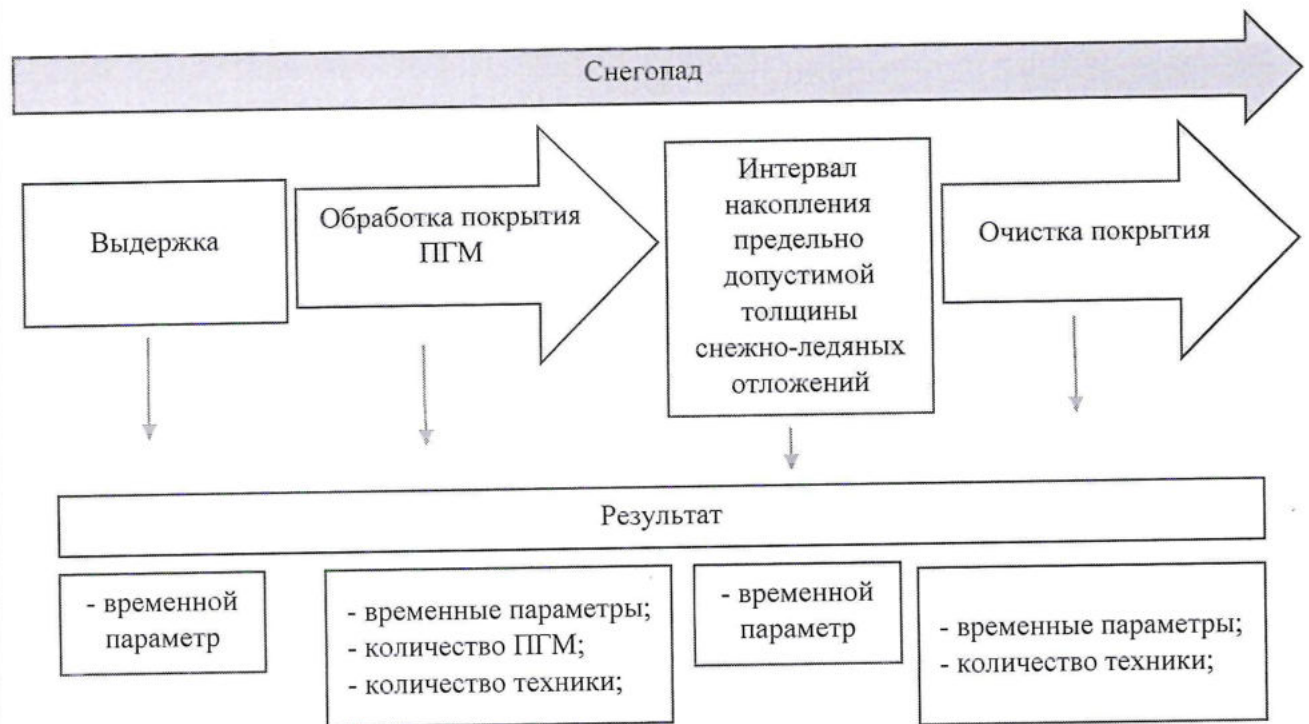


Рисунок 3. Результаты расчета цикла работ по предупреждению образования снежного наката во время снегопада.

Далее необходимо сформировать расчет цикла работ с использованием предварительной обработки покрытия до снегопада. Для этого была определена норма россыпи ПГМ в количестве $\rho_{\text{по}} = 15 \text{ г/м}^2$. Необходимо рассчитать время работы ПГМ:

$$t_{\text{рпгм}} = \frac{t_{\text{снег}} \cdot \rho_{\text{по}}}{\rho}, \quad (18)$$

где $t_{\text{рпгм}}$ - время работы ПГМ, ч, $\rho_{\text{по}}$ - норма россыпи ПГМ для предварительной обработки покрытия, г/м^2 , ρ - норма россыпи ПГМ для предотвращения образования снежного наката.

Рассчитывается период накопления допустимой толщины отложений на покрытии с использованием предварительной обработки:

$$t_{\text{нпо}} = \frac{h_{\text{доп}} \cdot t_{\text{снег}}}{h_{\text{нснег}}}, \quad (19)$$

где $t_{\text{нпо}}$ - время накопления допустимой толщины талого снега на покрытии с использованием предварительной обработки, ч; $h_{\text{нснег}}$ - толщина талого снега, сформированного за время снегопада, см.

$$h_{\text{нснег}} = \frac{h_{\text{рс}, \rho} \cdot i_{\text{ос}} \cdot t_{\text{снег}}}{1,2}, \quad (20)$$

где 1,2 - коэффициент, учитывающий частичное плавление снежного наката, используя ПГМ.

От интенсивности и продолжительности снегопада будет зависеть состав работ по предупреждению образования снежного наката до и во время снегопада, для этого необходимо сформировать следующее логико-математическое соотношение:

$$\text{Если } t_{\text{нпо}} \geq t_{\text{снег}}$$

Значению «истина» соответствует «Выполнение предварительной обработки»,

Значению «ложь» соответствует «Выполнение предварительной обработки совместно с циклом предотвращения образования наката во время снегопада (21)

Данное соотношение формирует граничные условия использования применения предварительной обработки, как самостоятельной технологии. Это связано с недостаточным количеством ПГМ, распределяемым до прогнозируемого снегопада, а также с превышением допустимой высоты отложений на покрытии.

Расчет ресурсоемкости и временных параметров для предварительной обработки будут аналогичны этапу распределения ПГМ. При этом, продолжительность первого цикла предотвращения образования наката во время снегопада после предварительной обработки будет приниматься за вычетом времени работы ПГМ.

В данной работе был произведен стоимостной анализ двух видов стратегий предупреждения образования снежного наката (без предварительной обработки покрытия и с обработкой). В результате расчета были сформированы граничные условия выбора оптимальной стратегии за счет увеличения затрат на предварительную обработку.

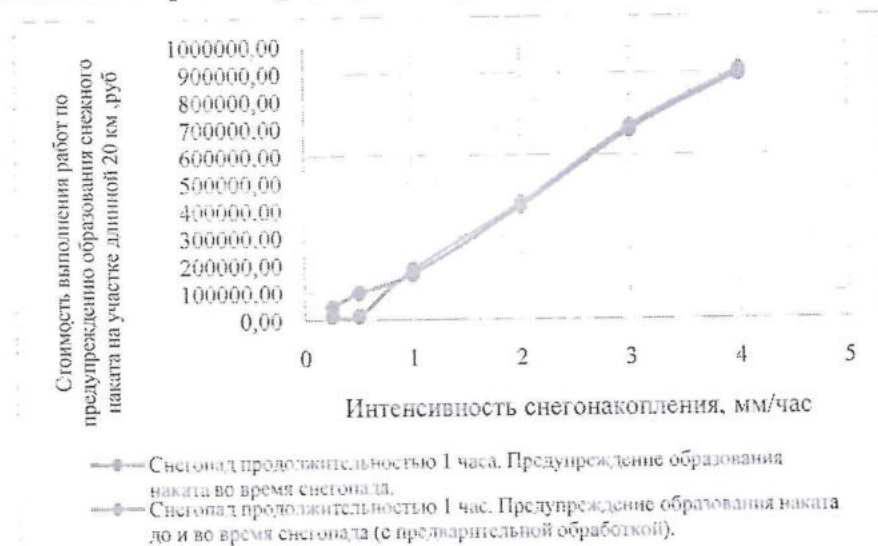


Рисунок 4. График зависимости стоимости работ по предупреждению образования наката с использованием двух стратегий при продолжительности снегопада 1 час и температуре воздуха

$T = -8^{\circ}\text{C}$

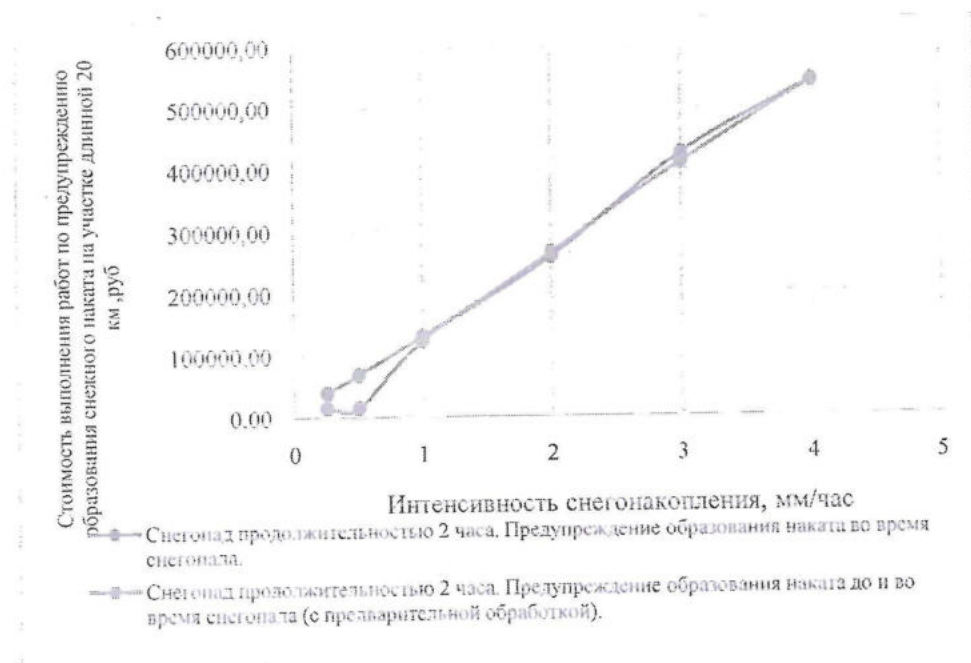


Рисунок 5. График зависимости стоимости работ по предупреждению образования наката с использованием двух стратегий при продолжительности снегопада 2 часа и температуре воздуха $T=-8^{\circ}\text{C}$

Пример результатов расчетов представлены на рисунках 4 и 5, где точка пересечения двух кривых является граничным условием выбора способа содержания, исходя из стоимостных характеристик. Из графиков видно, что с изменением расчетной плотности рыхлого снега меняется стоимость выполнения работ по предупреждению образования снежного наката, особенно при низкой интенсивности снегопада, а также граничные условия.

Результаты всего комплекса расчетов представлены на рисунке 6 и 7. На графиках сформированные линии, соответствующие расчетным плотностям рыхлого снега при определенных температурах воздуха, являются граничными условиями выбора стратегии содержания, исходной информацией которых являются точки пересечения, пример которых представлены на рисунках 4 и 5.

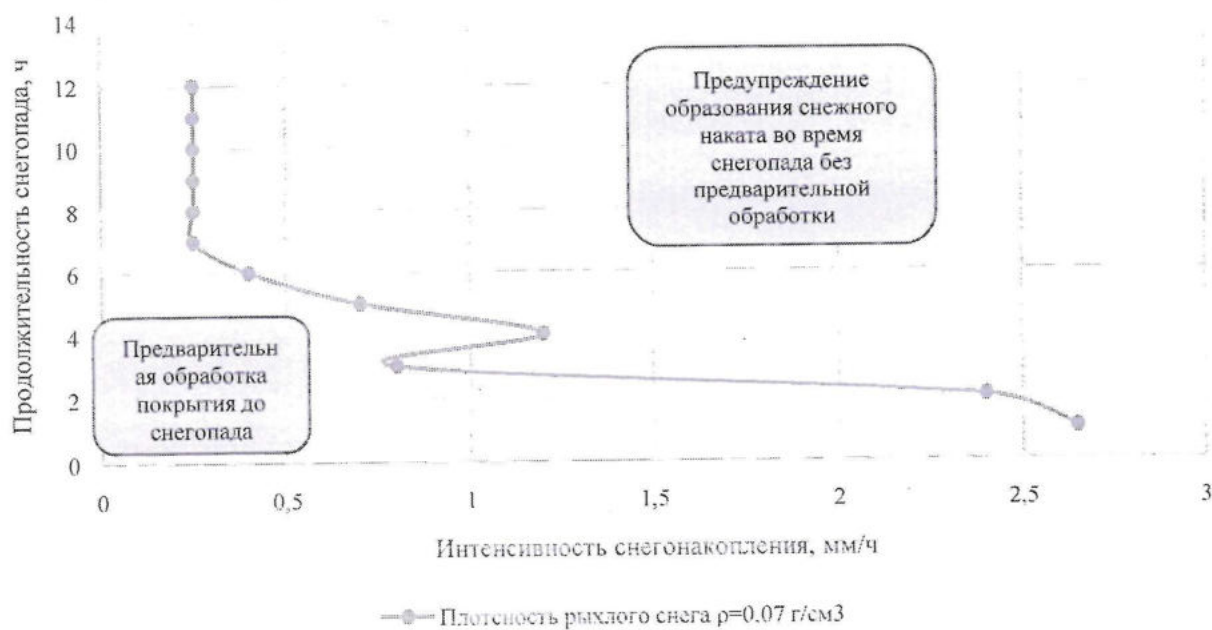


Рисунок 6. Граничные условия выбора оптимальной стратегии предупреждения образования снежного наката на автомобильной дороге до и во время снегопада при температуре воздуха $T=-8^{\circ}\text{C}$

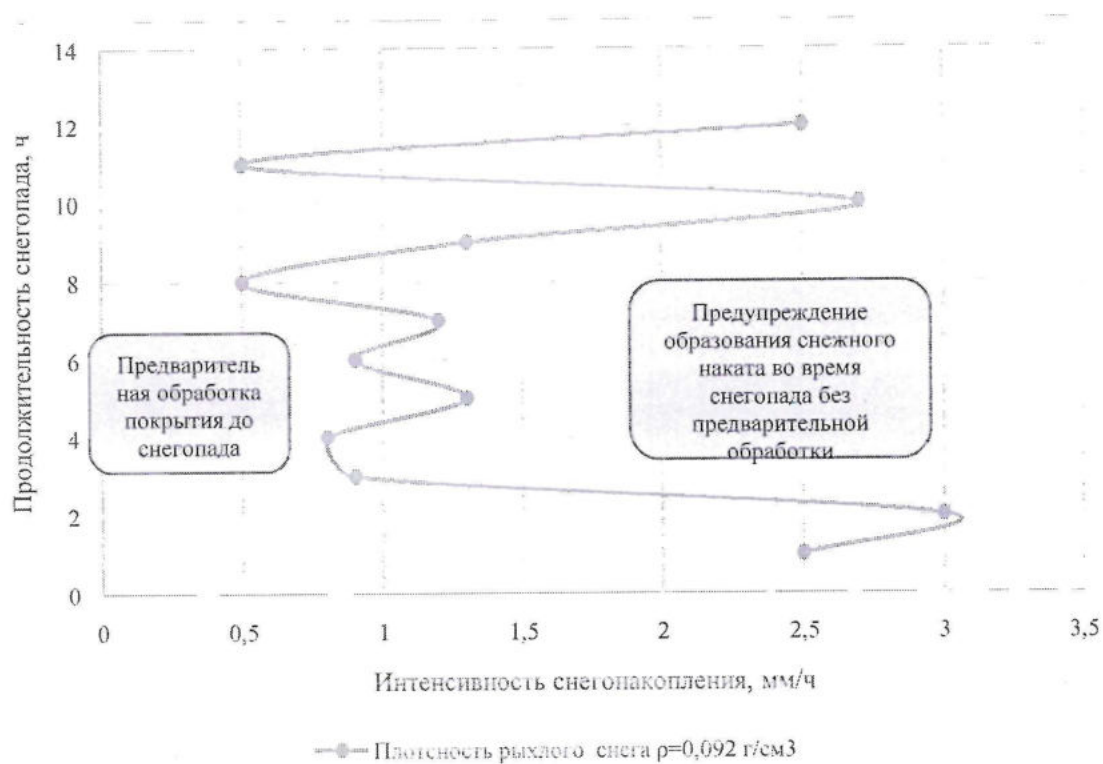


Рисунок 7. Граничные условия выбора оптимальной стратегии предупреждения образования снежного наката на автомобильной дороге до и во время снегопада при температуре воздуха $T=-2^{\circ}\text{C}$

Данные условия обоснованы представленным в данной статье расчетом. Весь расчет был автоматизирован с помощью инструментов Microsoft Excel, решая одну из задач совершенствования методов управления зимним содержанием автомобильных дорог – автоматизации процесса выбора технологии зимнего содержания.

В четвертой главе разработана аналитическая модель, позволяющая сформировать рекомендации для стратегического планирования мероприятий зимнего содержания автомобильных дорог с учетом материально-технического оснащения, характеристик исследуемого участка и его местоположение и уровня зимнего содержания.

Аналитическая система Приоритетного распределения ресурсов (ПРР) представляет собой интеграцию факторов влияния, созданная для формирования приоритетных рекомендаций подрядным и субподрядным организациям, позволяющая содержать в соответствующем уровне содержания региональную сеть автомобильных дорог в условиях нехватки ресурсов.

В данной работе предлагается сформировать аналитическую модель из основных факторов влияния, способную реагировать на изменения дорожной и климатической ситуации в пределах одного муниципального района региональной сети автомобильных дорог, позволяющая формировать градацию распределения материальных и технических ресурсов. Данная модель рассмотрена на примере устранения дефектов на покрытии проезжей части при интенсивности движения более 1500 авт./сут.

Исходными данными будут являться:

1. Метеорологические данные (дорожные датчики или Гидрометцентр);
2. Нормативные требования (ГОСТ Р 59434-2021, ГОСТ Р 50597-2017, ГОСТ 59201-2021);
3. Материально-техническое оснащение дорожной службы (вид и количество техники, ПГМ);
4. Территориальное расположение исследуемого участка дороги, региональная сеть;
5. Технические характеристики исследуемого участка дороги (категория дороги, количество и ширина полос движения, фактическая интенсивность).

Необходимо определить основные области факторов влияния в данной модели:

- метеорологические данные;
- местоположение исследуемого участка дороги относительно муниципального центра;
- технические характеристики исследуемого участка дороги;
- перечень нормативных требований соответствующего уровня содержания.

В большинстве случаев, парк техники и материальное оснащение располагается на территории муниципального центра района. Для расчета дальности возки ПГМ и времени прибытия снегоуборочной техники предлагается разбить региональную сеть на мастерские участки по 1 км относительно муниципального центра.

Была создана система координат. Каждая ось в данной системе представляет собой совокупность показателей для каждого фактора влияния, значение которых определяет их расположение на оси координат (рисунок 8):

1. Метеорологические данные, Ось z^m (вид зимней скользкости, продолжительность и интенсивность выпадения осадков);
2. Нормативные требования к состоянию покрытия проезжей части, Ось x^n (критерий оценки дефекта, срок устранения дефекта);
3. Технические характеристики исследуемого участка дороги Ось y^t (ширина и количество полос движения);
4. Местоположение исследуемого участка дороги Ось j^{GIS} (отдаленность участка дороги относительно муниципального центра).

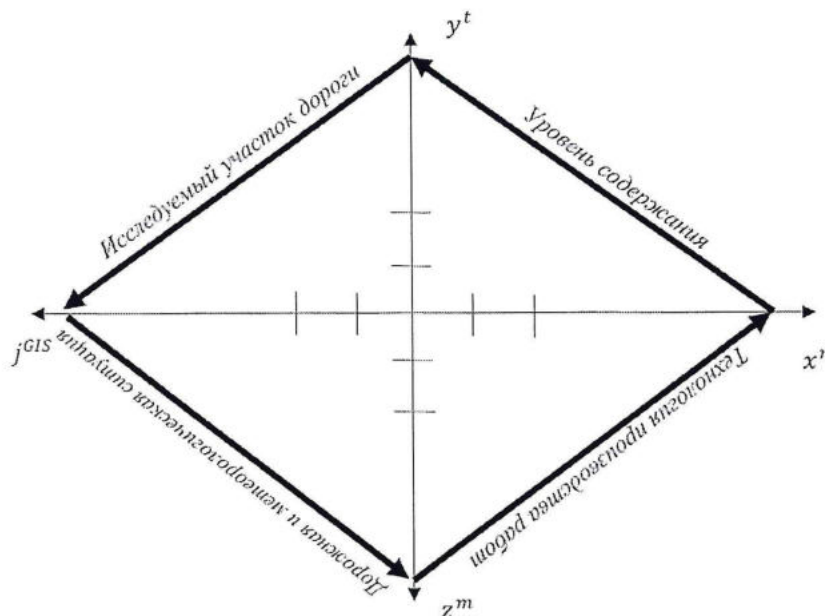


Рисунок 8. Формирование пространств аналитической системы Приоритетного распределения ресурсов.

В данной системе координат было определено 4 пространства, исходя из комбинаций осей:

1. Технология производства работ;
2. Уровень содержания;
3. Исследуемый участок дороги;
4. Дорожная и метеорологическая ситуация.

Для формирования зон необходимо обозначить граничные условия точками на каждой оси, которые будут являться катетами в прямоугольных треугольниках (рисунок 9).

Красной обозначается зона повышенного внимания, определяющая первостепенное реагирование на сформированный прогноз. При этом, могут образоваться две и более аналогичных зон, очередность выполнения мероприятий относительно которых определяется технико-экономическим расчетом.

Зеленая зона предполагает использование превентивных мероприятий относительно соответствующего гололедного явления и не требует моментального реагирования.

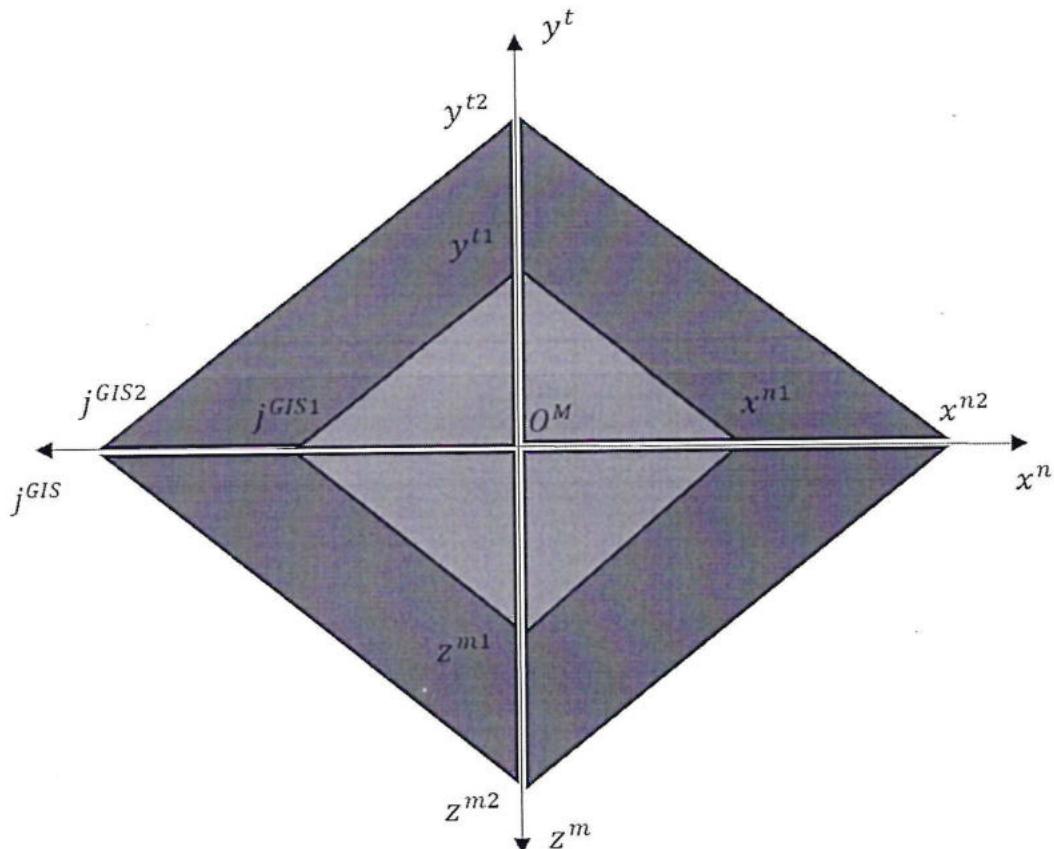


Рисунок 9. Определение граничных условий осей факторов влияния аналитической системы Приоритетного распределения ресурсов.

В случае формирования стекловидного льда на покрытии проезжей части, превентивным мероприятием будет являться выполнение предварительной обработки (зеленая область). Для рыхлого снега – назначение цикла снегоуборки при котором высота отложений не достигает предельно допустимого значения к концу снегопада. При прогнозировании снежного наката граничным условием будет являться целесообразность выполнения предварительной обработки до начала снегопада, используя технико-экономическое обоснование (зеленая область).

Нормативные требования представляют собой совокупность критериев соответствующих дефектов (стекловидный лед, рыхлый снег, снежный накат) и сроков их ликвидации. Точная комбинация для каждого дефекта рассматривается отдельно для Оси x^n в рамках диссертационных исследований.

Технические характеристики обслуживаемого участка дороги влияют как на уровень содержания, так и на расчет цикла производства работ. В системе ПРР влияние на принадлежность к области оказывает ширина проезжей части, своевременную очистку которой необходимо обеспечивать. Имеющийся парк техники не всегда может обеспечивать прогнозируемое количество машин одним отрядом по всей ширине проезда.

Отдаленность участка дороги от муниципального центра предполагает увеличение затрат на горюче-смазочные материалы за счет дальности возки, а также учет заблаговременного выхода техники для обеспечения своевременного выполнения работ. Усложняет ситуацию прогноз продолжительного снегопада и высокая интенсивность выпадения осадков. Учитывая вышеизложенное, предлагается ограничить условия превентивных мер для оси j^{GIS} одним отрядом техники, способным произвести цикл производства работ в один проход за весь снегопад

В результате были определены зеленые и красные пространства аналитической системы, которые можно выразить через площади прямоугольных треугольников:

Пространство превентивных мер:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{O^M_{Z^{m1}} \cdot O^M_{X^{n1}}}{2} \text{ область технологии производства работ;} \\ \frac{O^M_{X^{n1}} \cdot O^M_{Y^{t1}}}{2} \text{ область уровня содержания;} \\ \frac{O^M_{Y^{t1}} \cdot O^M_{j^{GIS1}}}{2} \text{ область исследуемого участка дороги;} \\ \frac{O^M_{j^{GIS1}} \cdot O^M_{X^{n1}}}{2} \text{ область дорожной и метеорологической ситуации} \end{array} \right. \quad (22)$$

Пространство повышенного внимания:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{O^M_{Z^{m2}} \cdot O^M_{X^{n2}} - O^M_{Z^{m1}} \cdot O^M_{X^{n1}}}{2}; \\ \frac{O^M_{X^{n2}} \cdot O^M_{Y^{t2}} - O^M_{X^{n1}} \cdot O^M_{Y^{t1}}}{2}; \\ \frac{O^M_{Y^{t2}} \cdot O^M_{j^{GIS2}} - O^M_{Y^{t1}} \cdot O^M_{j^{GIS1}}}{2}; \\ \frac{O^M_{j^{GIS2}} \cdot O^M_{X^{n2}} - O^M_{j^{GIS1}} \cdot O^M_{X^{n1}}}{2}. \end{array} \right. \quad (23)$$

Далее, определение принадлежности исследуемого участка дороги к зеленой или красной области дают возможность сформировать стратегию назначения мероприятий по предотвращению и ликвидации отложений на проезжей части. Наличие зеленых зон дает временные и материальные резервы:

1. Пространство дорожной и метеорологической ситуации - применение превентивных мероприятий по зимнему содержанию.
2. Пространство технологии производства работ - оптимизация прогнозируемого цикла производства работ.
3. Пространство уровня содержания - снижение уровня содержания.

4. Пространство исследуемого участка дороги – создание временного резерва.

Таким образом, для правильной работы аналитической системы Приоритетности распределения ресурсов ПРР (рисунок 10), для начала, необходимо определить возможность и эффективность содержания соответствующих дорог в УСП (уплотненном снежном покрове) (Шаг 1 на рисунке 10), так как мероприятия по содержанию таких дорог согласно нормативным документам отличается. Далее, формируется прогноз гололедного явления (Шаг 2 на рисунке 10), относительно которого строится отдельная система координат ПРР и определяются граничные условия для каждой оси. В противном случае, система фиксирует факт отсутствия прогноза гололедных явлений и необходимости выполнения мероприятий по зимнему содержанию.

Далее, для каждого участка дороги, длиной 1 км, определяются критерии факторов влияния по четырем осям (метеорологическая детализированная информация, соответствующая технология производства работ, критерии оценки соответствующего дефекта и сроки устранения (таблица 4 в ГОСТ Р 50597-2017), ширина проезжей части и количество полос движения, отдаленность участка дороги относительно муниципального центра).

Согласно назначенным критериям определяется принадлежность к зеленой или красной области, что, в свою очередь, формирует соответствующие пространства в системе осей координат (Шаг 3 на рисунке 10).

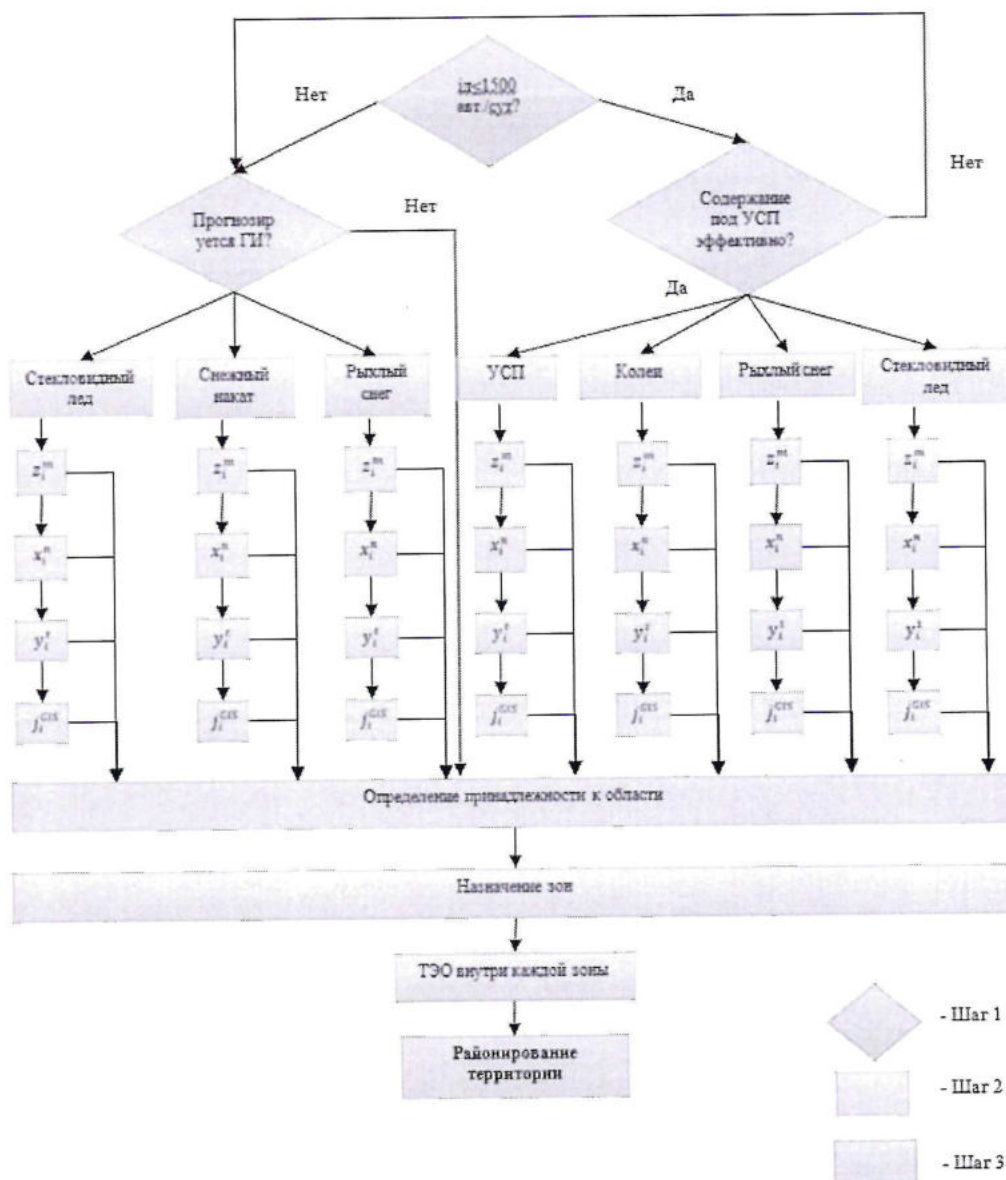


Рисунок 10. Принцип последовательности расчетов распределения ресурсов.

Затем назначаются зоны районирования территории, исходя из принадлежности каждого пространства определенной зоне (красная (К) и зеленая (З)), где красному цвету на карте будет соответствовать зона, с максимальной отдаленностью, жесткими нормативными требованиями и высокой категорией дороги. На данные зоны необходимо распределить материально-технические ресурсы. Система распределения зон выполняется следующими комбинациями:

$$\begin{cases} K + K + K + K = 1 \\ K + K + K + 3 = 2 \\ K + K + 3 + 3 = 3 \\ K + 3 + 3 + 3 = 4 \\ 3 + 3 + 3 + 3 = 5 \end{cases} \quad (24)$$

Где, К- принадлежность i-го пространства к красной области, З- принадлежность i-го пространства к зеленой области, 1, 2, 3, 4, 5 – зоны на карте районирования территории, выделенные соответствующими цветами – красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой. Так

же необходимо обозначить зону 6 (белый цвет), в случае отсутствующего прогноза (Шаг 2 на рисунке 4).

В результате расчетов формируются рекомендации для стратегического планирования мероприятий зимнего содержания автомобильных дорог с имеющимся парком техники и материальных ресурсов. Планирование осуществляется из расчета удаленности участков дороги, их технических характеристик, прогноза зимней скользкости и нормативных требований содержания. Комбинация таких факторов влияния выявляет очередность выполнения технологических операций на территории муниципального района и соответственно распределяет ресурсы. Также, система позволяет сократить время на принятия решения за счет выполнения множества расчетов, в том числе технико-экономических обоснований выбора технологических операций.

Результаты. Применение детализированной метеорологической, в том числе прогнозирование высоты рыхлого и талого снега, информации в совокупности с автоматизированным расчетом способствуют совершенствованию методов управления зимним содержанием автомобильных дорог, особенно в условиях ограниченного финансирования и не стабильной экономики в настоящее время. Прогнозируемый цикл производства работ позволяет обосновать трудозатраты в рамках нормативных требований, сформировать временной и материально-технический резерв.

Разработанная аналитическая система ПРР дает возможность определить стратегию оптимизации материальных и технических ресурсов с учетом основных факторов влияния, предлагая комплексный подход к совершенствованию риск-ориентированного управления системы зимнего содержания региональной сети автомобильных дорог. Система ПРР предоставляет рекомендации с визуализацией районирования территории, сокращая время принятия решения, снижая стоимость работ, обосновывая трудозатраты, учитывая индивидуальные возможности парка техники, содержа дороги в требуемом уровне содержания, что является актуальным в нынешних.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Герлейн А.Ю. Анализ отечественного и зарубежного опыта совершенствования управления содержанием автомобильных дорог с учетом данных о состоянии дорожных объектов / А.Ю. Герлейн // Сборник материалов V Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. Омск. - 2021. С. 280-285.

2. Королева В.Н., Герлейн А.Ю., Коденцева Ю.В. Совершенствование методов оперативного управления региональной сетью автомобильных дорог на основе формирования единой информационной среды / В.Н. Королева, А.Ю. Герлейн, Ю.В. Коденцева // Архитектурно-

строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации. Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. Омск. - 2021. С. 302-306.

3. Коденцева Ю.В., Герлейн А.Ю. Применение характеристик снега для совершенствования управления содержанием автомобильных дорог с использованием метеорологических данных/ Ю.В. Коденцева, А.Ю. Герлейн // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство. Сборник материалов IV Национальной научно-практической конференции. Омск. - 2021. С. 687-692.

4. Коденцева Ю.В., Герлейн А.Ю., Шакенова Э.Ж. Влияние плотности наката на формирование цикла предотвращения образования уплотненного снега в системе управления зимним содержанием автомобильных дорог / Ю.В. Коденцева, А.Ю. Герлейн, Э.Ж. Шакенова // Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России. Материалы XVI Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Волгоград. - 2022. С. 263-272.

5. Коденцева Ю. В., Герлейн А.Ю. Параметризация метеорологической информации при назначении мероприятий по зимнему содержанию автомобильных дорог / Ю.В. Коденцева, А.Ю. Герлейн // Международный научно-исследовательский журнал - №12. – 2023. С. 138-146.

6. Gerlein A. BIM modeling technologies in motorway life cycle control systems / A. Gerlein, J. Kodentseva, V. Andreeva, V. Koroleva // International scientific and practical conference “Innovative technologies in agriculture”. -AIP Conference Proceedings January 2023. – p. 10.