КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ/COMPUTER MODELING AND DESIGN AUTOMATION

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.146

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ НАЗНАЧЕНИИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗИМНЕМУ СОДЕРЖАНИЮ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Научная статья

Коденцева Ю.В.[1, *], Герлейн А.Ю.[2]
[1] ORCID : 0000-0001-6548-1907;
[1, 2] Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Омск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (kodjul78[at]mail.ru)

Аннотация

В данной статье использование структуризации параметров метеорологической информации рассматривается как способ совершенствования системы оперативным управлением зимним содержанием автомобильных дорог. Выявлены закономерности влияния детализированных метеорологических данных на выбор мероприятия по зимнему содержанию в соответствии с нормативными требованиями. Введено понятие плотность рыхлого снега в качестве параметра метеорологической информации. Представлена архитектура информационно-аналитической системы управления зимним содержанием автомобильных дорог. Определена зависимость структурированной метеорологической информации и оптимального мероприятия по зимнему содержанию в информационно-аналитической системе управления зимним содержанием автомобильных дорог.

Ключевые слова: Параметризация метеорологической информации, информационно-аналитическая система по управлению зимним содержанием автомобильных дорог.

PARAMETRIZATION OF METEOROLOGICAL INFORMATION FOR ASSIGNING WINTER ROAD MAINTENANCE MEASURES

Research article

Kodeytseva J.V.[1, *], Gerlein A.Y.[2]
[1] ORCID : 0000-0001-6548-1907;
[1, 2] Siberian State Automobile and Road University, Omsk, Russian Federation

* Corresponding author (kodjul78[at]mail.ru)

Abstract

In this article, the use of structuring of meteorological data parameters is regarded as a way to improve the system of operational management of winter maintenance of motorways. Regularities of influence of detailed meteorological data on the choice of winter maintenance measures in accordance with the regulatory requirements are identified. The concept of loose snow density as a parameter of meteorological information is introduced. The architecture of the information and analytical system of management of winter maintenance of motorways is presented. The dependence of structured meteorological information and optimal winter maintenance measures in the information-analytical system of management of winter maintenance of highways is determined.

Keywords: parameterization of meteorological information, information and analytical system for winter road maintenance management.

Введение

Основой совершенствования системы управления производством работ в настоящее время является внедрение технологий информационного моделирования (ТИМ) на всех этапах жизненного цикла объектов строительства, в том числе при эксплуатации автомобильных дорог. При этом ТИМ включает в себя принятие оптимальных экономически и технически целесообразных управленческих решений на основе обработки большого объема данных.

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 в сложившейся дорожной ситуации.

В настоящее время решены как отдельные задачи, связанные с маршрутизацией [1], районированием и оптимизацией ресурсов [2], [3], прогнозированием дорожно-климатических ситуаций [4], [5], [6], так и комплекс задач, объединенных в концепцию проектно-ориентированного управления производством работ [7]. При этом актуальной задачей остается совершенствование системы оперативного управления зимним содержанием автомобильных дорог и акцентируется необходимость включения данного блока в общую информационную систему по управлению жизненным циклом автомобильных дорог.

Целью данной статьи является рассмотрение отдельного модуля информационно-аналитической системы по эксплуатации дорог в части формирования принципов эффективной структуризации параметров метеорологической информации для выбора оптимальных мероприятий для обеспечения бесперебойного и безопасного движения при зимнем содержании автомобильных дорог.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить граничные условия к уровням содержания автомобильных дорог, зависящие от нормативных требований;
- выполнить обоснование необходимости структуризации и детализации метеорологической информации при назначении мероприятий по зимнему содержанию сети автомобильных дорог;
- определить зависимость между принимаемым мероприятием по зимнему содержанию с установленными граничными условиями и структурно-детализированной метеорологической информацией;
- сформировать архитектуру информационно-аналитической системы.

Основные результаты

Снежный накат (уплотненный снег) на проезжей части автомобильной дороге образуется при определенных условиях (таблица А.1 в [8]), при этом, формируется он из выпавшего снега. Однако, свежевыпавший снег может иметь разные характеристики своего физического состояния, в том числе и плотность.

Плотность свежевыпавшего рыхлого снега рассчитывается на основе алгоритма 3 из [11] для продолжительности снегопада не более 12 часов. Однако данный расчет не учитывает дальнейшее изменение отложений под влиянием внутренних физических процессов (таяние, смерзание). Плотность рыхлого снега, совместно с интенсивностью и продолжительностью осадков, способствует моделированию прогнозируемой высоты отложений на автомобильной дороге.

В данной статье предлагается ввести термин плотность рыхлого снега, как одного из расчетных параметров метеорологической информации, влияющих на моделирование прогнозированной высоты отложений и формирование цикла по предупреждению образования снежного наката на автомобильной дороге до начала его формирования.

Существует стратегии предупреждения образования снежного наката до начала снегопада и в период действия снегопада с использованием противогололедных материалов (ПГМ), однако, возможно и их совмещение при прогнозировании продолжительных осадков [9]. При этом распределение ПГМ на автомобильной дороге не позволяет снегу уплотниться, формируя отложения талого снега, допустимая толщина и срок ликвидации которых регламентируется уровнем содержания дорог.

Нарушением требования к состоянию проезжей части дороги в части превышения толщины талого снега и наличие снежного наката, является одним их показателей дефектов содержания.

В настоящее время не решена задача выбора оптимальной стратегии по предупреждению образования снежного наката из предложенных в [9], так как для этого необходима структурированная и детализированная метеорологическая информация, а также данные об использовании заданных ресурсов (техники и материалов). Решение такой задачи заключается в определении границ стоимости ресурсов, необходимых для каждой из стратегий.

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».

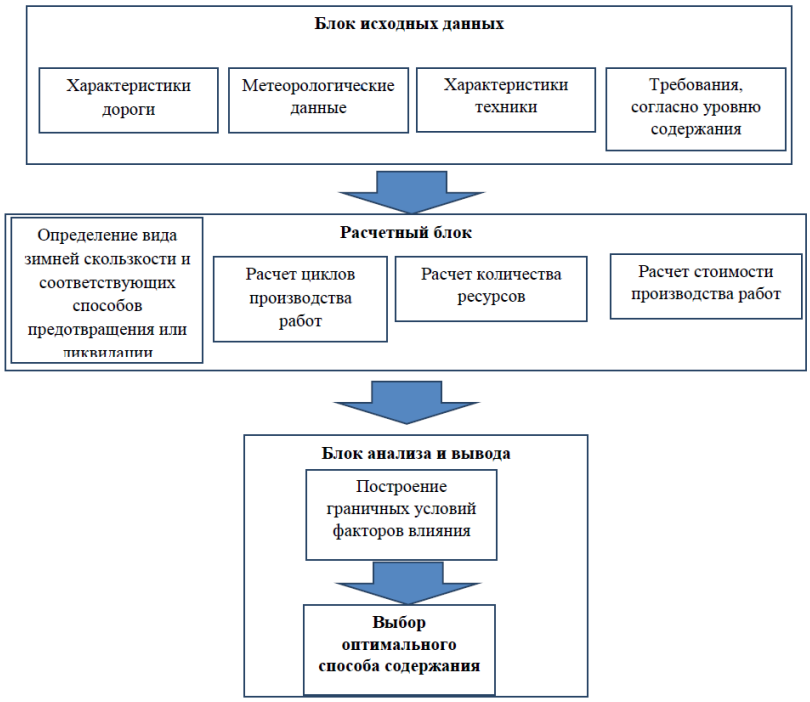

Рисунок 1 - Структура информационно-аналитической системы управления зимним содержанием автомобильных дорог

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.146.1

«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 [8], [10].

«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 [8], [9], [10].

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 способа зимнего содержания автомобильной дороги.

В данной статье в качестве примера работы данной информационно-аналитической системы было выбрано предупреждение образования снежного наката до и во время снегопада. Исходные данные представлены в таблице 1 и 2.

Таблица 1 - Исходные данные по характеристике автомобильной дороги

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.146.2

Категория дороги	Длина участка, км	Ширина проезжей части, м	Уровень содержания	Характеристика уровня содержания		
				Наличие талого снега во время снегопада , см	Наличие рыхлого снега, см	Срок ликвидации, ч
II	20	14	2	2	1	5

Таблица 2 - Исходные данные расчетной метеорологической информации и материальных ресурсов

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.146.3

Температура воздуха	Норма распределения ПГМ (жидкий Биомаг), л/м^2	Прогнозируемая зимняя скользкость	Расчетная плотность свежевыпавшего рыхлого снега, г/см^3	Расчетная толщина рыхлого снега на 1 мм воды, см	Интенсивность снегонакопления, мм/ч	Продолжительность снегопада, час	Ширина рабочей зоны снегоочистительной техники, м	Емкость распределителя ПГМ, м^3
-2	20	Снежный накат	0,092	1,09	0,25, 0,5, 1, 2, 3, 4	от 1 до 12 часов с шагом в 1 час	3	6
-8	70	Снежный накат	0,07	1,43	0,25, 0,5, 1, 2, 3, 4	от 1 до 12 часов с шагом в 1 час	3	6

Определение оптимальной стратегии предупреждения снежного наката будет основан на выборе комплекса работ по зимнему содержанию с необходимой ресурсоемкостью и максимальной продолжительностью – с предварительной обработкой покрытия или распределение ПГМ во время снегопада. Необходимо определить условия, при которых, выполнение предварительной обработки увеличит расходы на содержание участка дороги. Такие условия и будут являться катализатором выбора оптимальной стратегии предупреждения образования снежного наката.

Весь цикл работ по предупреждению образования снежного наката во время снегопада можно разделить на несколько этапов, также представленный на рисунке 2:

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.

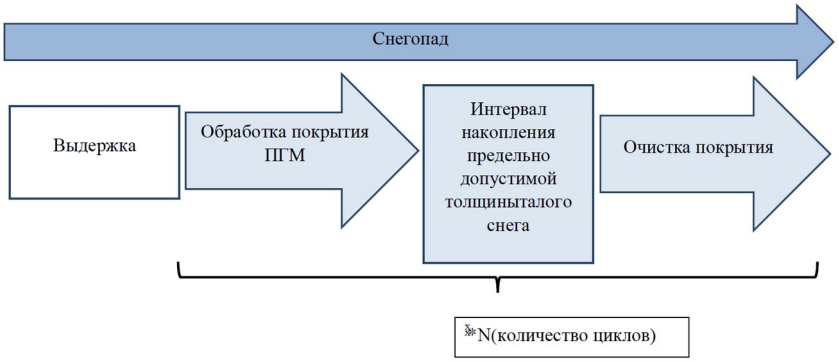

Рисунок 2 - Цикл работ по предотвращению образования снежного наката во время снегопада

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.146.4

$$t_{\text{цикл}} = t_{\text{выд}} + t_{\text{ц1}} + t_{\text{ин}} + t_{\text{ц2}}, \quad (1)$$

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 согласно 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:

$$t_{\text{пр}} = \frac{\rho_{\text{от}} * h_{\text{доп}}}{i_{\text{ос}}}, \quad (2)$$

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 определенное решение задачи.

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

$$\text{Если } t_{\text{пр}} > t_{\text{снег}}, \text{ то значению «истина» соответствует } t_{\text{цикл}} = t_{\text{снег}}, \text{ значению «ложь»} - t_{\text{цикл}} = t_{\text{пр}}, \quad (3)$$

где $t_{\text{снег}}$ – продолжительность выпадения осадков, ч.

Таким образом, можно вычислить продолжительность цикла, а так же выявить наличие цикличности.

Далее необходимо рассчитать ресурсоемкость и продолжительность цикла распределения ПГМ, основой которого является [8], при этом расчет был модернизирован под использование детализированной метеорологической информации и применение логико-математических соотношений для адаптации к дорожно-климатической ситуации.

Необходимо определить объем россыпи ПГМ за один цикл и всего за снегопад:

$$q = \frac{L*b*\rho*i_{\text{ос}} * t_{\text{цикл}}}{1000}, \qquad Q = \frac{L*b*\rho*i_{\text{ос}}*t_{\text{ос}}}{1000}, \quad (4)$$

где q – необходимое количество ПГМ за 1 цикл производства работ, т; ρ – норма распределения ПГМ на 1 м², л/м²;т, Q -необходимое количество ПГМ за весь снегопад, т; b – ширина участка, м; L – длина участка, км.

Далее расчет продолжительности цикла распределения ПГМ осуществляется согласно [8].

Запишем логико-математические соотношения для расчета количества распределителей для 1 цикла распределения, как:

$$\text{Если } t_{\text{цикл}} = t_{\text{снег}}, \text{ то Значение «истина» } n_{\text{р}} = \frac{q}{\text{П}*t_{\text{дир}}}, \text{ Значение «ложь» } n_{\text{р}} = \frac{q}{\text{П}*t_{\text{прох}}}, \quad (5)$$

где $n_{\text{р}}$ – количество распределителей; $t_{\text{дир}}$ – директивный срок ликвидации талого снега, согласно уровню содержания дороги, ч; П – производительность распределителя ПГМ.

Общее количество циклов распределения можно определить, как:

$$N_{\text{р}} = \frac{Q}{n_{\text{р}} * P * \gamma} \quad (6)$$

где $N_{\text{р}}$ – число циклов распределения ПГМ за снегопад, Р – объем кузова распределителя, м³, γ – плотность распределяемого материала, кг/м³.

Далее необходимо определить 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:

$$\text{Если } t_{\text{снег}} < t_{\text{ппр}}, \text{ то}$$

$$\text{Значение «истина»} \begin{pmatrix} \text{Если } h_{\text{нт}} \le h_{\text{доп}}, \text{ то} \\ \text{«истина» } t_{\text{инт}} = t_{\text{дир}} + t_{\text{снег}} - t_{\text{ц2 2}} - t_{\text{выд}} - t_{\text{ц1}} \\ \text{«ложь» } t_{\text{инт}} = \frac{h_{\text{доп}}\, t_{\text{снег}}}{h_{\text{тс}}} - t_{\text{выд}} - t_{\text{ц1}} \end{pmatrix},$$

$$\text{Значение «ложь»} \begin{pmatrix} \text{Если } h_{\text{нт}} \le h_{\text{доп}}, \text{ то} \\ \text{«истина » } t_{\text{инт}} = t_{\text{дир}} + t_{\text{цикл}} - t_{\text{ц2}} - t_{\text{выд}} - t_{\text{ц1}} \\ \text{«ложь» } t_{\text{инт}} = \frac{h_{\text{доп}}\, t_{\text{ц}}}{h_{\text{тс}}} - t_{\text{выд}} - t_{\text{ц1}} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

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.

$$h_{\text{Тс}} = \frac{h_{\text{рс},\rho} * i_{\text{ос}} * t_{\text{сНег}}}{1{,}2} \quad (8)$$

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.

Сформируем таблицу зависимостей толщины снега, воды и снежного наката от температуры и плотности на площадь в 1 м²:

Таблица 3 - Зависимость толщины отложений от плотности на площадь в 1 м²

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.146.5

Температура воздуха, ˚С	Толщина воды, см	Расчетная толщина рыхлого снега, см	Плотность рыхлого снега, г/см³
-2	0,1	1,09	0,092
-8	0,1	1,43	0,07

Формула перевода из толщины отложений в виде воды на 1 м² в толщину рыхлого снега выглядит следующим образом:

$$h_{\text{нак},\ \rho} = \frac{\rho_{\text{В}} \cdot h_{\text{В}}}{\rho_{\text{Н}}(\rho_s)}, \quad (9)$$

где $\rho_{\text{В}}$ – плотность воды, г/см³; $\rho_{\text{н}}$ – плотность рыхлого снега г/см³; $h_{\text{в}}$ – толщина слоя воды на 1 м², см.

Таким образом, соотношение (7) 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. Однако при прогнозе накопления толщины талого снега больше, чем в требованиях к состоянию проезжей части дороги [9]. При продолжительном снегопаде учитывается своевременный выход снегоочистителей по достижению требуемой высоты отложений за время. 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:

$$n_{\text{со}} * b_{\text{с}} > b \quad (10)$$

где $n_{со}$– количество снегоочистителей в одном отряде, $b_{с}$– 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:

$$N_{\text{пс}} = \frac{t_{\text{снег}}}{t_{\text{пр}}} \quad (11)$$

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

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

$$\text{Если } t_{\text{снег}} > t_{\text{по}} \text{ Значение «истина» } n = n_{\text{со}} * \left(\frac{t_{\text{пр}}}{t_{\text{по}}}\right), \text{ Значение «ложь» } n = n_{\text{со}} * N_{\text{пс}}, \quad (12)$$

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

При этом, значение отношения необходимо округлить до целого в большую сторону. Тем самым, соотношение (11) учитывает количество отрядов снегоочистителей, необходимых для своевременной снегоочистки проезжей части дороги.

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

$$\begin{gathered}\text{Если } t_{\text{по}} > t_{\text{пр}} \\ \text{Значение «истина» } t_{\text{ц2}} = t_{\text{по}}, \\ \text{Значение «ложь» } t_{\text{ц2}} = (N_{\text{пс}} - 1) * t_{\text{пр}} + t_{\text{по}},\end{gathered} \quad (13)$$

где $t_{ц2}$ – время снегоочистки, ч.

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

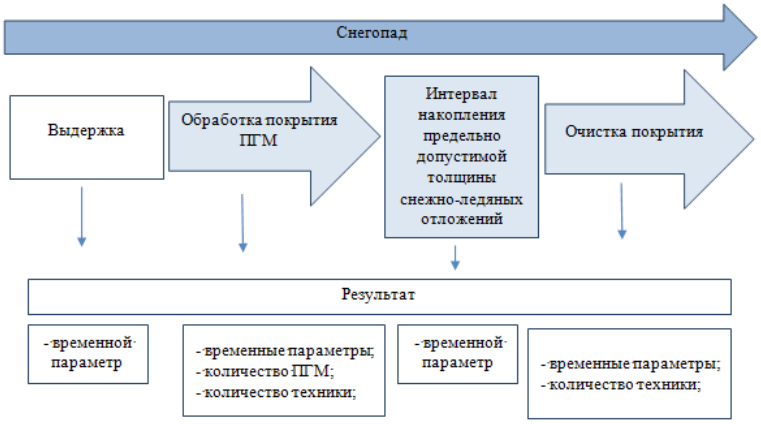

Рисунок 3 - Результаты расчета цикла работ по предупреждению образования снежного наката во время снегопада
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.146.6

Далее необходимо сформировать расчет цикла работ с использованием предварительной обработки покрытия до снегопада. Для этого была определена норма россыпи ПГМ в количестве 15 г/м². Необходимо рассчитать время работы ПГМ:

$$t_{\text{рПГМ}} = \frac{t_{\text{снег}} * \rho_{\text{По}}}{\rho}, \quad (14)$$

где $t_{\text{рПГМ}}$ – время работы ПГМ, ч, $\rho_{\text{По}}$ – норма россыпи ПГМ для предварительной обработки покрытия, г/м², ρ – норма россыпи ПГМ для предотвращения образования снежного наката по нормативным документам.

Рассчитаем период накопления допустимой толщины отложений на покрытии с использование предварительной обработки:

$$t_{\text{нпо}} = \frac{h_{\text{доп}} * t_{\text{снег}}}{h_{\text{нснег}}}, \quad (15)$$

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

$$h_{\text{Нснег}} = \frac{h_{\text{рс},\rho} * i_{\text{ос}} * t_{\text{снег}}}{1{,}2} \quad (16)$$

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:

$$\text{Если } t_{\text{нпо}} \geq t_{\text{снег}} \quad (17)$$

Значению «истина» соответствует «Выполнение предварительной обработки», значению «ложь» соответствует «Выполнение предварительной обработки совместно с циклом предотвращения образования наката во время снегопада».

Данное соотношение формирует граничные условия использования применения предварительной обработки, как самостоятельной технологии. Это связанно 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 (4, 5, 6). 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. В результате расчета были сформированы граничные условия выбора оптимальной стратегии за счет увеличения затрат на предварительную обработку.

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.

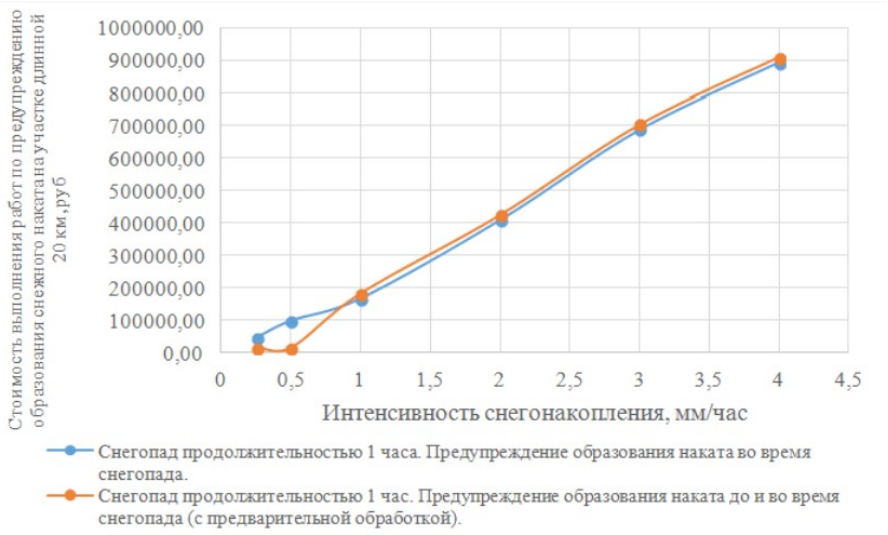

Рисунок 4 - График зависимости стоимости работ по предупреждению образования наката с использованием двух стратегий при продолжительности снегопада 1 час и температуре воздуха T=-8^0

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.146.7

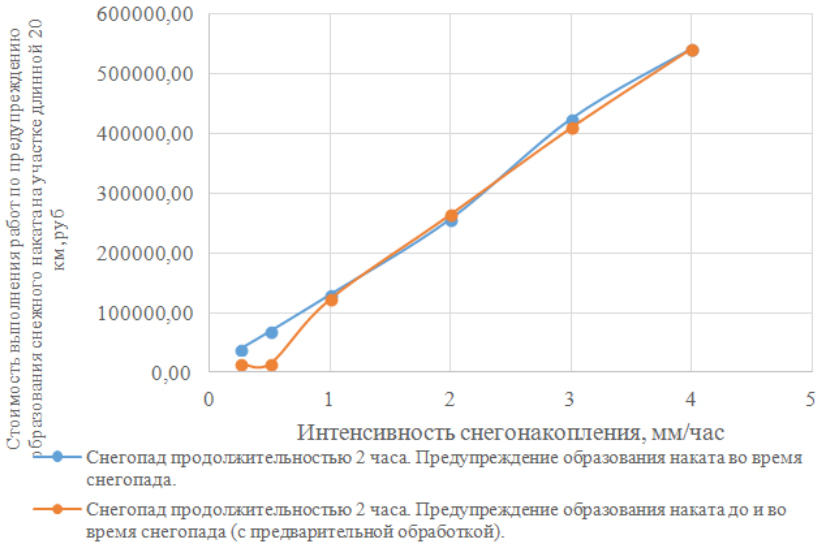

Рисунок 5 - График зависимости стоимости работ по предупреждению образования наката с использованием двух стратегий при продолжительности снегопада 2 часа и температуре воздуха T=-8^0

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.146.8

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.

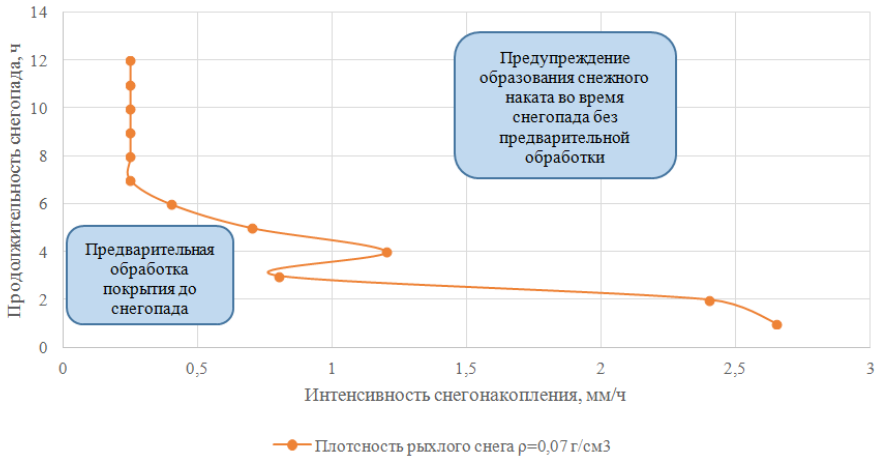

Рисунок 6 - Граничные условия выбора оптимальной стратегии предупреждения образования снежного наката на автомобильной дороге до и во время снегопада при температуре воздуха T=-8^0
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.146.9

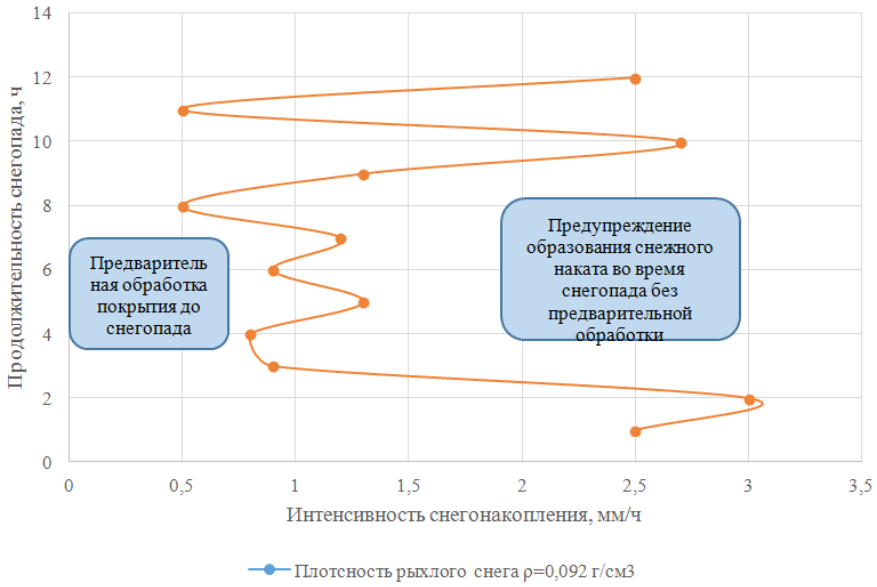

Рисунок 7 - Граничные условия выбора оптимальной стратегии предупреждения образования снежного наката на автомобильной дороге до и во время снегопада при температуре воздуха T=-2^0
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.146.10

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. Представленная модель расчета информационно-аналитической системы является базовой, объединяя в себе данные из ГОСТов и методических рекомендаций [8], [9], [10], дополненная структурированной метеорологической информацией.

Заключение

В работе были решены следующие задачи:

- определены закономерности влияния структурированных метеорологических данных на выбор оптимальной технологии содержания в соответствии с нормативными требованиями;
- выполнен расчет цикла предупреждения образования снежного наката с учетом организации работ для различных дорожных и метеорологических ситуаций;
- определены граничные условия оптимального распределения ресурсов в цикле производства работ по предупреждению образования снежного наката в информационно-аналитической системе управления зимним содержанием автомобильных дорог;
- обоснован выбор оптимальной стратегии предупреждения образования снежного наката до и во время снегопада.

Результаты показывают, что детализация и структуризация исходной информации в совокупности с моделированием дорожной и метеорологической ситуации позволяет более точно рассчитать ресурсоемкость

выполняемых работ. Стоимостной анализ стратегий позволяет обосновать оптимальное решение выполнения любых работ по зимнему содержанию.

Применение структурированной и детализированной метеорологической информации в совокупности с автоматизированным расчета могут способствовать совершенствованию методов управления зимним содержанием автомобильных дорог, особенно в условиях ограниченного финансирования и не стабильной экономики в настоящее время. Прогнозируемый цикл производства работ позволит не только обосновать трудозатраты в рамках нормативных требований, но и совместно с анализом статистических метеорологических данных поспособствует более качественному обеспечению ресурсами подрядных и субподрядных организаций. А прозрачность расчета представляет возможность обоснованию финансирования на весь зимний период для заказчика.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Сакута Н.Б. Совершенствование оперативного регулирования производства работ зимнего содержания автомобильных дорог dis. ...канд. Engineering: 05.23.11 : защищена 2002-11-28 : утв. 2003-03-06 / Н.Б. Сакута. — 2002: 2002. — 138 с.

2. Боброва Т. В. Районирование территории Алтайского края по условиям зимнего содержания сети автомобильных дорог / Т. В. Боброва, Ю. В. Коденцева // Актуальные проблемы повышения надежности и долговечности автомобильных дорог и искусственных сооружений на них; — Барнаул, 2003. — с. 187-189.

3. Коденцева Ю.В. Обоснование ресурсоемкости зимнего содержания сети автомобильных дорог на основе районирования территорий по неблагоприятным климатическим факторам dis. ...канд. Engineering: 05.23.11 : защищена 2007-02-08 : утв. 2007-06-07 / Ю.В. Коденцева. — Омск: 2007. — 190 с.

4. Самодурова Т.В. Физико-статистические модели для прогноза образования зимней скользкости на дорожных покрытиях. / Т.В. Самодурова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. — 2008. — 1(9). — С. 128-132.

5. Самодурова Т. В. Оперативное управление зимним содержанием дорог. Научные основы / Т. В. Самодурова — Воронеж: Издательство Воронежского государственного университета, 2003. — 168 с.

6. Скоробогатченко Д.А. Прогнозирование изменения транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог при планировании ремонта и содержания dis. ...канд. Engineering: 05.23.11 : защищена 2003-03-13 : утв. 2003-09-11 / Д.А. Скоробогатченко. — Волгоград: 2003. — 158 с.

7. Боброва Т. В. Проектно-ориентированное управление производством работ на региональной сети автомобильных дорог: монография / Т. В. Боброва — Омск: Издательство СибАДИ, 2006. — 334 с.

8. ГОСТ Р 59434-2021 Дороги автомобильные общего пользования Требования к уровню зимнего содержания. Критерии оценки и методы контроля. — Введ. 2021-04-20. — Москва: Стандартинформ, 2021. — 20 С.

9. ГОСТ 59201-2021 Дороги автомобильные общего пользования. Капитальный ремонт, ремонт и содержание. Технические правила — Введ. 2022-01-01. — Москва: Российский институт стандартизации, 2021. — 66 с.

10. ГОСТ Р 50597-2017 Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля. — Введ. 2017-09-26. — Москва: Стандартинформ, 2017. — 27 С.

11. Bartlett P.A. Modified Snow Algorithms in the Canadian Land Surface Scheme: Model Runs and Sensitivity Analysis at Three Boreal Forest Stands. / P.A. Bartlett, M.D. MacKay, D.L. Verseghy // ATMOSPHERE-OCEAN. – Canadian Meteorological and Oceanographic Society. — 2006. — 43(3). — P. 207-222.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Sakuta N.B. Sovershenstvovanie operativnogo regulirovaniya proizvodstva rabot zimnego soderzhaniya avtomobil'ny'x dorog [Improvement of Operational Regulation of Winter Maintenance of Highways] dis....of PhD in Engineering: 05.23.11 : defense of the thesis 2002-11-28 : approved 2003-03-06 / Н.Б. Сакута. — 2002: 2002. — 138 p. [in Russian]

2. Bobrova T. V. Rajonirovanie territorii Altajskogo kraja po uslovijam zimnego soderzhanija seti avtomobil'nyh dorog [Zoning of the Territory of the Altai Territory According to the Conditions of Winter Maintenance of the Highway Network] / T. V. Bobrova, Ju. V. Kodentseva // Aktual'nye problemy povysheniya nadezhnosti i dolgovechnosti avtomobil'nyh dorog i iskusstvennyh sooruzhenij na nih [Actual Problems of Increasing the Reliability and Durability of Highways and Artificial Structures on Them]; — Barnaul, 2003. — p. 187-189. [in Russian]

3. Kodenceva Yu.V. Obosnovanie resursoemkosti zimnego soderzhaniya seti avtomobil'ny'x dorog na osnove rajonirovaniya territorij po neblagopriyatny'm klimaticheskim faktoram [Substantiation of the Resource Intensity of the Winter Maintenance of the Highway Network Based on the Zoning of Territories by Unfavorable Climatic Factors] dis....of PhD in Engineering: 05.23.11 : defense of the thesis 2007-02-08 : approved 2007-06-07 / Ю.В. Коденцева. — Omsk: 2007. — 190 p. [in Russian]

4. Samodurova T.V. Fiziko-statisticheskie modeli dlya prognoza obrazovaniya zimnej skol'zkosti na dorozhny'x pokry'tiyax [Physico-statistical Models for Predicting the Formation of Winter Slipperiness on Road Surfaces]. / T.V. Samodurova // Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. — 2008. — 1(9). — P. 128-132. [in Russian]

5. Samodurova T. V. Operativnoe upravlenie zimnim soderzhaniem dorog. Nauchnye osnovy [Operational Management of Winter Maintenance of Roads. Scientific Foundations] / T. V. Samodurova — Voronezh: Voronezh State University Publishing House, 2003. — 168 p. [in Russian]

6. Skorobogatchenko D.A. Prognozirovanie izmeneniya transportno-e'kspluatacionnogo sostoyaniya avtomobil'ny'x dorog pri planirovanii remonta i soderzhaniya [Forecasting Changes in the Transport and Operational Condition of Highways When Planning Repairs and Maintenance] dis....of PhD in Engineering: 05.23.11 : defense of the thesis 2003-03-13 : approved 2003-09-11 / Д.А. Скоробогатченко. — Volgograd: 2003. — 158 p. [in Russian]

7. Bobrova T. V. Proektno-orientirovannoe upravlenie proizvodstvom rabot na regional'noj seti avtomobil'nyh dorog: monografija [Project-oriented Management of Works on the Regional Highway Network: monograph] / T. V. Bobrova — Omsk: Publishing House of SibADI, 2006. — 334 p. [in Russian]

8. GOST R 59434-2021 Dorogi avtomobil'ny'e obshhego pol'zovaniya Trebovaniya k urovnyu zimnego soderzhaniya. Kriterii ocenki i metody' kontrolya [GOST R 59434-2021 Public Automobile Roads Requirements for the Level of Winter Maintenance. Evaluation Criteria and Control Methods]. — Introduced 2021-04-20. — Moscow: Standartinform, 2021. — 20 P. [in Russian]

9. GOST 59201-2021 Dorogi avtomobil'nye obschego pol'zovanija. Kapital'nyj remont, remont i soderzhanie. Tehnicheskie pravila [GOST 59201-2021 Public Automobile Roads. Major Repairs, Repairs and Maintenance. Technical Rules] — Introduced 2022-01-01. — Moscow: Russian Institute of Standardization, 2021. — 66 p. [in Russian]

10. GOST R 50597-2017 Dorogi avtomobil'ny'e i ulicy'. Trebovaniya k e'kspluatacionnomu sostoyaniyu, dopustimomu po usloviyam obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya. Metody' kontrolya [GOST R 50597-2017 Automobile Roads and Streets. Requirements for the Operational Condition Permissible under the Conditions of Road Safety. Methods of Control]. — Introduced 2017-09-26. — Moscow: Standartinform, 2017. — 27 P. [in Russian]

11. Bartlett P.A. Modified Snow Algorithms in the Canadian Land Surface Scheme: Model Runs and Sensitivity Analysis at Three Boreal Forest Stands. / P.A. Bartlett, M.D. MacKay, D.L. Verseghy // ATMOSPHERE-OCEAN. – Canadian Meteorological and Oceanographic Society. — 2006. — 43(3). — P. 207-222.