

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему **Обґрунтування параметрів дозування**
сипучих сумішей на дорожніх машинах

Виконав: студент II курсу,

групи 601-МММ

спеціальності 133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Пивоваров В. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Рогозін І. А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Сучков І. М.

(прізвище та ініціали)

**Обґрунтування параметрів дозування
сипучих сумішей на дорожніх машинах**

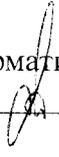
Магістерська робота

Лист затвердження

ГММ.601-МММ.012-00.00.000МР - ЛУ

Технологічний контроль к.т.н., доц.
 О. С. Васильєв
„15” 01.24 р. 2023 р.

Розробив студент групи 601-МММ
 В. В. Пивоваров
„29” 12 2023 р.

Нормативний контроль к.т.н., доц.
 О. С. Васильєв
„15” 01.24 р. 2023 р.

Керівник к.т.н., доц.
 І. А. Рогозін
„23” 12 2023 р.

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри галузевого
машинобудування та мехатроніки
к.т.н., доц.

 О. В. Орисенко

№ з/п	Формат	Обозначение	Наименование	Кол. листов	№ экз.	Примечание
			Документація загальна			
			Вперше розроблена			
3	A4	ГММ.601-МММ.012-00.00.000ТЗ	Технічне завдання	1	-	
7	A4	ГММ.601-МММ.012-00.00.000А	Анотація	4	-	
8	A4	ГММ.601-МММ.012-00.00.000ПЗ	Пояснювальна записка	5	-	
			Документація наукова			
			Вперше розроблена			
10	A4	ГММ.601-МММ.012-00.00.000ПМ	Обґрунтування параметрів дозування сипучих сумішей на дорожніх машинах			
			Презентаційні матеріали	11	-	

				ГММ.601-МММ.012-00.00.000ВР		
№ з/п	№ докум.	Підп.	Дата	Лист	Лист	Листов
10005	Пивоваров		29.12	1	1	1
10006	Рогозін		29.12			
10007	Васильєв		18.01			
10008	Орисенко		19.01			
				Обґрунтування параметрів дозування сипучих сумішей на дорожніх машинах Відомість магістерської роботи Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІ ІТР, 2023		

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення Навчально-науковий інститут інформаційних
технологій та робототехніки

Кафедра, циклова комісія галузевого машинобудування та мехатроніки

Ступінь вищої освіти магістр

Напрямок підготовки _____

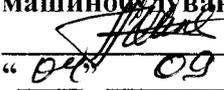
(шифр і назва)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, галузевого
машинобудування та мехатроніки


О. В. Орисенко
"04" "09" 2023 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Пивоварову Владиславу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи **Обґрунтування параметрів дозування сипучих сумішей на дорожніх машинах**

керівник роботи (проекту) **Рогозін Іван Анатолійович, к.т.н.**

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "04" вересня 2023 року №968-ф.а.

2. Строк подання студентом проекту (роботи) "29" грудня 2023 року.

3. Вихідні дані до проекту (роботи): Технічні характеристики та опис роботи комбінованих дорожніх машин для боротьби з ожеледицею різних марок. Вимоги державного стандарту ДСТУ 3587:2022 «Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги. Вимоги до експлуатаційного стану».

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. 1. Аналіз матеріалів і процесів для боротьби з ожеледицею на дорогах та ролі в них дорожніх машин. 2. Теоретичні дослідження параметрів комунальних комбінованих дорожніх машин при роботі із сипкими матеріалами. 3. Принципи дозування сипучих сумішей та обґрунтування на їх основі параметрів роботи дорожніх машин. Висновки. Список літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Обґрунтування параметрів дозування сипучих сумішей на дорожніх машинах – Презентаційні матеріали.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання "04" вересня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	П
1	Обґрунтування теми магістерської роботи	22.09.2023 р.	
2	Теоретичні дослідження	20.10.2023 р.	
3	Розроблення технічного рішення	30.11.2023 р.	
4	Оформлення презентаційних матеріалів	15.12.2023 р.	
5	Оформлення пояснювальної записки магістерської роботи, виправлення зауважень	22.12.2023 р.	
6	Здача готової роботи на кафедру	29.12.2023 р.	

Здобувач вищої освіти

Керівник роботи


(підпис)


(підпис)

Пивоваров
(прізвище та ініціал)

Рогозін І. А.
(прізвище та ініціал)

Анотація

Пивоваров В. В. Обґрунтування параметрів дозування сипучих сумішей на дорожніх машинах. – Рукопис.

Магістерська робота на здобуття ступеня вищої освіти «магістр» зі спеціальності 133 – Галузеве машинобудування. – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2023.

У роботі виконано аналіз властивостей матеріалів для боротьби з ожеледицею, рекомендацій щодо їх застосування та технологічних операцій, які повинні виконувати дорожні машини. При огляді існуючих конструкцій дорожніх машин виявлено, що у них відсутня можливість зміни відсоткового складу компонентів сипкого матеріалу безпосередньо в процесі експлуатації при обслуговуванні доріг.

Для усунення знайденого недоліку запропоновано технічне рішення використання багатосекційних накопичувальних бункерів та інтелектуальних систем автоматизації дозування та транспортування матеріалів.

Розроблено математичну модель, яка визначає необхідні геометричні параметри кута нахилу стінок накопичувального бункера та розміру його випускного отвору, за яких не буде утворюватися купол зведення насипного матеріалу, тобто гарантуватиметься безперервна та стабільна подача матеріалу через дозатори.

З метою приведення процесу підбору відсоткового складу суміші матеріалу для боротьби з ожеледицею до рекомендованих раціональних значень згідно з актуальними метеорологічними даними виконано обґрунтування параметрів дозувального обладнання на дорожніх машинах.

ГММ.601-мММ.012-00.00.000А

№	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
Зроб.		Пивоваров		29.12
Зрев.		Рогозін		29.12
Конт.		Васильєв		16.01
ЗТВ.		Орисенко		19.01

Анотація

Літ.	Лист	Листів
	1	4

Національний університет
імені Юрія Кондратюка
ННІ ІТР, 2023

Запропоновано використати для керування комбінованою дорожньою машиною із універсальним розкидачем автоматизовану систему. Для неї розроблено алгоритм роботи реалізовано можливість регулювання складу насипного матеріалу у режимі реального часу згідно із поточною ситуацією на дорозі, яка аналізується за даними метеостанцій

Ключові слова: комбінована дорожня машина, дозатор, бункер, автоматизація, тертя, ожеледиця.

					ГММ.601-МММ.012-00.00.000А	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		2

Abstract

Pyvovarov V.V. Justification of dosing parameters of granular mixtures on road machines. – Manuscript.

Master thesis on obtaining educational degree «Master» in specialty 133 – Industrial Engineering. – National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, 2023.

The thesis analyzes the properties of anti-icing materials, recommendations for their use, and technological operations that must be performed by road machines. When examining the existing constructions of road machines, it was found that they do not have the possibility of changing the components percentage composition of granular material directly during operation for road maintenance.

To eliminate the found deficiency, a technical solution of using multi-section storage hoppers and intelligent automation systems for dosing and transporting materials is proposed.

A mathematical model has been developed that determines the necessary geometric parameters of the wall inclination angle of the storage hopper and the size of its outlet opening, which will not form a granular material dome, that is, a continuous and stable supply of material through the dispensers will be guaranteed.

In order to bring the process of mixture percentage composition selection to fight against ice on the road to the recommended rational values according to the current meteorological data, the substantiation of the dosing equipment parameters on road machines was performed.

It is proposed to use an automated system to control a combined road machine with a universal spreader. An operational algorithm has been developed for it, the possibility of adjusting the granular material composition in real time according to the current situation on the road, which is analyzed according to weather station data, has been implemented.

					ГММ.601-МММ.012-00.00.000А	Лист
Лист	№ докум.	Підп.	Дата			3

Key words: combined road machine, batcher, storage hopper, automation, friction, glaze ice.

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000А	Лист
Лист	№ докум.	Підп.	Дата			4

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

Обґрунтування параметрів дозування
сипучих сумішей на дорожніх машинах

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ

Полтава – 2023 року

Зміст

Вступ.....	4
1 Аналіз матеріалів і процесів для боротьби з ожеледицею на дорогах та ролі в них дорожніх машин	6
1.1 Технологічні операції дорожніх машин при обслуговуванні шляхів у зимовий період.....	6
1.2 Властивості матеріалів для боротьби з ожеледицею та рекомендації щодо їх застосування.....	9
1.3 Огляд комбінованих дорожніх машин і агрегатів для обслуговування доріг у зимовий період.....	15
2 Теоретичні дослідження параметрів комунальних комбінованих дорожніх машин при роботі із сипкими матеріалами.....	24
2.1 Схема до визначення розмірів бункера для накопичення сипких матеріалів	24
2.2 Обґрунтування розміру вихідного отвору накопичувального бункера.....	28
2.3 Обґрунтування раціональних геометричних параметрів накопичувальних бункерів	35
2.4 Параметри роботи живильників безперервної дії.....	42
3 Принципи дозування сипучих сумішей та обґрунтування на їх основі параметрів роботи дорожніх машин	45
3.1 Основні вимоги до дозування сипучих сумішей	45
3.2 Рекомендації щодо формування складу сумішей для боротьби з ожеледицею	47
3.3 Огляд дорожніх умов, за яких виникає ожеледиця	49

ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ									
	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Зміст		Літ.	Лист	Листів
Зроб.	Пивоваров			29.12				2	2
Зрєв.	Рогозін			29.12					
Контр.	Васильєв			16.01					
Зв.	Орисенко			19.01					
Национальний університет імені Юрія Кондратюка ННІ ІТР, 2023									

3.4 Обґрунтування параметрів роботи дозувального обладнання на дорожніх машинах	52
Висновки	56
Список літератури	58

Вступ

Для боротьби з ожеледицею на автомобільних дорогах реалізуються різноманітні технології, які переважно базуються на проведенні найпростіших операцій та технічних засобів – універсальних розкидачів суміші, призначеної для знешкодження ожеледиці.

Потенційні можливості такої технології прибирання ожеледиці не є значними і зводяться до видачі готового матеріалу для боротьби з ожеледицею на дорожнє покриття та подальшого знесення шару, що утворює ожеледицю. При цьому не враховуються можливі зміни стану зовнішнього середовища та покриття дороги. Сам процес видачі суміші не коригується, що не лише знижує ефективність проведення операцій з облаштування доріг у зимовий період, викликаючи невиправдано високу витрату суміші, а й супроводжується додатковими екологічними та економічними втратами.

Саме через це є актуальним пошук та наукове обґрунтування підходів до вирішення задачі підвищення ефективності проведення робіт, спрямованих на боротьбу з ожеледицею на автомобільних дорогах, що враховує інформацію про стан дорожніх систем у вигляді даних з метеостанцій та датчиків різноманітних систем та впровадження універсальних автоматизованих розкидачів суміші.

Тому дослідження особливостей експлуатації та обґрунтування параметрів універсального розкидачу сумішей для боротьби з ожеледицею із регульованим співвідношенням компонентів та його взаємодії із системою спряжених агрегатів у складі комбінованої дорожньої машини з надійною, безперервною подачею є актуальним. І це питання взято до опрацювання у даній роботі з метою підвищення ефективності боротьби зі сніжно-льодовими нашаруваннями на

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ		
Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Вступ	Літ.	Лист	Листів
Зроб.	Пивоваров	<i>[підпис]</i>	29.12			4	2
рев.	Рогозін	<i>[підпис]</i>	29.12				
конт.	Васильєв	<i>[підпис]</i>	16.01				
зв.	Орисенко	<i>[підпис]</i>	19.01				
					Національний університет імені Юрія Кондратюка ННІ ІТР, 2023		

автомобільних шляхах за рахунок розширення технічних можливостей комбінованих дорожніх машин.

Одним з головних спрямувань у напрямку вдосконалення технологічного процесу боротьби із явищами утворення ожеледиці на шляхах та техніки, яка для цього призначена, є конструктивне рішення, яке дозволить забезпечити гнучкість змін рецептури через підбір відсоткового складу компонентів суміші для боротьби з ожеледицею. А також підвищить надійність та безперервність подачі матеріалу на дорожнє покриття впродовж всього робочого циклу комбінованої дорожньої машини.

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
Лист	№ докум.	Підп.	Дата			5

1 Аналіз матеріалів і процесів для боротьби з ожеледицею на дорогах та ролі в них дорожніх машин

1.1 Технологічні операції дорожніх машин при обслуговуванні шляхів у зимовий період

В Україні всі категорії автомобільних доріг у зимовий період повинні відповідати державному стандарту ДСТУ 3587:2022 «Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги. Вимоги до експлуатаційного стану». Через несприятливі погодні умови автомобільні дороги втрачають свої експлуатаційні властивості та не забезпечують умови безпечного дорожнього руху. Стандарт встановлює вимоги до параметрів та характеристик автомобільних доріг, описує методи контролю, а також терміни приведення експлуатаційного стану доріг у відповідність до вимог. Слід зазначити, що товщина ущільненого снігу не допускається на автомобільних дорогах 1-ї та 2-ї категорії, а зимова слизькість – на всіх категоріях доріг [36].

Усі заходи щодо зимового утримання доріг мають рекомендаційний характер [5]. Всі заходи щодо забезпечення безпечного дорожнього руху взимку зводяться до очищення доріг від снігу та різних видів сніго-крижаних утворень та розподілу по поверхні шляху матеріалів для боротьби з ожеледицею.

До переліку робіт із зимового обслуговування доріг входить: патрульне очищення, швидкісне очищення, формування та прибирання снігових валів, розчищення снігових заметів, чищення узбіччя, видалення ущільненого снігу, розподіл матеріалів для боротьби з ожеледицею і вивезення снігу з населених пунктів або штучних споруд.

				ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ			
Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Аналіз матеріалів і процесів для боротьби з ожеледицею на дорогах та ролі в них дорожніх машин	Літ.	Лист	Листів
роб.	Пивоваров	<i>РП</i>	29.12			6	18
	Рогозін	<i>Р</i>	29.12				
шт.	Васильєв	<i>В</i>	15.01				
	Орисенко	<i>О</i>	19.01				
					Національний університет імені Юрія Кондратюка ННІ ІТР, 2023		

Такий порядок виконання робіт розробляється дорожніми організаціями для ділянок шляху, за який вони відповідають і який ними обслуговується, а терміни їх виконання повинні відповідати державному стандарту [36].

Слід зазначити, що від кількості снігу (рисунок 1.1) залежатиме й обсяг робіт, які необхідно буде виконувати. Він пропорційний інтенсивності танення снігу.

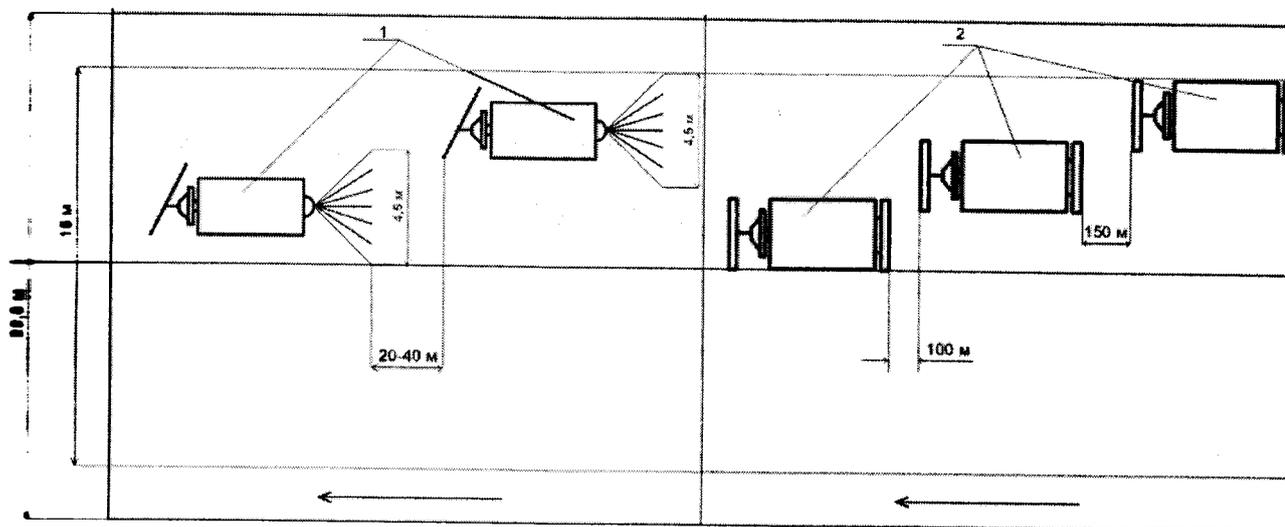


Рисунок 1.1 – Технологічні операції з розподілу матеріалів для боротьби з ожеледицею та очищення шляху від залишків сніго-крижаних утворень

Якщо проводити аналіз типової технологічної схеми (рисунок 1.1) усунення несприятливих факторів зимової слизькості, то можна відмітити наступне. Що є основні типи операцій з розподілу матеріалів для боротьби з ожеледицею. Перший це прибирання снігу, що випав, і розподіл твердих матеріалів для боротьби з ожеледицею по дорожньому полотну. Ширина розподілу матеріалів для боротьби з ожеледицею встановлюється оператором комбінованої дорожньої машини залежно від рекомендацій керівника структурного підрозділу. Другий – це очищення дорожнього покриття від залишків талого снігу та льоду.

Важливо, що правильно підібраний склад матеріалів для боротьби з ожеледицею не лише зменшить загальний обсяг робіт (рисунок 1.1), а й підвищить

експлуатаційні характеристики автомобільної дороги у зимовий період.

Сучасні інформаційні технології, що використовуються для керування процесами утримання автомобільних доріг, дозволяють запобігти несприятливому впливу погодних умов на експлуатаційні параметри дорожнього полотна. Детальна оперативна метеорологічна інформація дозволяє підтримувати потрібну безпеку дорожнього руху [14].

Інформація про погодні умови на відрізках автомобільної дороги, що обслуговуються, надходить у дорожні служби від Українського гідрометеорологічного центру [35].

Інформаційне забезпечення про погодні умови здійснюється один раз на добу або раз на три доби. Для більш важливих об'єктів ця інформація оновлюється частіше. Залежно від отриманої інформації про метеоумови дорожні організації завантажують у комбіновані дорожні машини завчасно підготовлену суміш матеріалів для боротьби з ожеледицею. Після чого відбувається налаштування машин до першого етапу операцій зимового обслуговування доріг (рисунок 1.1).

Але це може призвести до розбіжності інформації з реальним станом доріг і накладає обмеження на ефективність застосування обраних сумішей матеріалів для боротьби з ожеледицею, оскільки в процесі розподілу матеріалу метеорологічна ситуація та погодні умови можуть змінитися.

З метою зростання ступеня актуальності інформації можуть бути рекомендовані до запровадження спеціальні технічні засоби – автоматичні дорожні метеорологічні станції, які забезпечують контроль погодних умов на окремих ділянках дороги та можуть бути налаштовані на отримання інформації про: температуру повітря; відносну вологість повітря; швидкість та напрямок вітру; вид та інтенсивність опадів; метеорологічну дальність видимості (на ділянках доріг із частим утворенням туманів) та параметрах дорожнього покриття; стан дорожнього покриття (сухе, вологе, наявність ожеледиці).

Такі станції є комплексом з реалізацією можливостей інформаційних технологій, що дозволяє отримувати швидко та актуальну інформацію про погодні

					ГММ.601-МММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
1	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		8

умови. Станом на сьогодні відомо, що у закордонних країнах діє велика кількість цих систем, а також вирішено деякі проблеми з впровадженням автоматизованих систем диспетчерського управління, дорожнього оповіщення та низку інших заходів [5]. Однак жодна із впроваджених систем не використовує інформаційний потенціал станцій повною мірою. Адже, впроваджено низку комплексів різних виробників, кожен з яких здійснює збір та обробку інформації, що отримується з метеодатчиків. Зазвичай, кожен комплекс забезпечений радіопередавачем для надсилання інформації на диспетчерський пункт, де вона обробляється комп'ютером і передається до органів керування та обслуговування доріг для своєчасної підготовки до виведення техніки на ділянку, що обслуговується [6].

Всі ці заходи спрямовані на забезпечення безпеки дорожнього руху. Слід зазначити, що інформація з автоматичних метеорологічних станцій використовується тільки при розрахунку пропорцій компонентів матеріалів для боротьби з ожеледицею, котрі завантажуються на початку технологічної операції. Під час виконання робіт суміш не коригується, що є однією з можливих причин втрати ефективності дії застосованих матеріалів для боротьби з ожеледицею. Зниження ефективності суміші є причиною зниження експлуатаційних властивостей автомобільних доріг, що призводить до підвищення аварійності та зменшення їх пропускної спроможності. І це, у кінцевому випадку, впливає на ефективність роботи комбінованих дорожніх машин

1.2 Властивості матеріалів для боротьби з ожеледицею та рекомендації щодо їх застосування

Всі різновиди матеріалів для боротьби з ожеледицею призначені для підтримання коефіцієнта зчеплення колеса автомобіля з поверхнею дорожнього

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
1	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		9

полотна на високому рівні для забезпечення безпечних умов дорожнього руху в зимовий період року.

Для ефективної боротьби зі сніго-крижаними відкладеннями використовуються різні види матеріалів для боротьби з ожеледицею [2], які поділені на три групи [11].

Базовими і найпростішими матеріалами для боротьби з ожеледицею є фрикційні. Даний вид є дрібнодисперсним матеріалом або сумішшю у вигляді: піску, щебню, шлаку, піщано-гравійної суміші. Особливості даного матеріалу для боротьби з ожеледицею полягають у тому, що він має високі показники фізико-механічних характеристик, які перешкоджають руйнуванню, зносу та шліфуванню насипного матеріалу. Поряд із цим екологічні властивості не допускають забруднення придорожньої смуги та збільшення запиленості повітря після висушування дорожнього полотна та прилеглих територій.

Фрикційні матеріали для боротьби з ожеледицею рівномірно розподіляються по дорожньому полотну в сухому або змоченому вигляді. При змочуванні матеріалу, щоб уникнути змерзання, потрібно дотримуватися рідинної частки і не допускати перевищення безпечного співвідношення. На території України найпоширенішими матеріалами для боротьби з ожеледицею є саме фрикційні. Головним чином це природний пісок, що складається з дрібних зерен, розмір яких не перевищує 5–7 мм. Найкращі показники у піску із середнім розміром зерна від 1,5 до 4 мм, у якому виключені різні домішки у вигляді великого каміння або різного роду щебню. Частка забруднюючих домішок, наприклад, пилюватих, глинистих тощо, не перевищує декілька відсотків від загального об'єму [12].

Крім того використовується дроблений щебінь розміром до 5–7 мм. Для того, щоб запобігти змерзання і покращити текучість сипкого матеріалу, в дрібні щебні додають сухі піски приблизно 20% за об'ємом, або 10% за масою, що дозволяє отримати продукт відомий як піщано-гравійна суміш [9].

При використанні шлаків як матеріалів для боротьби з ожеледицею не допускається вміст у них агресивних хімічних речовин та уламків металу.

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
						10
Лист	№ докум.	Підп.	Дата			

Оскільки топковий шлак легко кришиться, його використання в населених пунктах категорично не рекомендується.

З точки зору швидкого розм'якшення і подальшого руйнування та танення сніго-крижаних відкладень найефективнішими є хімічні матеріали для боротьби з ожеледицею. Однак вони є і найшкідливішими для навколишнього середовища. Розподіл даних матеріалів строго нормований, щоб уникнути перевищення гранично допустимої концентрації на ділянці дороги, що обслуговується, а також заборонено їх застосування на територіях, прилеглих до водойм. Хімічні матеріали для боротьби з ожеледицею використовуються у твердому та рідкому вигляді. Сировина для їх отримання зазвичай є природним запасом бісульфіту, галіту, або відходами хімічної промисловості, такими як: силвініт, карноліт та інші [23].

Хімічні матеріали для боротьби з ожеледицею, що застосовуються для призначеній сльизькості, повинні мати такі властивості:

- знижувати температуру замерзання розчину, яким проводиться обробка дороги чи який використовується як компонент більш складної суміші;
- забезпечувати танення сніго-крижаних відкладень на дорожньому полотні;
- проникати крізь шари снігу та льоду, руйнуючи міжкристалічні зв'язки, та знижувати сили змерзання шарів відкладень із дорожнім покриттям;
- не збільшувати сльизькість оброблених покриттів, особливо при використанні матеріалів для боротьби з ожеледицею у вигляді розчинів;
- мати технологічність та зручність у застосуванні при зберіганні, транспортуванні та нанесенні (розсипанні, розпиленні);
- відповідати вимогам екологічної безпеки та не чинити шкідливого впливу на природне середовище (рослини, вода, ґрунт та ін.), метал, шкіру обслуговуючого персоналу та гуму.

Усі хімічні матеріали для боротьби з ожеледицею можна розділити на чотири підгрупи:

- нітрати (солі азотної кислоти);

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
1	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		11

- ацетати (солі оцтової кислоти);
- карбаміди (діамід вугільної кислоти);
- хлориди (солі хлороводню кислота).

Найчастіше з нітратів застосують хімічний реагент на основі нітрату кальцію та сечовини НКС, котрий виробляється у твердому вигляді [23]. При додаванні магнію в даний реагент одержують нітрат кальцію, магнію та сечовини НКМС. Даний реагент ефективний на стратегічних об'єктах, таких як аеродроми, оскільки має високу плавну здатність в екстремальних погодних умовах і залишається на обробленому покритті після механічного прибирання [24].

Як карбаміди використовують КАС28, КАС30, КАС32 (карбамідно-аміачна селітра) з вмістом азоту від 28 до 32%. Розчини карбамідно-аміачної селітри мають досить низьку температуру кристалізації та змерзання залежно від концентрації. Цей реагент рекомендують застосовувати у районах лісового господарства, оскільки реагенти цієї групи (при невеликих негативних температурах) можуть слугувати у ролі природних добрив [31].

До ацетатів відносять реагенти "Нордікс", в основі яких використовується ацетату калію і "Антисніг-1" на основі ацетату амонію. Дані реагенти випускаються в основному у рідкому вигляді (розчини) і використовуються в умовах дуже низьких температур [23].

Найпоширенішою підгрупою хімічних матеріалів для боротьби з ожеледицею є хлориди. До них відносять реагенти на основі NaCl , CaCl_2 та MgCl_2 . Дані матеріали випускаються як у рідкому (хлористий кальцій модифікований, інгібований, модифікований хлористий магній), так і в твердому (Бішофіт- $\text{MgCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$, хлористий фосфатований кальцій, технічний хлористий натрій кар'єрний). Природні розсоли, найчастіше за хімічним складом, відносять до хлористо-натрієвих або хлористо-кальцієво-натрієвих матеріалів. Зокрема, для Полтавської обласні характерні значні природні запаси таких матеріалів [28].

Поширеними рідкими хлоридами є висококонцентровані розчини хлоридів магнію, натрію, кальцію, які застосовуються як окремо, так і у вигляді сумішей у

					ГММ.601-МММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
№	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		12

різних поєднаннях. При змішуванні хлоридів і води найбільшу ефективність мають насичені розчини, близькі за концентрацією до чистих хлоридів. При застосуванні висококонцентрованих рідких матеріалів для боротьби з ожеледицею, як добавки, необхідно враховувати концентрацію розчинених хімічно чистих солей, оскільки не можна допускати перезволоження твердих матеріалів до стану, при якому вони починають розпливатися. Щоб знизити витрати, збільшити адгезію поверхні твердого матеріалу для боротьби з ожеледицею, яким є в основному хлористий натрій, а також підвищити здатність, що плавить, проводиться його обробка розчином солей з низькою точкою кристалізації [31].

Як показує практика, найкращих властивостей можна досягти за рахунок поєднання та доповнення переваг кожної із груп матеріалів. Тому найпоширенішими стали комбіновані матеріали для боротьби з ожеледицею. Оскільки вони мають одночасно властивості як хімічної, так і фрикційної групи. Як типовий комбінований матеріал для боротьби з ожеледицею на території України використовують піщано-сольову суміш, яка повинна мати у своєму складі не менше ніж 5% (10%) хімічно чистих солей [4]. Ефективність цієї суміші підвищується зі збільшенням дробового (з 10/90 до 50/50) співвідношення солі до піску в суміші. Піщано-сольову суміш готують заздалегідь шляхом ретельного перемішування її компонентів, що виключає можливість зміни рецептури під час проведення робіт із боротьби зі слизькістю.

Обробкою матеріалами для боротьби з ожеледицею піддаються всі об'єкти дорожнього господарства, такі як: штучні споруди, проїжджа частина, тротуари, розділові смуги та багато інших. У Полтаві зимове утримання об'єктів дорожнього господарства проходить, приблизно, у період з 1 грудня до 15 березня [6]. Вибір для застосування матеріалів для боротьби з ожеледицею носить рекомендаційний характер, і кожна дорожня дільниця здійснює вибір раціонального співвідношення компонентів суміші на свій розсуд, ґрунтуючись на «особистому» досвіді, а якість ділянок, що обслуговуються, повинна відповідати вимогам стандартів.

					ГММ.601-МММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		13

Рідкі хімічні матеріали для боротьби з ожеледицею на основі хлористого кальцію та натрію мають масову концентрацію розчинних солей в межах 28% із відхиленням не більше відсотка в обидві сторони від загальної маси розчину. У вимогах для хлористого кальцію та хлористого натрію цей показник повинен перебувати в межах 22% та 6% відповідно [31].

Для твердих багатокомпонентних хімічних матеріалів для боротьби з ожеледицею, залежно від композиції, висуваються такі вимоги, що на основі хлористого кальцію з іншими хлоридами (калію та/або натрію) та форміатом натрію масова частка окремих компонентів у вигляді: хлористого кальцію, хлористого натрію, хлористого калію та форміату натрію, повинна бути не менше 20%, не більше 70%, не більше 20%, не менше 5–7% відповідно. Композиції хлористого кальцію та натрію повинні мати масові частки хлористого кальцію, хлористого натрію не менше 20% та не більше 80% відповідно [31].

Особливістю використання матеріалів для боротьби з ожеледицею є те, що під час снігопаду необхідно виконувати суцільну обробку ними усієї території за час, що не перевищує 3 години з початку снігопаду. Для доріг загальнодержавного значення, включаючи основні транспортні розв'язки та магістралі, за умови забезпечення проходу колони очищення – це повинно бути не більше однієї години.

При тривалих, інтенсивних снігопадах (коли випадає 5 см і більше) чергове прибирання проїжджої частини повинно проводитися після випадання кожних 5 см свіжого неущільненого снігу з подальшою обробкою дорожнього полотна матеріалами для боротьби з ожеледицею, при необхідності із застосуванням фрикційних складових у вигляді щебню. Дрібний гранітний щебінь можна використовувати як основний або додатковий матеріал для боротьби з ожеледицею при «м'яких» погодних умовах на проїжджій частині.

У місцях підвищеної небезпеки (спуски, підйоми, мостові споруди тощо) має проводитися технологічний моніторинг щодо перевірки стану проїжджої частини. Для обробки даних місць використовуються тверді та рідкі хімічні

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
№	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		14

матеріали для боротьби з ожеледицею, які необхідно розподіляти, суворо дотримуючись встановленої норми при обробці дорожнього покриття за один технологічний цикл. Рекомендовано використовувати як основні реагенти тверді матеріали, а фрикційні матеріали використовувати як допоміжні з крупністю від 1,5 до 4 мм, залежно від складності ситуації за погодними умовами.

Нанесення та розподіл матеріалів для боротьби з ожеледицею по поверхні дорожнього полотна та інших об'єктів господарства здійснює комунальна комбінована дорожня машина, оснащена спеціалізованим обладнанням, зокрема універсальними розкидувачами матеріалів із вбудованими системами керування основними робочими органами. Оскільки реальна температура може відрізнятись від прогнозованої, то на момент розподілу матеріалів для боротьби з ожеледицею їх суміш може значною мірою втратити свою ефективність.

1.3 Огляд комбінованих дорожніх машин і агрегатів для обслуговування доріг у зимовий період

З метою обслуговування та підтримання належного стану автомобільних доріг у зимовий період використовують спеціалізовану дорожню техніку, комбіновані дорожні машини. Важливу задачу виконують машини для усунення зимової слизькості шляхом розподілу матеріалів для боротьби з ожеледицею. Всі різновиди снігоочисного обладнання – це найчастіше навісні робочі органи, які встановлюються взимку на різні види шасі. Обробка сніго-крижаних відкладень матеріалами для боротьби з ожеледицею на поверхні автомобільної дороги дає змогу підвищити коефіцієнт зчеплення коліс автомобільного транспорту з поверхнею дорожнього покриття. Хімічні реагенти дозволяють знизити коефіцієнт внутрішнього тертя та знизити відсоток змерзання снігу з поверхнею автомобільної дороги [16].

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
1	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		15

Для розподілу матеріалів для боротьби з ожеледицею на поверхню автомобільних доріг використовують спеціалізовані розподільники (розкидачі). Їхня класифікація є досить широкою (рисунок 1.2) [7]. Типові зразки розкидачів складаються з видаткового накопичувального бункера із запасами твердих або рідких матеріалів для боротьби з ожеледицею, механізмів подачі та розподілу цих матеріалів. Залежно від виконавчого механізму, а саме живильника, ці машини можуть бути оснащені стрічковим або скребковим транспортером. У деяких модифікаціях можуть використовуватися шнекові або барабанні живильники, з похилими лотками, що здійснюють зворотно-поступальний рух. Подача матеріалу відбувається під дією власної ваги. Залежно від типу шасі, розкидачі діляться на тракторні (виконані у вигляді окремого причепа та буксируються трактором) або автомобільні, які можуть бути знімними або постійно встановленими на автомобільному шасі (рисунок 1.3) [10].

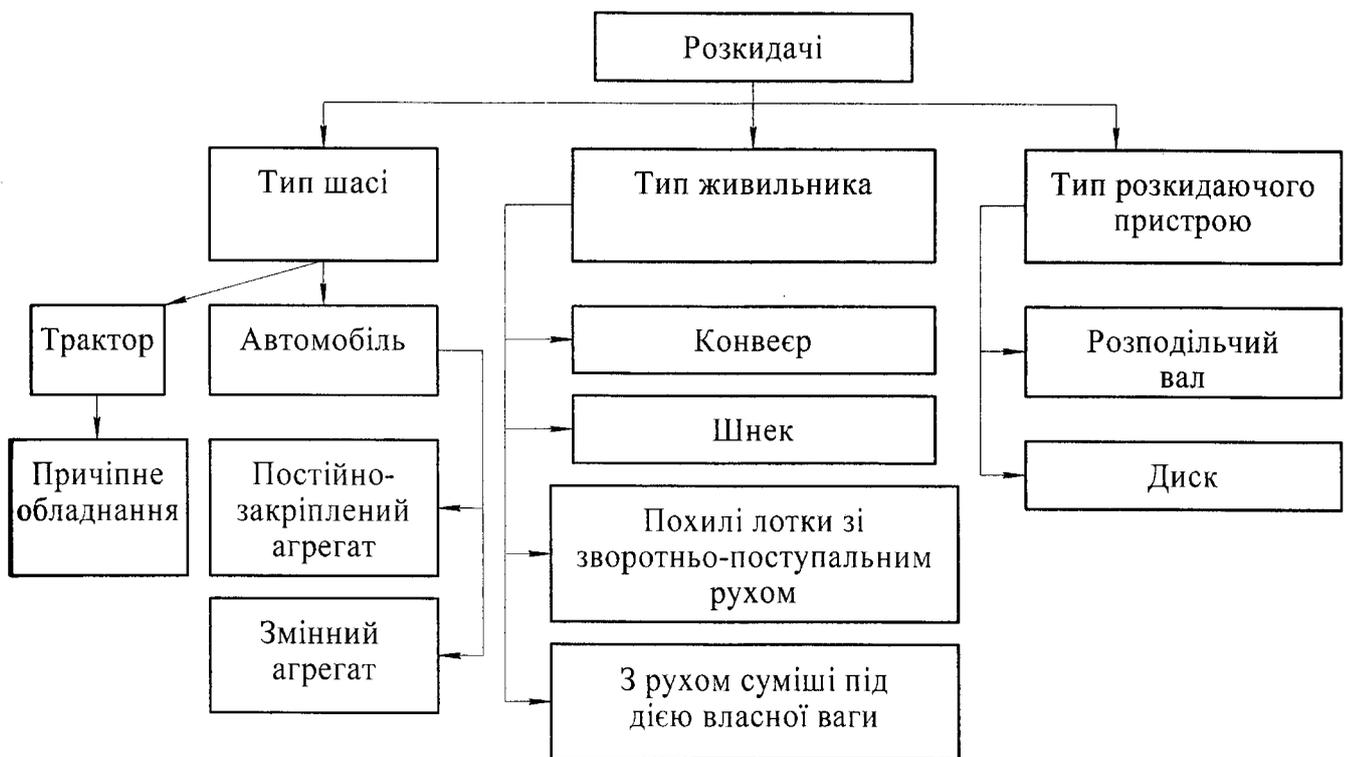


Рисунок 1.2 – Класифікація розкидачів матеріалів для боротьби з ожеледицею

Для розподілу матеріалів для боротьби з ожеледицею на дорожнє покриття з значною швидкістю іноді використовують розподільче обладнання у вигляді горизонтального валу (рисунок 1.3) з лопатями. Розкидач у вигляді валу з лопатями розподіляє матеріал для боротьби з ожеледицею рівномірніше, ніж дисковий, але у нього ширина захвату не перевищує ширини валу, що діє на матеріал.

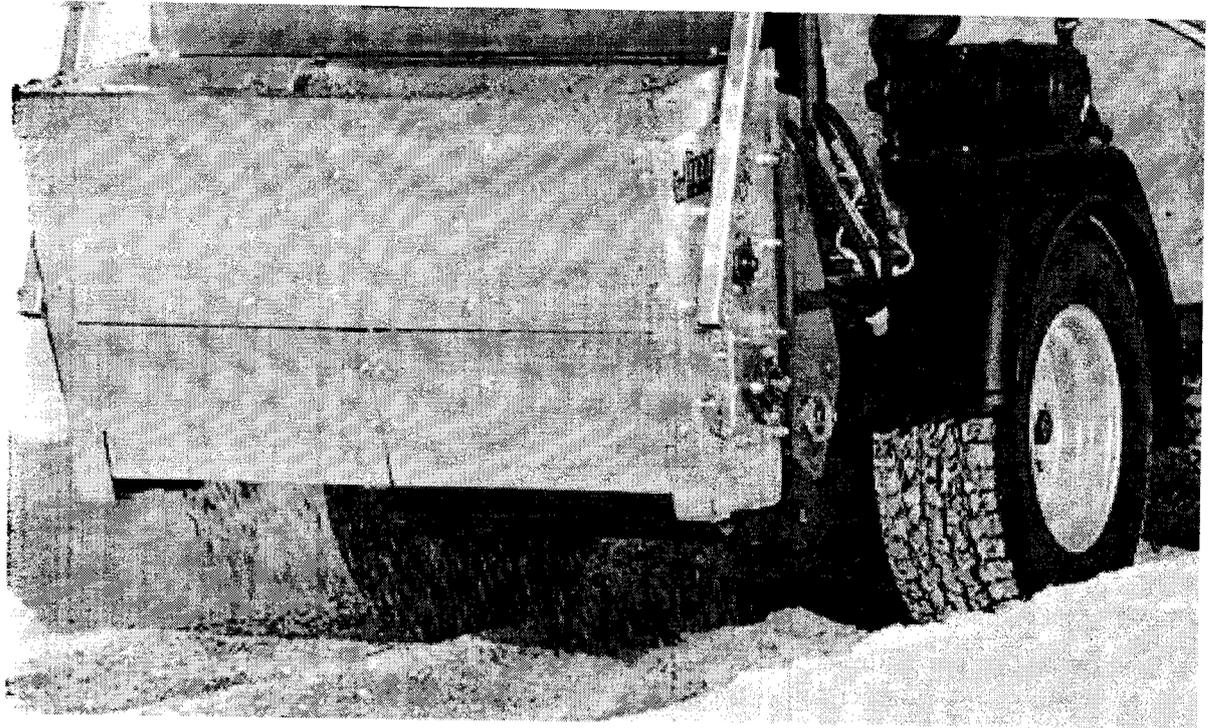


Рисунок 1.3 – Розкидач у вигляді валу з розподілом матеріалу по його довжині на базі трактора

При використанні дискових розкидачів ширина поверхні дорожнього покриття, що буде обробленою, регулюється за рахунок зміни частоти обертання диска. Тому найчастіше розкидальний пристрій виконано у вигляді горизонтально розташованого диска, що обертається, встановлюваного на шасі автомобіля (рисунок 1.4).

Універсальний розкидач (рисунок 1.4) служить для розподілу поверхнею дорожнього полотна фрикційних, хімічних або комбінованих "твердих" матеріалів

					ГММ.601-МММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
Лист	№ докум.	Підп.	Дата			17

для боротьби з ожеледицею. Технологічний матеріал, призначений для розподілу по дорожнім покриттям, подається з силосу в пристрій, що розкидає, за допомогою скребкового чи стрічкового конвеєра. Швидкість обертання – це той параметр, який дозволяє матеріалу рівномірно розподілятися поверхнею дороги.

Інтенсивність такого розкидачу можна регулювати трьома способами:

- змінюючи характер руху транспортера;
- обмежуючи шиберну заслонку матеріалу для боротьби з ожеледицею, що надходить на розподільник;
- змінюючи швидкість обертання пристрою, що виконує розкидання.

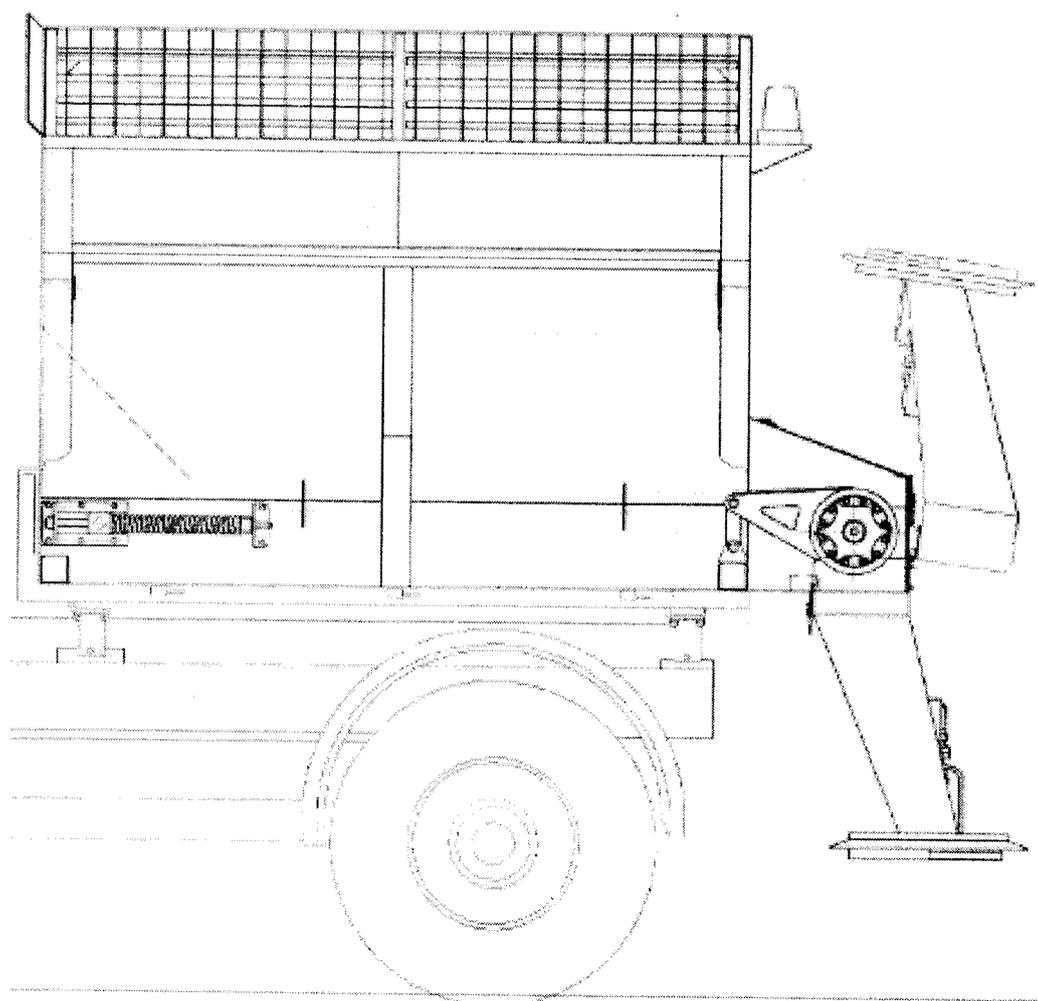


Рисунок 1.4 – Дисковий розкидач постійно-закріпленого агрегату на базі автомобіля

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
Лист	№ докум.	Підп.	Дата			18

Універсальний розкидач, зазвичай, встановлюється на кузов самоскида (рисунки 1.5 – 1.7), у верхній частині якого є металеві ґрати з прутів для запобігання потраплянню в кузов великих каменів або піску, що затвердів. У задній частині кузова монтується борт, на який кріпиться накопичувальний бункер. У передній частині кузова на балках, встановлених з боків кріпиться механізм регулювання натягу конвеєра. Сам конвеєр монтується на трансмісійні механізми приводу та веденого валу, що знаходиться в бункерах на передніх кронштейнах кузова. Регулювання висоти шару матеріалу для боротьби з ожеледицею, що розподіляється, відбуваються завдяки шиберній заслонці і привідному валу конвеєра, які встановлені всередині бункера. Регулювання рівня заслонки відбувається вручну за допомогою панелі оператора розташованої в кабіні транспортного засобу. Розподіл матеріалу на поверхню дорожнього покриття здійснюється диском, що розкидає матеріал. Диск встановлений під бункером з технологічним матеріалом [28].

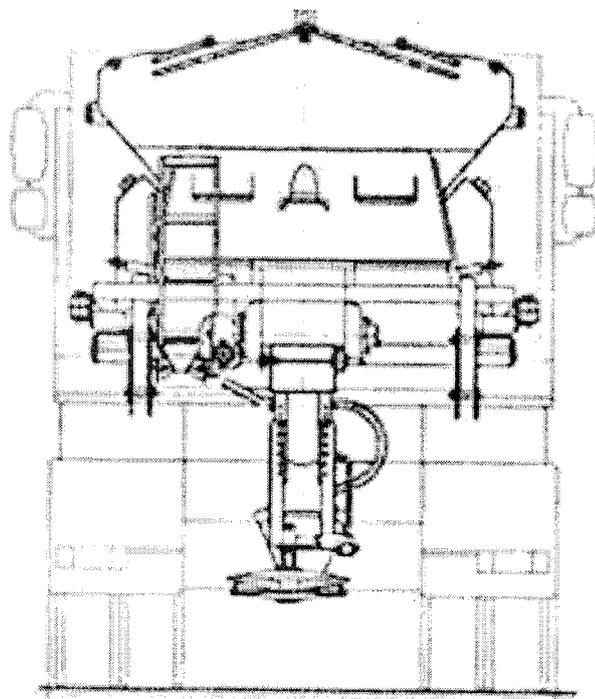


Рисунок 1.5 – Змінний агрегат дискового розкидача, встановлений на базі автомобіля самоскида

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
№	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		19

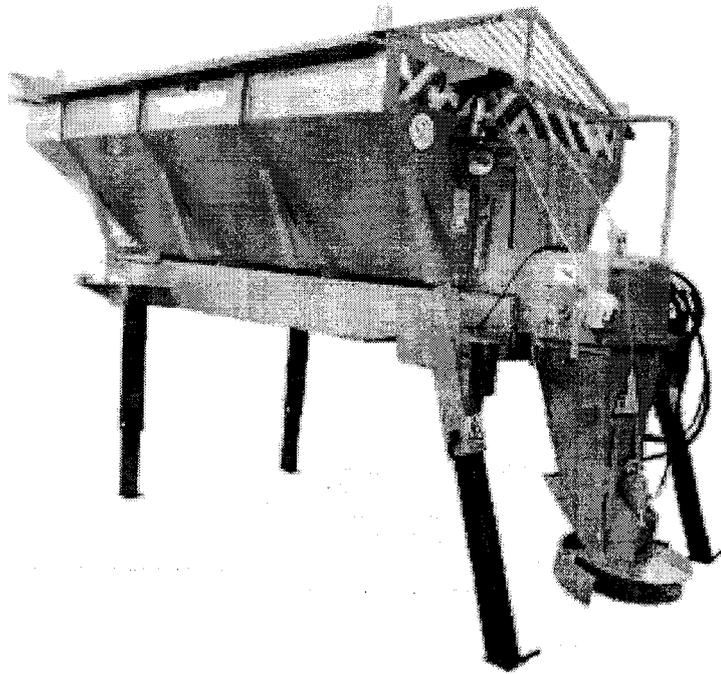
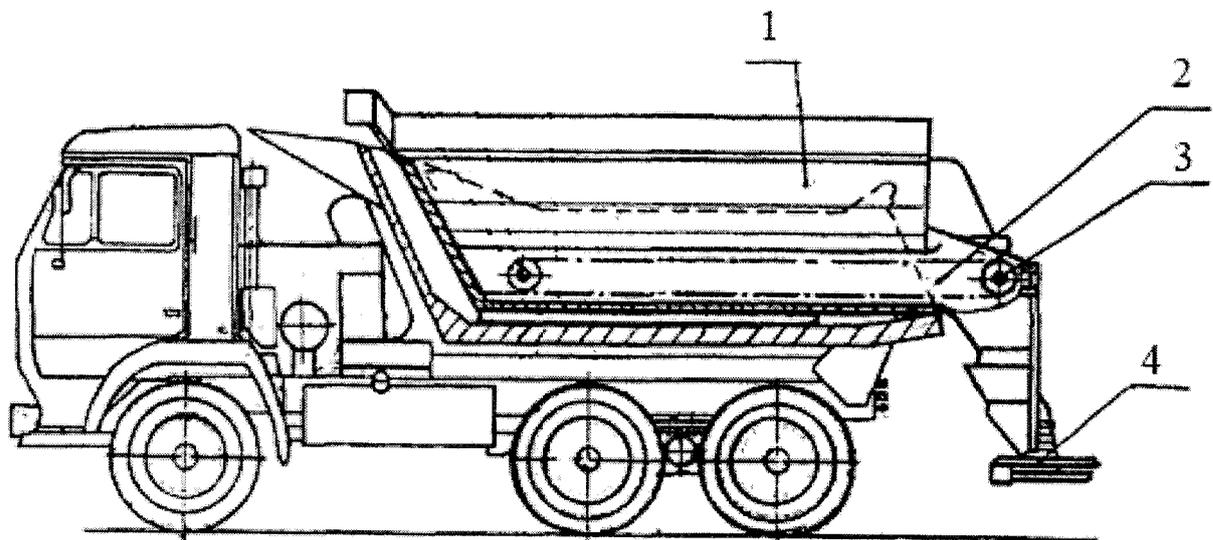


Рисунок 1.6 – Окремий змінний агрегат дискового розкидача, призначений для встановлення на різні види шасі



1 – накопичувальний бункер; 2 – конвеєр живильника; 3 – шиберна заслонка розкидача; 4 – диск розкидача

Рисунок 1.7 – Будова змінного агрегата дискового розкидача

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ

Лист

20

Передачу потужності до розкидача здійснює привід конвеєра, диска для розкидання і самоскидного обладнання. Основними елементами цієї системи є коробка відбору потужності, карданний вал, редуктор приводу конвеєра, ланцюг конвеєра, гідропривід. Крутний момент від коробки передач базового автомобіля передається нижнім валом коробки відбору потужності на привід насоса диска для розкидання, а верхнім, через карданний вал направляється на привід насоса конвеєра.

Насос диска для розкидання приводить в дію гідромотор, безпосередньо від валу якого здійснюється привід самого диска. Насос конвеєра приводить в дію гідромотор, крутний момент з валу якого передається через шлицеву муфту і триступінчастий редуктор на привідну зірочку скребкового конвеєра. Гідропривід розкидача складається з гідронасосів і гідромоторів приводів конвеєра та диска, що розкидає, фільтра з паперовими елементами, дроселів управління потоком рідини, запобіжного гідроклапана, ручного насоса, гідроліній [28].

Міжнародна практика показує [19] плановий перехід від гідроприводів до електроприводів, проте вид приводу не впливає на алгоритми регулювання подачі матеріалу для боротьби з ожеледицею залежно від метеоумов.

Обладнання для поливання і розпилення рідких хімічних матеріалів для боротьби з ожеледицею у зимовий період служить для їх рівномірного розподілу по поверхні дорожнього полотна. Технологічний матеріал при цьому подається насосом із резервуара в кузові на поливальний чи розпилюючий пристрій. Швидкість обробки дорожнього полотна залежить від дозатора. Щільність розподілу регулюється двома способами:

- кількістю вихідних клапанів у поливальній рампі;
- потужністю насоса, що подає матеріал із резервуара в поливальну рампу.

Комбінований розкидач (рисунок 1.8) служить для обробки поверхні автомобільної дороги твердими та рідкими матеріалами для боротьби з ожеледицею одночасно. Цей пристрій обладнано металевим бункером для твердих компонентів, а також і пластиковими резервуарами для рідких речовин або води.

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
1	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		21

Установка комбінованого розкидача відбувається на базі самоскида, що дозволяє ефективно використовувати матеріали для боротьби з ожеледицею. Дане обладнання дозволяє вести обробку дорожнього полотна одночасно твердими та рідкими складовими або сумішами, котрі потребують змочування [28].

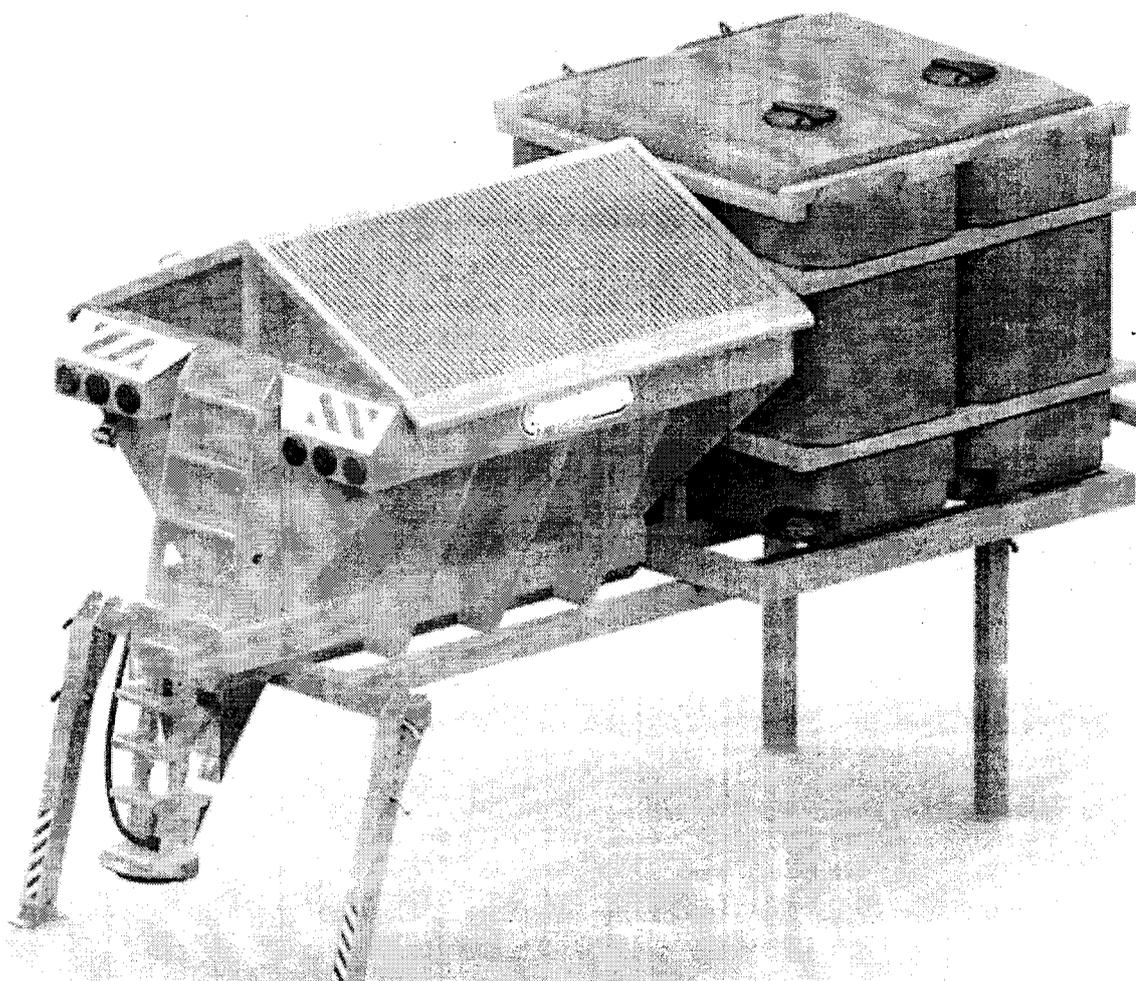


Рисунок 1.8 – Комбінований розкидач із функцією змочування сипких і розпилення рідких матеріалів

Основною перевагою такого обладнання є те, що всі його складові частини розташовані на єдиній рамі. Розподільник встановлюється на шасі або кузов вантажного автомобіля. Ними можуть обладнуватися автомобілі марки КрАЗ, а також більшість марок автомобілів іноземного виробництва.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ

Лист

22

Але, не зважаючи на велику різноманітність конструкцій розкидачів, у них відсутня технологічна можливість зміни складу розподіленого матеріалу для боротьби з ожеледицею в процесі експлуатації дорожніх машин безпосередньо на ділянці, що обслуговується. Цю проблему можна усунути за рахунок використання інтелектуальних систем дозування та транспортування матеріалів. Зокрема, з розвитком систем автоматизації з'явилася можливість приведення процесу підбору складу суміші до рекомендованих раціональних співвідношень, основаних на потребах у властивостях матеріалу для боротьби з ожеледицею згідно з актуальними метеорологічними даними. Це означає, що виникає потреба у дослідженні та створенні науково-обґрунтованого підходу до вивчення питання підвищення ефективності проведення робіт спрямованих на боротьбу із зимовою слизькістю на автомобільних дорогах за рахунок обґрунтування раціональних параметрів дозування комбінованих дорожніх машин та гнучке керування ними. І визначальною при цьому повинна бути інформація від дорожніх систем та даних гідрометеорологічного центру, на основі якої можна забезпечити максимальну ефективність експлуатації багатобункерних універсальних автоматизованих розкидачів матеріалів для боротьби з ожеледицею.

					ГММ.601-МММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
№	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		23

2 Теоретичні дослідження параметрів комунальних комбінованих дорожніх машин при роботі із сипкими матеріалами

2.1 Схема до визначення розмірів бункера для накопичення сипких матеріалів

Створення системи керування для розкидачу універсальної дії призначеного для матеріалів для боротьби з ожеледицею на базі комунальних комбінованих дорожніх машин вимагає підібрати раціональні параметри накопичувальних бункерів сипких матеріалів піщано-сольових сумішей для забезпечення безперервної та плавної подачі матеріалу без утворення конуса зведення та підібрати систему дозування з живильником для реалізації системи швидкого керування дозуванням компонентів матеріалів для боротьби з ожеледицею.

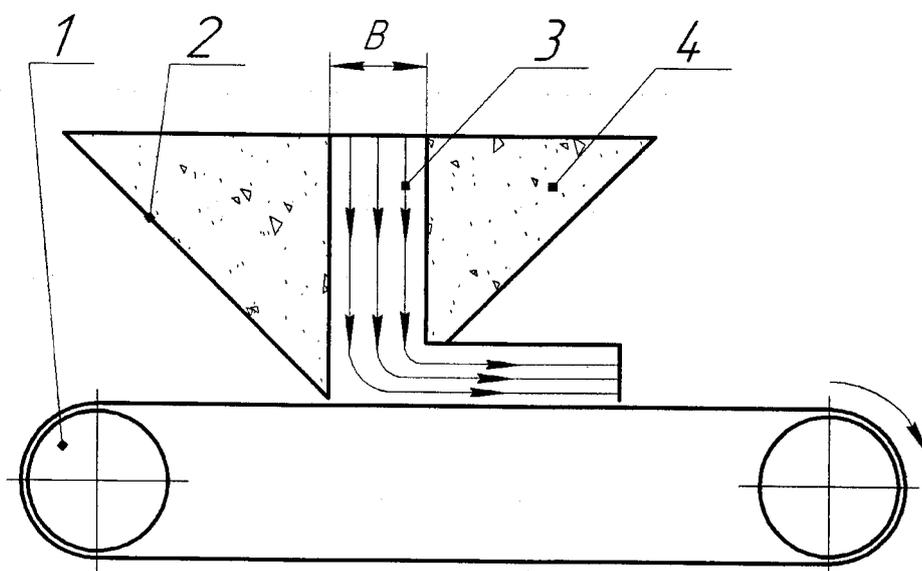
Вільна подача матеріалів для боротьби з ожеледицею відбувається тоді, коли розмір вихідного отвору накопичувального бункера більший за розмір як для такого випадку, коли відбувається утворення утримуючого зведення у суміші. І відповідно до геометричних параметрів накопичувального бункера та фізико-механічних властивостей матеріалів для боротьби з ожеледицею є необхідність підбирати розмір вихідного отвору накопичувального бункера з метою забезпечення якісної продуктивної роботи техніки.

При встановленні живильника у накопичувальний бункер відбувається утворення мертвої зони, внаслідок чого зменшується площа випускного отвору.

Спадаючий рух матеріалу відбувається поблизу задньої стінки бункера у напрямку розвантажувального отвору живильника (рисунок 2.1).

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ		
Лист	№ докум.	Підп.	Дата				
Зроб.	Пивоваров	<i>[підпис]</i>	29.12	Теоретичні дослідження параметрів комунальних комбінованих дорожніх машин при роботі із сипкими матеріалами	Літ.	Лист	Листів
Рев.	Рогозін	<i>[підпис]</i>	29.12			24	21
Конт.	Васильєв	<i>[підпис]</i>	18.01		Національний університет імені Юрія Кондратюка ННІ ІТР, 2023		
Пв.	Орисенко	<i>[підпис]</i>	19.01				

При цьому відомі випадки [12], коли при закінченні матеріалу із вологістю близько одного відсотка ширина зони потоку B становила близько 70% від розміру випускного отвору бункера.



1 – конвеєр; 2 – бункер з матеріалом; 3 – зона потоку матеріалу; 4 – зона низької або нульової рухомості матеріалу

Рисунок 2.1 – Схема спадającego руху в бункері характерна для матеріалів для боротьби з ожеледицею

Виникнення та тривале існування нерухомих зведень матеріалу з високою стійкістю спричинене мертвою зоною, в зоні якої рух матеріалів для боротьби з ожеледицею вважається надмірно повільним, має високу ймовірність. Подібне стійке зведення може перекрити вихідний отвір, що унеможливить вільний спадający рух матеріалу. Для уникнення такого явища бункер повинен мати вібратор, або його геометричні форми потребують зміни, зокрема, можна змінити висоту. Це дозволить створити необхідні та достатні умови для вільного спадającego руху матеріалу під дією сил ваги.

Одночасно із цим, зміна геометричної форми впливатиме на об'єм матеріалів для боротьби з ожеледицею, що міститься у бункері, а висота робить

неможливим керування потоком, що призводить до втрати продуктивності розкидача. Встановлення ж додаткового обладнання призводить до суттєвого підвищення вартості техніки.

Для вирішення даної несприятливої ситуації пропонується встановити між бункером і живильником похилий канал (рисунок 2.2). Це дозволить не лише уникнути утворення зведення нерухомого матеріалу, а також й надасть можливість керувати потоком матеріалу для боротьби з ожеледицею залежно від параметрів стрічкового конвеєра, яким обладнаний живильник. Такий похилий канал збільшує максимальний розмір вихідного отвору накопичувального бункера у зоні перерізу А–А, оскільки фізика процесу руху спадання сипучого середовища у цьому випадку буде відрізнятися [8].

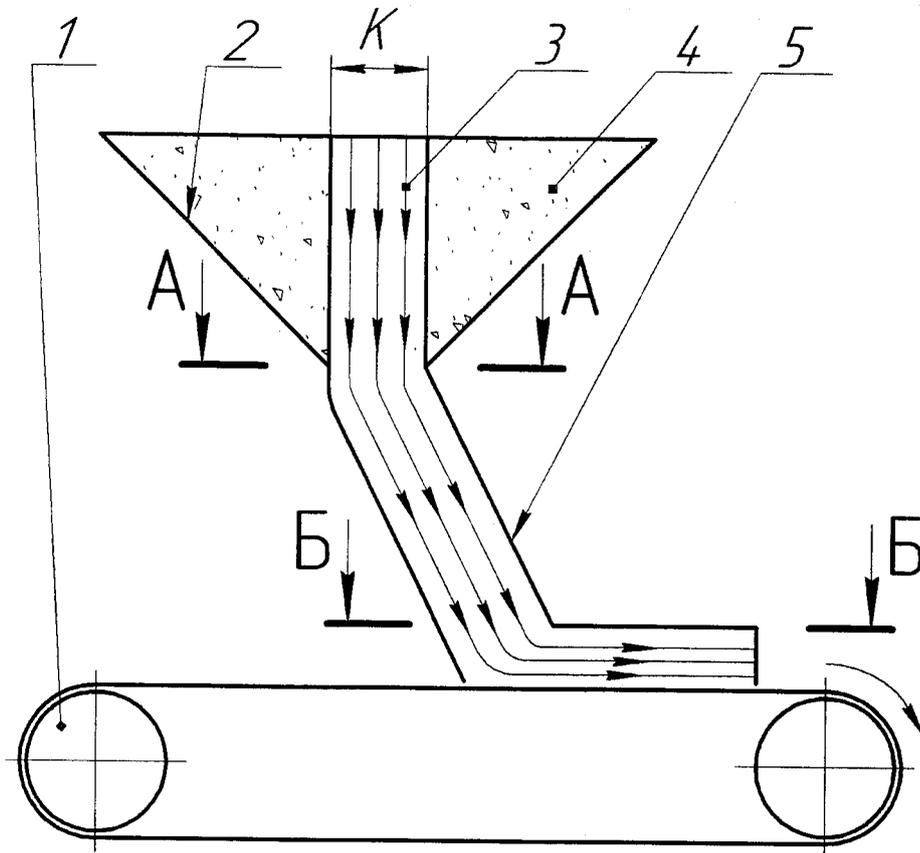
Запропонована конструкція (рисунок 2.2) дозволить зменшити силу тертя між матеріалом, що знаходиться в бункері, і матеріалом, що надходить на живильник. А в перерізі Б–Б ці напруження суттєво знижуються і не є настільки критичними.

Але додавання похилого каналу не є максимально прийнятним рішенням для даної конструкції. І це в першу чергу пов'язано з тим, що накопичувальні бункери зазвичай розташовуються на базі спеціалізованого рухомого складу комбінованих дорожніх машин комунальних служб.

Отже, необхідно враховувати габаритні обмеження, які встановлені для даної групи машин. Тому задача раціонального підбору розміру вихідного отвору в перерізі А–А для забезпечення безперервного спадаючого руху матеріалу для боротьби з ожеледицею та параметрів живильника для реалізації системи керування універсального розкидача з регульованим співвідношенням компонентів матеріалу для боротьби з ожеледицею у вигляді піщано-соляної суміші є особливо важливою для досягнення ефективної роботи машини. Для уникнення утворення малорухомого зведення суміші розмір вихідного отвору у перерізі А–А бункера потрібно обґрунтувати. Це можна зробити, знайшовши аналітичні вирази для опису залежності розміру випускного отвору бункера у

					ГММ.601-МММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
№	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		26

зоні перерізу А-А від фізико-механічних властивостей в'язко-сипучого середовища матеріалу для боротьби з ожеледицею у вигляді піщано-соляної суміші та кута нахилу похилого каналу, взявши за основу дослідження подібних процесів у літературних джерелах [17, 18]. При цьому необхідно враховувати й параметри живильників, щоб керувати можливими обмеженнями розмірів окремих елементів комбінованих дорожніх машин.



1 – конвеєр; 2 – бункер з матеріалом; 3 – зона потоку матеріалу; 4 – зона низької або нульової рухомості матеріалу; 5 – похилий канал

Рисунок 2.2 – Схема спадаючого руху в бункері із використанням похилого каналу характерна для матеріалів для боротьби з ожеледицею

У такому випадку задаємося умовою, що напруження поверхні зведення, утворене від маси вище розташованого нерухомого сипучого матеріалу,

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ

Лист

27

дорівнює нулю. Це найгірший можливий випадок виникаючих напружень з огляду на те, яким чином відбувається рух спадання донизу матеріалу під дією власної ваги. Адже, силою, що прагне зруйнувати утворене нерухоме зведення, буде сила ваги від маси матеріалу.

2.2 Обґрунтування розміру вихідного отвору накопичувального бункера

Для визначення розміру вихідного отвору накопичувального бункера необхідно побудувати схему напружень, які будуть виникати під час руху матеріалу в середині бункера (рисунки 2.3 та 2.4).

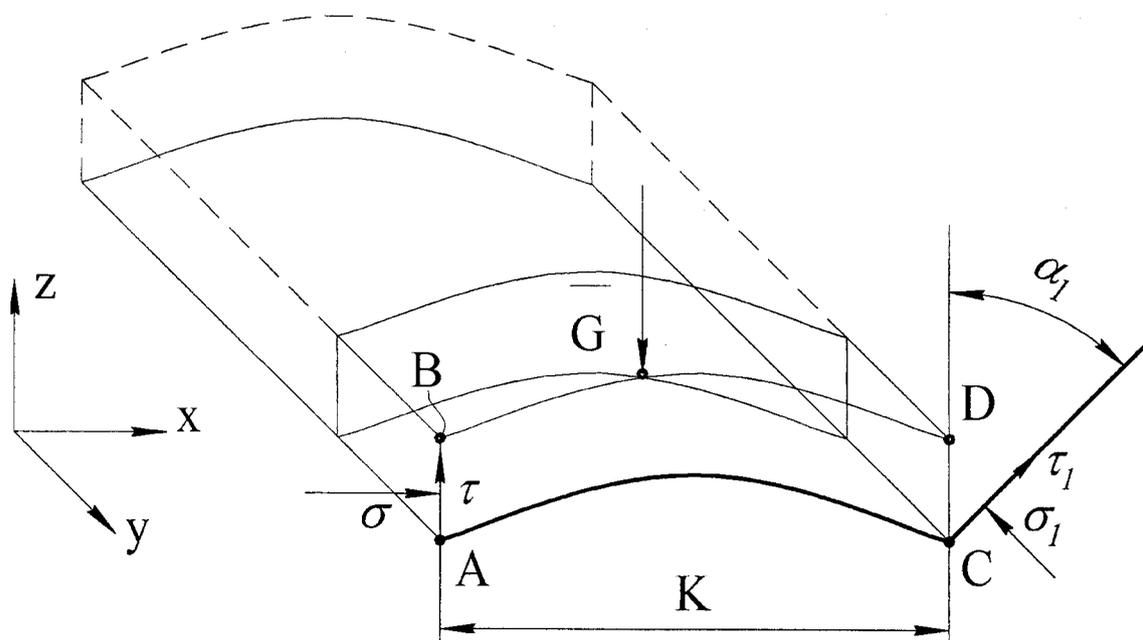


Рисунок 2.3 – Схема напружень сипучого матеріалу у зоні вихідного отвору накопичувального бункера

Лист	№ докум.	Підп.	Дата	

ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ

Лист

28

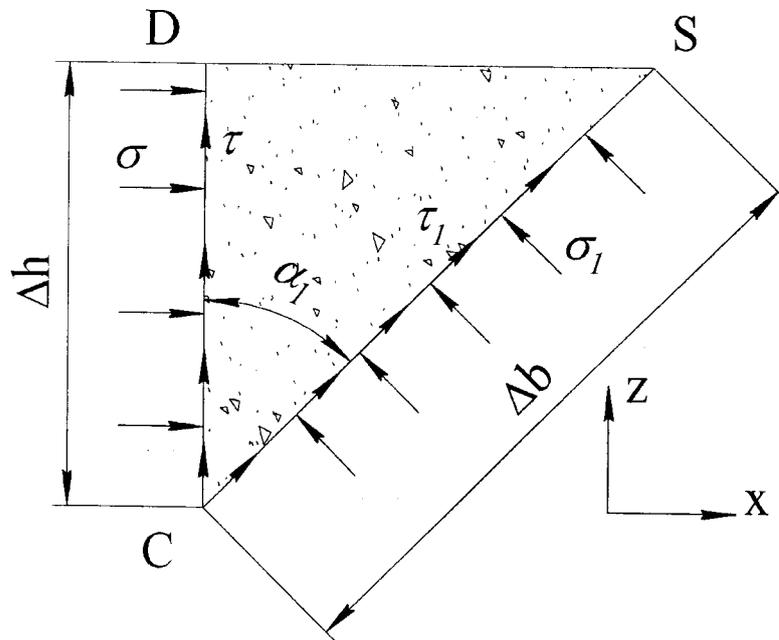


Рисунок 2.4 – Схема напружень сипучого матеріалу у вертикальній площині

Якщо розглядати шар сипучого матеріалу, що утворює нерухоме зведення з куполом по дузі AD, то можна виділити елементарний об'єм, який утворений фігурою ABDC у вертикальній площині та певною відстанню вздовж осі у, яку зручно буде умовно задати рівною одиниці (рисунок 2.3). На цей об'єм сипучого матеріалу по вертикальним площинам, що проходять через точки С і D з одного боку та А і В з іншого, будуть діяти внутрішні дотичні напруження у матеріалі τ_1 і τ_2 , а також внутрішні нормальні напруження σ_1 і σ_2 відповідно.

У такому випадку вага виділеного елементарного об'єму буде становити:

$$G = g \cdot K \cdot y \cdot \Delta h \cdot \rho, \quad (2.1)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

K – ширина елементарного об'єму, визначена вздовж осі x , м ;

y – глибина елементарного об'єму, визначена вздовж осі u , м ;

Δh – висота елементарного об'єму, визначена вздовж осі z (рисунок 2.4), м ;

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-МММ.012-00.00.000ПЗ

Лист

29

ρ – густина матеріалу, кг/м³.

Побудуємо рівняння рівноваги сил для елементарного об'єму матеріалу:

$$\begin{aligned} g \cdot K \cdot y \cdot \Delta h \cdot \rho - \tau_2 \cdot \Delta b \cdot y \cdot \cos \alpha_1 - \sigma_2 \cdot \Delta b \cdot y \cdot \sin \alpha_1 - \\ - \tau_1 \cdot \Delta b \cdot y \cdot \cos \alpha_1 + \sigma_1 \cdot \Delta b \cdot y \cdot \sin \alpha_1 = 0, \end{aligned} \quad (2.2)$$

де α_1 – кут нахилу стінки бункера, рад;

Δb – ширина зони контакту елементарного об'єму із похилою стінкою бункера, м.

Спростимо вираз, тоді він набуде вигляду:

$$\begin{aligned} g \cdot K \cdot \Delta h \cdot \rho - \tau_2 \cdot \Delta b \cdot \cos \alpha_1 - \sigma_2 \cdot \Delta b \cdot \sin \alpha_1 - \\ - \tau_1 \cdot \Delta b \cdot \cos \alpha_1 + \sigma_1 \cdot \Delta b \cdot \sin \alpha_1 = 0. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Зі схеми на рисунку 2.4 видно, що

$$\Delta b = \frac{\Delta h}{\cos \alpha_1}. \quad (2.4)$$

Тоді можемо виразити K у вигляді:

$$K = \frac{\tau_2 + \sigma_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 + \tau_1 - \sigma_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1}{g \cdot \rho}. \quad (2.5)$$

Проведемо розрахунок нормального σ_1 та дотичного τ_1 напружень, котрі будуть діяти на передню похилу стінку бункера. Для цього розглянемо елементарний об'єм матеріалу суміші, обмеженої трикутником DCS (рисунок 2.4). І тоді визначимо нормальне і дотичне напруження на межі DC.

					ГММ.601-МММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
м.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		30

Складаємо рівняння проєкцій сил, що будуть діяти на зону DC та на нормаль до неї відповідно:

$$-\tau \cdot CD + \tau_1 \cdot CS \cdot \cos \alpha_1 - \sigma_1 \cdot CS \cdot \sin \alpha_1 = 0; \quad (2.6)$$

$$\sigma \cdot CD - \sigma_1 \cdot CS \cdot \cos \alpha_1 - \tau \cdot CS \cdot \sin \alpha_1 = 0. \quad (2.7)$$

Згідно із рівнянням (2.4) можемо записати вираз:

$$CD = CS \cdot \cos \alpha_1. \quad (2.8)$$

Якщо взяти до уваги умову граничної рівноваги суцільного сипучого середовища матеріалу для боротьби з ожеледицею, то дотичну та нормальну складові напружень, що виникатимуть у вертикальних площинах, можна знайти за залежностями [21]:

$$\tau = \tau_0 \cdot (1 + \sin \varphi), \quad (2.9)$$

$$\sigma = \tau_0 \cdot \cos \varphi. \quad (2.10)$$

Використовуючи залежності (2.8) – (2.10) можемо отримати значення нормального напруження σ_1 у матеріалі при взаємодії із похилою стінкою бункера.

$$\sigma_1 = \tau_0 \cdot \cos \alpha_1 \cdot [\cos \varphi \cdot \cos \alpha_1 - (1 + \sin \varphi) \cdot \sin \alpha_1]. \quad (2.11)$$

У загальному випадку дотичне напруження τ_1 становитиме:

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
№	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		31

$$\tau_1 = R + \sigma_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1, \quad (2.12)$$

де R – це значення дотичного напруження, що визначається за заданих умов шорсткості стінки бункера, Па.

Після підстановки значення σ_1 згідно з рівнянням (2.11) отримаємо:

$$\tau_1 = R + \tau_0 \cdot \cos \alpha_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot [\cos \varphi \cdot \cos \alpha_1 - (1 + \sin \varphi) \cdot \sin \alpha_1]. \quad (2.13)$$

Напруження в сипучому середовищі, які будуть виникати на протилежній стінці бункера, можна пов'язати із фізико-механічними властивостями матеріалу для боротьби з ожеледицею та параметрами такого накопичувального бункера. Тоді матимемо:

$$\sigma_2 = \tau_0 \cdot [\cos \varphi - (1 + \sin \varphi) \cdot \operatorname{tg} \alpha_1]. \quad (2.14)$$

$$\tau_2 = R + \tau_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot [\cos \varphi + (1 + \sin \varphi) \cdot \operatorname{tg} \alpha_1]. \quad (2.15)$$

Тепер, маючи значення напружень σ_1 , τ_1 , σ_2 та τ_2 , виражаємо рівняння для розрахунку максимально можливого розміру випускного отвору накопичувального бункера, при якому ще існує можливість утворення нерухомого зведення куполу суміші.

$$K = \frac{2R}{g \cdot \rho} + \frac{\tau_0}{g \cdot \rho} \cdot [\cos \varphi + (1 + \sin \varphi) \cdot \operatorname{tg} \alpha_1] \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 + \operatorname{tg} \alpha_1) + \frac{\tau_0}{g \cdot \rho} \cdot [\cos \varphi \cdot \cos \alpha_1 - (1 + \sin \varphi) \cdot \sin \alpha_1] \cdot (\cos \alpha_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 - \sin \alpha_1). \quad (2.16)$$

Отже, можемо зробити висновок, що для того, щоб було забезпечено стабільний рух сипкого середовища матеріалу для боротьби з ожеледицею без виникнення випадків утворення нерухомого зведення куполу такого матеріалу та його застою, необхідно мати розмір вихідного випускного отвору бункера більшим за значення, що розраховане за формулою (2.16).

Якщо задатися умовою, що стінки бункера будуть не похилі, а вертикальні (тобто, коли $\alpha_1 = 0^\circ$), то розрахунок максимально можливого розміру випускного отвору накопичувального бункера, при якому ще існує можливість утворення нерухомого зведення куполу суміші, буде мати вигляд:

$$K = \frac{2 \cdot (R + \tau_0 \cdot \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi_1)}{g \cdot \rho} \quad (2.17)$$

У випадку, коли вважати шорсткість стінок бункера абсолютною, тобто виконується рівність:

$$R = \tau_0, \quad (2.18)$$

а також стінки розташовані вертикально, то звідси отримаємо:

$$K = \frac{2 \cdot \tau_0 \cdot (1 + \sin \varphi)}{g \cdot \rho} \quad (2.19)$$

З метою зменшення тиску середовища у бункері на живильник слід завжди встановлювати похило, тому кут α_1 не буде дорівнювати нулеві.

Із аналізу формули (2.16) випливає, що розрахункова величина розміру отвору K зменшується зі збільшенням величини кута α_1 і сягає нульового значення при досягненні кутом α_1 певної величини. Розглянуту ситуацію можна описати залежністю:

					ГММ.601-МММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
№	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		33

$$\frac{\tau_0}{g \cdot \rho} \cdot [\cos \varphi \cdot \cos \alpha_1 - (1 + \sin \varphi) \cdot \sin \alpha_1] \cdot (\cos \alpha_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 + \sin \alpha_1) + \\ + \cos \varphi \cdot \cos \alpha_1 - [(1 + \sin \varphi) \cdot \sin \alpha_1] = 0. \quad (2.20)$$

Оскільки матеріал для боротьби з ожеледицею головним чином у своєму складі має два компоненти, якими є пісок та кам'яна сіль, то у розрахунках слід використовувати значення кута внутрішнього тертя φ для цих матеріалів. Так, згідно із літературними джерелами [4, 17], кут внутрішнього тертя для сухого піску становить 34° , а для кам'яної солі коливається у межах від 14° до 34° залежно від вологості. Це означає, що значення $\cos \varphi$ буде коліватися в межах від 0,83 до 0,97. За умови забезпечення контролю вологості матеріалів для боротьби з ожеледицею та підтримання її на певному стабільному рівні у розрахунках можна використовувати сталі значення кута внутрішнього тертя.

Тоді, розв'язавши рівняння (2.20), зможемо відшукати кут α_1 нахилу стінок бункера.

Також можна стверджувати, що при абсолютній шорсткості стінок бункера вираз для знаходження критичного розміру його вихідного отвору буде записано наступним чином:

$$K = \frac{4 \cdot \tau_0}{g \cdot \rho}. \quad (2.21)$$

У ситуації, коли сипке середовище є ідеальним (справджується припущення, що $\tau_0 = 0$), при його зберіганні в бункері із похилими стінками максимальний розмір його випускного отвору, при якому ще існує можливість утворення нерухомого зведення куполу суміші, може розраховуватися за наступним аналітичним виразом:

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		34

$$K = \frac{2 \cdot R}{g \cdot \rho} \quad (2.22)$$

Це означає, що критичне значення розміру випускного отвору буде залежати від якості поверхні стінок накопичувального бункера.

Якщо припустити, що стінки бункера будуть ідеально гладкими, то залежність (2.16) матиме вигляд:

$$K = \frac{\tau_0}{g \cdot \rho} \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot [\cos \varphi + (1 + \sin \varphi) \cdot \operatorname{tg} \alpha_1] - \frac{\tau_0}{g \cdot \rho} \cdot \sin \alpha_1 \cdot [\cos \varphi \cdot \cos \alpha_1 - (1 + \sin \varphi) \cdot \sin \alpha_1] \quad (2.23)$$

Бункери комбінованих дорожніх машин рекомендується виготовляти із високоякісної нержавіючої сталі. Це дозволяє суттєво збільшити їх термін експлуатації. Державний стандарт передбачає чотирнадцять класів поверхонь за шорсткістю. Для накопичувальних бункерів перед живильником і розкидачем суміші на таких машинах зазвичай поверхні внутрішніх стінок проходять технологічну обробку з метою досягнення шорсткості на рівні $R_a 0,4$ та чистіше.

2.3 Обґрунтування раціональних геометричних параметрів накопичувальних бункерів

При знаходженні залежності (2.16) для розрахунку максимально можливого розміру випускного отвору накопичувального бункера, при якому ще існує можливість утворення нерухомого зведення куполу суміші, не було використано припущення про те, що дотичні напруження на передній і задній

					ГММ.601-МММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		35

похилих стінках бункера живильника є рівними. Оскільки дотичні напруження не є постійними за величиною вздовж поперечного перерізу, а потреба у визначенні напруженого стану матеріалу присутня для всіх поперечних перерізів довільної форми, то можливість знаходження критичного розміру випускного отвору накопичувального бункера довільної форми не є можливим із задовільним рівнем точності.

У комбінованих дорожніх машинах конструктивно зручно використовувати випускні отвори бункера живильника прямокутної форми. Тому розглянемо алгоритм розрахунку параметрів отворів саме прямокутної форми, за якої можемо досягти необхідного рівня точності результатів, за умови використання методу наближеного знаходження кінцевих параметрів на основі врахування впливу на процес подачі сипкого середовища фізико-механічних властивостей матеріалу для боротьби з ожеледицею, геометричних форм бункера, серед яких кут нахилу його стінок, та типу встановленого живильника. Для цього побудовано розрахункову схему загального вигляду накопичувального бункера із випускним отвором прямокутної форми (рисунок 2.5), а також відповідні схеми у вертикальній поперечній площині zOx (рисунок 2.6) і вертикальній повздовжній площині zOy (рисунок 2.7). Із наведених схем задаємося величиною площі випускного отвору прямокутної форми F та товщиною утвореного зведення куполу нерухомої суміші Δh . Отже, тепер можемо оцінити вагу утвореного у товщі матеріалу зведення куполу нерухомої суміші, що знаходиться в елементарному об'ємі, за допомогою формули:

$$G = g \cdot \rho \cdot F \cdot \Delta h. \quad (2.24)$$

Далі знайдемо діючі по периметру стінок внутрішнього контуру накопичувального бункера напруження. Вони будуть постійні та можуть бути розраховані за залежностями:

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
						36
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

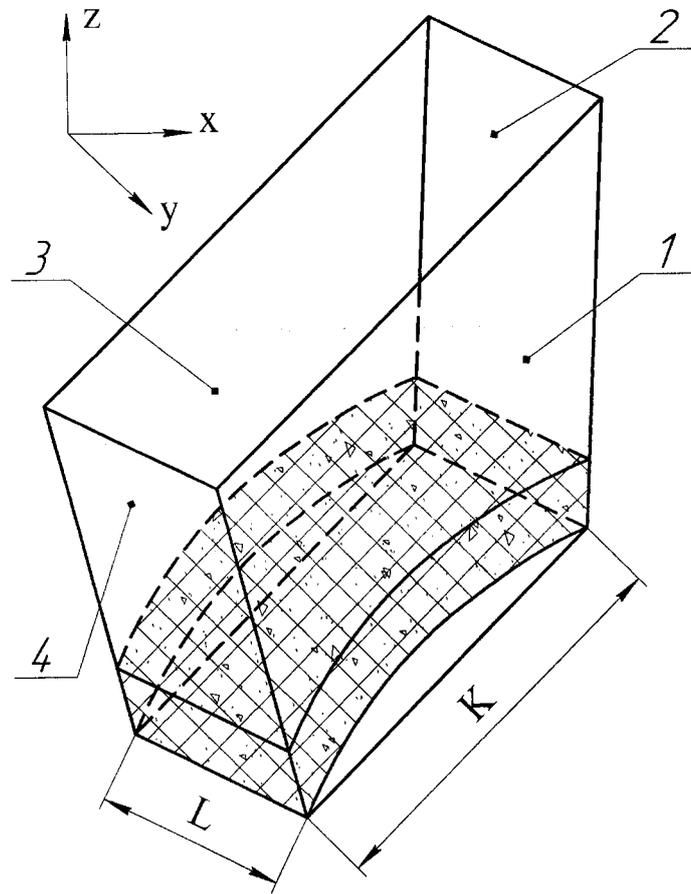


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема загального вигляду для визначення параметрів накопичувального бункера

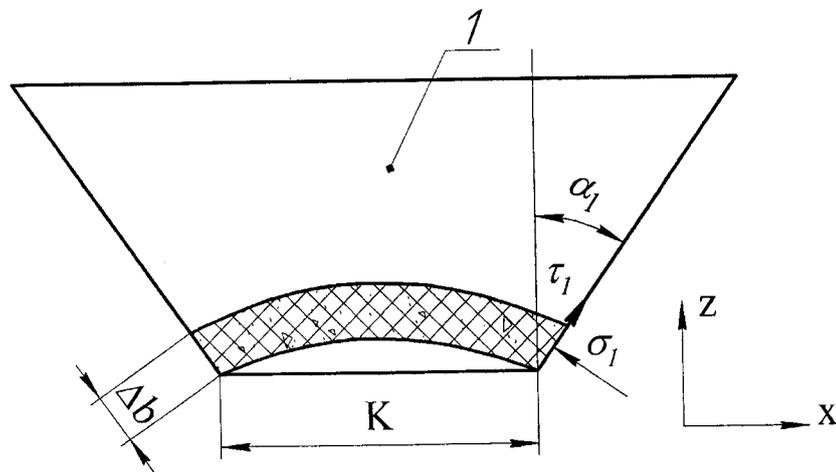


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема накопичувального бункера у вертикальній поперечній площині zOx

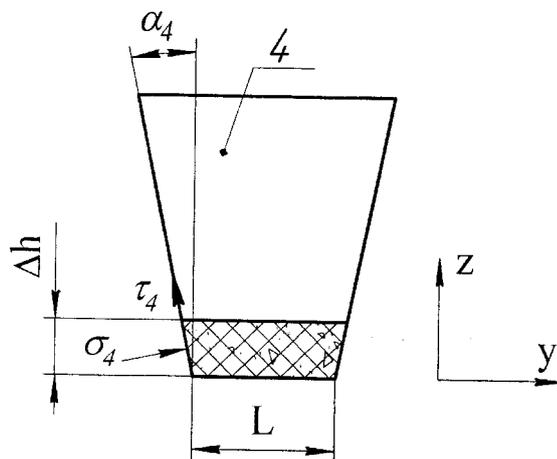


Рисунок 2.7 – Розрахункова схема накопичувального бункера у вертикальній повздовжній площині zOy

$$\sigma_1 = \tau_0 \cdot \cos \alpha_1 \cdot [\cos \varphi \cdot \cos \alpha_1 - (1 + \sin \varphi) \cdot \sin \alpha_1]; \quad (2.25)$$

$$\tau_1 = R_1 + \tau_0 \cdot \cos \alpha_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot [\cos \varphi \cdot \cos \alpha_1 - (1 + \sin \varphi) \cdot \sin \alpha_1]; \quad (2.26)$$

$$\sigma_2 = \tau_0 \cdot [\cos \varphi - (1 + \sin \varphi) \cdot \operatorname{tg} \alpha_2]; \quad (2.27)$$

$$\tau_2 = R_2 + \tau_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \cdot [\cos \varphi + (1 + \sin \varphi) \cdot \operatorname{tg} \alpha_2]; \quad (2.28)$$

$$\sigma_3 = \tau_0 \cdot [\cos \varphi - (1 + \sin \varphi) \cdot \operatorname{tg} \alpha_3]; \quad (2.29)$$

$$\tau_3 = R_3 + \tau_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi_3 \cdot [\cos \varphi + (1 + \sin \varphi) \cdot \operatorname{tg} \alpha_3]; \quad (2.30)$$

$$\sigma_4 = \tau_0 \cdot [\cos \varphi - (1 + \sin \varphi) \cdot \operatorname{tg} \alpha_4]; \quad (2.31)$$

$$\tau_4 = R_4 + \tau_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi_4 \cdot [\cos \varphi + (1 + \sin \varphi) \cdot \operatorname{tg} \alpha_4]. \quad (2.32)$$

Умову рівноваги розглянутого елементарного об'єму відносно умовної осі, наприклад, x , можна описати рівнянням:

$$\begin{aligned}
 &g \cdot \rho \cdot F \cdot \Delta h - \tau_1 \cdot K \cdot \Delta b_1 \cdot \cos \alpha_1 + \sigma_1 \cdot K \cdot \Delta b_1 \cdot \sin \alpha_1 - \\
 &\quad - \tau_2 \cdot L \cdot \Delta b_2 \cdot \cos \alpha_2 - \sigma_2 \cdot L \cdot \Delta b_2 \cdot \sin \alpha_2 - \\
 &\quad - \tau_3 \cdot K \cdot \Delta b_3 \cdot \cos \alpha_3 - \sigma_3 \cdot K \cdot \Delta b_3 \cdot \sin \alpha_3 - \\
 &\quad - \tau_4 \cdot L \cdot \Delta b_4 \cdot \cos \alpha_4 - \sigma_4 \cdot L \cdot \Delta b_4 \cdot \sin \alpha_4 = 0.
 \end{aligned}
 \tag{2.33}$$

Зі схеми (рисунок 2.5) видно, що площа прямокутного вихідного отвору накопичувального бункера становитиме:

$$F = K \cdot L. \tag{2.34}$$

Також згідно зі схемами (рисунки 2.6 та 2.7) можемо записати наступне:

$$\Delta b_i = \frac{\Delta h}{\cos \alpha_i}, \tag{2.35}$$

де i – порядковий номер стінки бункера від 1 до 4.

У такому випадку для знаходження параметру K , як сторони прямокутного вихідного отвору накопичувального бункера, отримаємо вираз:

$$K = \frac{\tau_1 - \sigma_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 + \tau_2 - \sigma_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 + \tau_3 + \sigma_3 \cdot \operatorname{tg} \alpha_3 + \tau_4 - \sigma_4 \cdot \operatorname{tg} \alpha_4}{g \cdot \rho}. \tag{2.36}$$

Підставимо у отриманий вираз значення напружень, котрі описані у формулах з (2.25) по (2.32). Тоді зможемо записати залежність для визначення бажаного раціонального розміру випускного отвору накопичувального бункера

прямокутної форми, при якому не буде існувати можливість утворення нерухомого зведення куполу суміші. Вона матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 K = & \frac{R_1 + (R_2 + R_4) \cdot b + R_4}{g \cdot \rho} + \frac{\tau_0}{g \cdot \rho} \cdot [\cos \varphi \cdot \cos \alpha_1 - (1 + \sin \varphi) \cdot \sin \alpha_1] \cdot \\
 & \cdot (\cos \alpha_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 - \sin \alpha_1) + \frac{\tau_0}{g \cdot \rho} \cdot [\cos \varphi + (1 + \sin \varphi) \cdot \operatorname{tg} \alpha_2] \cdot \\
 & \cdot (\operatorname{tg} \alpha_2 + \operatorname{tg} \varphi_2) + \frac{\tau_0}{g \cdot \rho} \cdot [\cos \varphi + (1 + \sin \varphi) \cdot \operatorname{tg} \alpha_3] \cdot (\operatorname{tg} \alpha_3 + \operatorname{tg} \varphi_3) + \\
 & + \frac{\tau_0}{g \cdot \rho} \cdot [\cos \varphi + (1 + \sin \varphi) \cdot \operatorname{tg} \alpha_4] \cdot (\operatorname{tg} \alpha_4 + \operatorname{tg} \varphi_4).
 \end{aligned}
 \tag{2.37}$$

Якщо вихідний отвір накопичувального бункера матиме квадратну форму і його сторони K та L будуть рівні, то для стінок із однакою шорсткістю будуть виконуватися умови $\alpha_1 = \alpha_3$, а також $\alpha_2 = \alpha_4$. Якщо ж стінки взагалі будуть паралельні, то виконуватимуться умови, коли $\alpha_2 = \alpha_4 = 0$ та $\alpha_1 = \alpha_3 = \alpha$.

Відповідно до змін меж значень кута α від 15 до 40 градусів, шорсткість стінок накопичувального бункера не буде мати визначального впливу на розмір раціональної величини вихідного отвору. У такому випадку показником шорсткості можна буде знехтувати. Похибка результатів розрахунку при цьому не буде перевищувати декілька відсотків. Крім того, вона буде ще більше зменшуватися зі зростанням швидкості руху стрічки конвеєра живильника. Тоді буде справедливою залежність:

$$K = \frac{2R \cdot (1 + \tau)}{g \cdot \rho}.
 \tag{2.38}$$

За найбільш сприятливих умов зберігання якісно підготовленого сухого матеріалу для боротьби з ожеледицею, коли початковий опір зсуванню буде

відповідати рівності $\tau_0 = R$, будемо мати ситуацію, для якої буде справедливою залежність:

$$K = \frac{4R}{g \cdot \rho}. \quad (2.39)$$

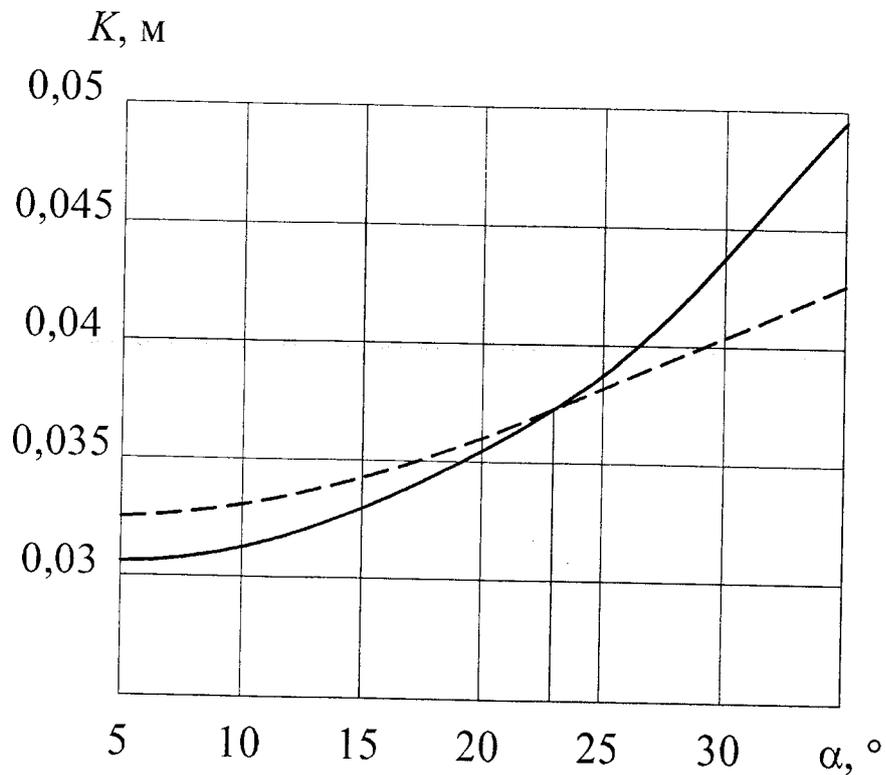
Із отриманих формул (2.38) і (2.39) випливає, що різниця між раціональним розміром квадратного і прямокутного вихідного отвору накопичувального бункера найбільше залежить від кута нахилу його стінок.

Також можна зробити висновок, що за однакових фізико-механічних властивостей піщано-соляної суміші матеріалу для боротьби з ожеледицею для гарантування його стабільного спадаючого руху доцільніше використовувати квадратний вихідний отвір.

Крім того, було проведено розрахунки та виконано порівняння (рисунок 2.8) максимальних значень розмірів квадратних вихідних отворів накопичувальних бункерів при використанні сухих сумішей за умовами утворення нерухомого зведення куполу матеріалу. За отриманими результатами можна відмітити, що за однакових фізико-механічних властивостей піщано-соляної суміші матеріалу для боротьби з ожеледицею при збільшенні кута нахилу стінок розмір сторони вихідного отвору збільшується, але при досягненні значення кута 23° він гарантовано стає більшим за максимальний розмір, при якому можливе утворення нерухомого зведення куполу матеріалу.

Отже, раціональним рішенням для комунальних комбінованих дорожніх машин, що використовують у своїй роботі піщано-соляну суміш у якості матеріалу для боротьби з ожеледицею є конструкція накопичувальних бункерів із квадратним вихідним отвором і кутом нахилу стінок понад 23° . Але слід враховувати, що обмеження зумовлені утворенням нерухомого зведення куполу суміші будуть залежати не тільки від фізико-механічних властивостей матеріалу для боротьби з ожеледицею, а й від типу живильника та його продуктивності.

					ГММ.601-МММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
Лист	№ докум.	Підп.	Дата			41



1 – розмір сторони квадратного вихідного отвору, при якому можливе утворення нерухомого зведення куполу матеріалу; 2 – раціональне конструктивне значення розміру сторони квадратного вихідного отвору

Рисунок 2.8 – Графік залежності розміру K сторони квадратного вихідного отвору від кута нахилу стінок накопичувального бункера

Тому питання раціонального підбору параметрів живильника є важливим, для якісної роботи всієї системи.

2.4 Параметри роботи живильників безперервної дії

Універсальні розкидачі переважно використовують дозатори безперервної дії з кількома типами живильників, серед яких найбільш поширені живильники зі скребковим або стрічковим конвеєром.

М.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ

Лист

42

Основною характеристикою живильників сипких матеріалів (твердих матеріалів для боротьби з ожеледицею) є їх продуктивність P . Для її оцінки можна побічно знаходити значення величини середньоквадратичного відхилення від встановленого технічної характеристикою значення. Закінчення піщано-соляної суміші з накопичувального бункера характеризуватиме дисперсія $D = \sigma^2$ [16].

З урахуванням визначених раніше параметрів, найкращими властивостями будуть володіти живильники з найменшою дисперсією, тобто з максимальною плавністю подачі матеріалу.

Різні конструкції дозаторів мають різні переваги та недоліки. Але слід зазначити, що керована величина живильника (вихідний параметр) – це його продуктивність. Вхідних параметрів кілька, але один з них вибирається як головний, або як керуючий.

Наприклад, для стрічкового живильника – це лінійна швидкість руху конвеєра, а для барабанного чи шнекового – це кількість обертів за хвилину. Для складніших систем керування іноді використовують безліч параметрів впливу. Наприклад, для бункера, що обладнаний віброживильником, керуючими параметрів будуть наступні: значення сили струму на обмотці вібратора, значення висоти відкриття самої засувки і нахил лотка до горизонту.

Всі зовнішні впливи негативно діють на зміну продуктивності живильника, порушуючи сталість подачі матеріалу. Ці впливи за своєю природою (наприклад, частота мережі живлення, миттєві характеристики розвантаженого матеріалу) некеровані і є випадковими. А оскільки вони так само впливають на вихідну величину, то необхідно і її розглядати як випадковий процес. Тому порівняльна оцінка якісних характеристик живильників виводиться з урахуванням статистичних параметрів, таких як середньоквадратична похибка зміни продуктивності живильників.

Важливо, що на відхилення продуктивності у вигляді середньоквадратичної похибки висота шару матеріалу h на стрічці живильника впливає більшою мірою, ніж швидкість самої стрічки. Так, для піску з висотою шару близько 20 см

					ГММ.601-МММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		43

відхилення продуктивності при максимальній швидкості стрічки може становити до десятка кілограм. При зменшенні швидкості у декілька разів, похибка зменшиться, приблизно, вдвічі. Якщо змінити тільки висоту шару в 4 рази до 5 см, а швидкість буде постійною, значення похибки зменшиться, приблизно, у 4 рази.

Це свідчить, що керування стрічковим живильником найбільш ефективно при регулюванні положення шиберної планки. Однак для збереження заданої продуктивності при зменшенні висоти шару матеріалу необхідно збільшувати лінійну швидкість стрічки.

Шнекові та барабанні живильники при роботі з сипучими матеріалами мають більш прості входні змінні. Для керування продуктивністю достатньо змінювати швидкість обертання гвинта шнека або ротора.

При рівних значеннях початкових параметрів барабанні і шнекові живильники мають меншу продуктивність, у порівнянні із стрічковими живильниками. До того ж стрічкові живильники дозволяють керувати безпосередньо вихідним отвором накопичувального бункера, що робить їх більш універсальними для вирішення різнопланових завдань. Продуктивність стрічкових живильників, а саме зсипання та розподіл матеріалу на стрічці вагового транспортера є головною характеристикою для їх оцінки, оскільки похибка вимірювань залежить від цих параметрів.

Тому можна зробити висновок, що для налаштування автоматизації процесу подачі матеріалів для боротьби з ожеледицею необхідно використовувати саме вагові транспортери як складову системи керування. Вони матимуть більші можливості та варіативність у використанні за різних потреб у режимах обробки дорожнього покриття.

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
1	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		14

3 Принципи дозування сипучих сумішей та обґрунтування на їх основі параметрів роботи дорожніх машин

3.1 Основні вимоги до дозування сипучих сумішей

Матеріали для боротьби із ожеледицею у переважній більшості випадків складаються з декількох компонентів, ефективність яких визначається метрологічними параметрами навколишнього середовища. Такі матеріали мають активні компоненти, що володіють здатністю плавити льодові утворення, та пасивні компоненти, що підвищують коефіцієнт зчеплення шляхом збільшення шорсткості на поверхні вкритій льодом. Оскільки ефективність активного компонента пов'язана з пасивним, необхідно використовувати принцип узгодженого дозування, коли точність дозування пасивного компонента визначається наявним активним компонентом. Розглянемо випадок для двокомпонентних сумішей, але основи дозування дозволять застосовувати більш складні суміші з більшою кількістю компонентів.

Технологічний процес приготування матеріалу для боротьби з ожеледицею визначається умовами їх отримання із заданими фізико-механічними властивостями. Для забезпечення якісної роботи матеріалу для боротьби з ожеледицею ставляться жорсткі вимоги до його складових компонентів, і взаємозв'язок яких у математичному вигляді, як правило, не завжди відомий. У кожен момент часу можна оптимізувати лише один із показників при обмеженнях на діапазон допустимих відхилень інших. Тоді завдання з формування раціонального складу суміші в загальному вигляді можна звести до виразу:

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Принципи дозування сипучих сумішей та обґрунтування на їх основі параметрів роботи дорожніх машин	Літ.	Лист	Листів
Розроб.		Пивоваров	<i>[Signature]</i>	29.12			45	11
Перев.		Рогозін	<i>[Signature]</i>	20.12				
Н. конт.		Васильєв	<i>[Signature]</i>	16.01				
Затв.		Орисенко	<i>[Signature]</i>	19.01				
						Національний університет імені Юрія Кондратюка ННІ ІТР, 2023		

$$B_{\min} \leq B(t) \leq B_{\max}, \quad (3.1)$$

де B_{\min} – мінімально можлива ефективна питома вартість приготування суміші, грн;

B_{\max} – максимально можлива ефективна питома вартість приготування суміші, грн;

$B(t)$ – питома вартість приготування суміші у конкретному виробничому випадку, грн.

Залежність (3.1) має обмеження з двох сторін економічних показників у грошовому виразі стосовно ймовірнісної можливої вартості виготовлення суміші для боротьби із ожеледицею з урахування ефективності її дії на дорожньому покритті. Тобто параметр $B(t)$ є комплексним, складним і багатоаргументним у визначенні, але може бути спрощений для розгляду типових випадків.

Головною виробничою потребою є керування процесом приготування суміші без урахування впливу її перемішування в системі регулювання. Тому сформулювати показник $B(t)$ в термінах параметрів суміші, що піддаються контролю у процесі дозування компонентів. Це окрема складова, що може бути виражена через t , і тому модель (3.1) можна подати через множину параметрів суміші тільки у вигляді окремої моделі для підбору раціонального складу суміші.

Якщо є можливість побудувати модель (3.1), то питання про вибір того чи іншого набору характеристик та їх кількості може бути вирішено за допомогою цієї моделі. Але за такого підходу виникає низка ускладнень. Тому при виборі характеристик суміші та критеріїв керування процесом приготування суміші накладаються обмеження щодо використання невеликої кількості технологічних властивостей.

Показником, котрий даватиме ознаку складу матеріалу для боротьби з ожеледицею як раціонального, може бути одна або кілька найбільш легких до визначення характеристик. Так однією із основних характеристик, що досить повно відображає властивості матеріалу для обробки доріг, є здатність плавити

					ГММ.601-МММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		46

льодові утворення, тобто усувати сніго-крижану кірку на дорожньому полотні та підвищувати коефіцієнт зчеплення, зберігаючи при цьому свої фізико-механічні властивості. У виробничих умовах для оцінки властивостей матеріалу для боротьби з ожеледицею найчастіше контролюють концентрацію активної компоненти.

Суміш є складною багатокомпонентною системою. І вона завжди буде мати таке співвідношення між компонентами, у тому числі між піском і сіллю, при якому ефективність її використання буде найбільшою, а вартість найменшою. Ефективність матеріалу для боротьби з ожеледицею значною мірою залежить від співвідношення між піском та сіллю, що має відповідність до певних метеорологічних умов. Тому головним чином саме складом суміші у необхідний момент часу буде визначатися як ефективність обробки дорожнього полотна, так і якість роботи дорожньої машини в цілому.

3.2 Рекомендації щодо формування складу сумішей для боротьби з ожеледицею

За підсумками аналізу інформації про властивості компонентів формується судження про якість суміші матеріалів для боротьби з ожеледицею. На практиці використовується модель зміни параметрів якості Y у вигляді:

$$Y_i^{\min} \leq Y_i \leq Y_i^{\max}, \quad (3.2)$$

де Y^{\min} – мінімальний допустимий рівень якості (переважно із низькою собівартістю);

Y^{\max} – максимальний допустимий рівень якості (переважно із високою собівартістю);

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		47

$Я^r$ – раціональний рівень якості.

Загалом окремо показник якості для конкретного випадку можна розглядати як:

$$Я_i^r = \sum_{j=1}^n k_{ij} \cdot c_j^r, \quad (3.3)$$

де n – кількість компонентів суміші;

k_{ij} – коефіцієнти вагомості компонента суміші у кількості i показників для j -го компонента суміші;

c_j^r – рівень концентрації j -го компонента суміші.

Такі показники на впливатимуть на протікання виробничого процесу готових матеріалів для боротьби з ожеледицею, чи їх втрати.

Підбір складу суміші головним чином полягає у тому, щоб була виконана умова (3.2), та забезпечувався критерій раціональності $P(c^r)$. Тоді розрахунок складу суміші буде здійснюватися на основі виразу:

$$\frac{P(c^r)}{Я^r(c^r)} \in R. \quad (3.4)$$

Тобто підтримання відсоткових співвідношень компонентів суміші c_j^r при виконанні виробничого процесу обробки дорожнього покриття повинно відповідати значенню параметру якості $Я_i^r$ з похибкою, що визначається раціональним діапазоном R за методом вимірювання та можливими недоліками відхилення у дозуванні.

За дії на систему випадкових впливів вихідні параметри і значення критеріїв ефективності системи керування носять ймовірнісний характер. Тому під терміном раціональна в статистичному сенсі слід розуміти систему, що змінюється і

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		48

забезпечує найкраще наближення вихідних параметрів до перетворених вхідних впливів, схильних до створення випадкових перешкод. У цьому плані система стає раціональною у випадку, коли задовільний критерій, яким зазвичай вибирають будь-яку статистичну характеристику вихідного параметра, досягає екстремуму.

Існують різні статистичні критерії ознак раціональності, такі як: математичне очікування та дисперсія, ймовірність входження параметрів виходу системи до певної області.

Якість сумішей оцінюється в загальному випадку кількістю m параметрів Y_i^r , які можуть бути зведені в множину, тому вибір у вигляді статистичного аналога критерію раціональності математичного очікування чи дисперсії не є можливий. Характеристикою раціональності повинна бути ймовірність входження множини значень якості суміші Y_i^r до заданої технологічними обмеженнями області R .

3.3 Огляд дорожніх умов, за яких виникає ожеледиця

До обов'язків дорожніх експлуатаційних служб входить підтримка безперебійного руху транспортного потоку та забезпечення безпеки дорожнього руху у будь-яку пору року та доби. Взимку погодні умови суттєво ускладнюють роботу дорожніх організацій, оскільки цій порі року властиві такі метеорологічні явища як ожеледиця або випадання великої кількості опадів у вигляді снігу.

Різні види сніго-крижаних утворень становлять найбільшу загрозу для учасників дорожнього руху, оскільки дані утворення знижують коефіцієнт зчеплення колеса автомобіля з дорожнім покриттям. Як наслідок погіршується керованість транспортного засобу, що може спровокувати дорожньо-транспортну пригоду. Існує багато способів боротьби зі сніго-крижаними утвореннями, але найефективнішим є профілактична обробка дорожнього полотна і запобігання їх

					ГММ.601-МММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		49

виникнення. Це можливо здійснювати тільки за допомогою якісного прогнозування погодніх умов та слизькості.

У першому розділі було розглянуто ситуацію стосовно наявності дуже великої кількості видів сніго-крижаних відкладень. І це суттєво ускладнює процес прогнозування, оскільки метеорологічний прогноз це трудомісткий процес через велику кількість змінних у вигляді погодніх явищ, що мають невизначений характер.

Загальні умови утворення льоду на дорожньому полотні досить добре відомі. Але ця інформація може використовуватися до деяких загальних ситуацій і не враховує багато факторів, що мають вплив на реальних дорогах. Це можуть бути особливості рельєфу місцевості, наявність рослинності, напрямки вітру та багато іншого.

Закономірності повторюваності утворення льоду на дорожньому покритті залежать від кліматичних та географічних умов. Тому найбільша ймовірність повторюваності ожеледиці та інших видів сніго-крижаних утворень спостерігається в районах, схильних до сильних змін погоди, від сильного морозу до відлиги, що є характерним для території України. І навпаки, найменша в тих місцях, де взимку переважає регулярно холодна погода.

Ступінь небезпеки слизькості дорожнього покриття характеризується товщиною крижаного покриву, що утворюється під час несприятливих умов при наростанні льоду.

Утворення ожеледиці залежить не лише від метеорологічних умов, а й стану дорожнього полотна, де проходить формування кірки. За від'ємної температури дорожнього полотна температура повітря може бути додатною, але дуже близькою до нульового значення. Тоді на поверхні дороги відбувається досить інтенсивне утворення льоду, що може бути ускладнене при випаданні опадів у вигляді дощу або мряки.

Прогнозування утворення льоду на дорогах ускладнюють багато чинників. Тому методи прогнозування розвиваються з урахуванням статистичних методів.

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
						50
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Часові терміни актуальності таких методів у більшості випадків невеликі й становлять декілька годин. Хоча цього зазасту достатньо для профілактичної обробки шляхів.

Існує графічний метод прогнозування виникнення ожеледиці для кліматичних умов України [27], його тривалість становить від 12 годин до 2 діб.

Тому, якщо очікується рух теплих повітряних мас із високою вологістю, та є високою ймовірність таких метеорологічних явищ, як дощ, сніг, туман, а до цього ж температура дорожнього покриття трохи нижче за нуль, то робиться прогноз ожеледиці.

Головною прогностичною ознакою припинення ожеледиці є зростання температури поверхні дорожнього покриття суттєво вище за нуль. Така оцінка була характерною для часу використання візуальних спостережень і була узагальнена для широкого кола регіонів, оскільки враховувала макроклімат.

Інший вид прогнозу є аналіз графіків температури повітря і точки роси з плином часу.

Відповідно до цього методу, якщо температура дорожнього покриття нижче нуля і значення температур зближуються, то робиться висновок, що за перетину ліній графіків точки роси і температури покриття із дуже високою ймовірністю відбудеться утворення ожеледиці.

Проведення та аналіз дорожніх вимірів температури та розробки на їх основі прогновної моделі має переваги у порівнянні із аналізом багаторічного метеорологічного спостереження, оскільки тоді дещо некоректно відображається ситуація. Це пов'язано з тим, що згідно з даними Всесвітньої гідрометеорологічної служби близько 35 років тому у світі розпочався процес глобального потепління. А це означає, що йде підвищення середнього значення температури повітря, яке може сягати і декілька градусів на тривалих періодах спостережень.

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		51

3.4 Обґрунтування параметрів роботи дозувального обладнання на дорожніх машинах

Головною задачею дозувального обладнання на дорожніх машинах є регулювання співвідношення компонентів суміші матеріалів для боротьби з ожеледицею на основі зовнішніх метрологічних даних. Цей процес може бути реалізований у вигляді використання двох камер для накопичувального бункера, а за потреби у обробці складнішими багатоконпонентними сумішами, і більшої кількості окремих камер відділень, універсального розкидача сипкого матеріалу, схема якого зображена на рисунку 3.1. Ця концепція може бути втілена у будь-якому конструктивному виконанні, оскільки від виду живильника типу конвеєрної стрічки залежатимуть лише коефіцієнти у розрахункових формулах. І, маючи розрахункову модель, є можливість налагодити автоматизацію процесу дозування й керування складом суміші, яка буде одразу готуватися безпосередньо на дорожній машині. Оскільки найбільш поширеною при обробці шляхів в Україні для боротьби з ожеледицею є піщано-сольова суміш, то наступні обґрунтування параметрів виконуються для двох окремих компонентів цієї суміші, а саме: піску та солі.

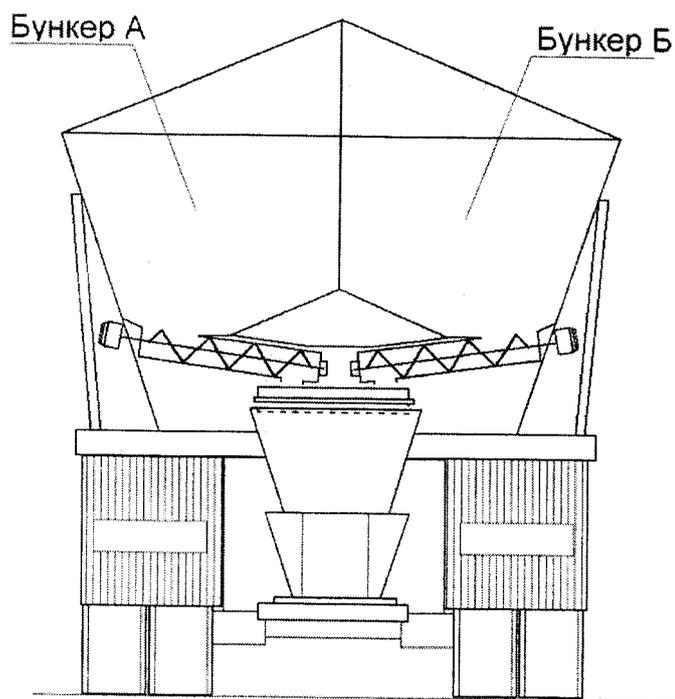
Застосування спеціальних програмованих обчислювальних систем зі стандартизованою комплектацією є основою сучасних принципів і методів автоматизації для складних технологічних процесів.

Звичайно, що автоматизована система керування комбінованою дорожньою машиною має суттєві переваги, щодо більш якісного, тобто актуального і точного, приготування складу суміші матеріалу для боротьби із ожеледицею. Що дозволить в тому числі підвищити ефективність використання дорожньої техніки. Тому розглянемо роботу системи керування універсальним розкидувачем здійснюється на основі мехатронної системи. Вона повинна отримувати дані від автоматизованої системи метеорологічних датчиків у регіоні

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		52

роботи дорожньої машини. Наступним етапом є розрахунок за отриманими вхідними показниками значення точки роси. Це дозволяє зробити висновок про інтенсивність процесу утворення ожеледиці. На основі якого підбирається відсотковий склад необхідної суміші матеріалів для боротьби з ожеледицею. Ця система може працювати безперервно під час експлуатації комбінованої дорожньої машини, і, навіть, не потребує керуючих дій від оператора.

За таких умов універсальний розкидач повинен контролювати параметри розподілу суміші для боротьби з ожеледицею (у плані ширини полоси розкидання), а також дозатори регулюють та у своїй сумі узгоджують відсотковий вміст компонентів суміші таким чином, щоб вона якомога краще та ефективніше виконувала своє завдання на дорожньому покритті (у плані кількості матеріалу).



А – відділення бункера для першого (активного) компонента суміші солі;
Б – відділення бункера для другого (пасивного) компонента суміші піску

Рисунок 2.8 – Конструкція комбінованої дорожньої машини із роздільним накопичувальним бункером

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		53

Програма роботи комбінованої дорожньої машини з універсальним розкидачем матеріалу для боротьби з ожеледицею та системою автоматизації керування буде мати два основні етапи.

На першому етапі здійснюватиметься підготовка виходу машини на лінію. Спочатку до системи вводяться погодні дані з найближчої станції гідрометеослужби на прогнозовану тривалість робочої зміни. Далі у бункери окремо завантажуються компоненти суміші для боротьби з ожеледицею. Сіль у відділення накопичувального бункера А, пісок – у відділення Б (рисунок 3.1). До обчислювальної системи вводяться необхідні фізико-механічні властивості доданих компонентів, такі як вологість, характеристики кута внутрішнього тертя та інші. Це необхідно для перевірки можливості стабільного потоку матеріалів через дозатор, розрахункова модель якого була досліджена у попередньому другому розділі. На основі параметрів компонентів та передбачуваних погодних умов відбувається автоматичне формування необхідної рецептури насипного матеріалу для боротьби з ожеледицею відповідно до вимог державних стандартів. Дозатори тепер мають змогу працювати за розрахованими програмою продуктивностями і оператор комбінованої дорожньої машини з універсальним розкидачем після того, як виїжджає на лінію доріг, що потребують обслуговування, запускає вже налагоджений технологічний процес нанесення матеріалів.

Система керування для кращої роботи може мати датчики GPS, які у комбінації із завантаженими картами доріг регіону експлуатації проводять визначення поточного положення комбінованої дорожньої машини на дорозі та напрямок її руху.

У такому випадку система керування комбінованою дорожньою машиною визначає розташування найближчої станції гідрометеослужби, або найближчої автоматизованої дорожньої метеостанції, якщо такі є в наявності, і отримує від них актуальну поточну інформацію щодо погодних умов. За відсутності зв'язку

					ГММ.601-МММ.012-00.00.000ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

із метеостанціями, система керування використовує метеодані введені безпосередньо перед виїздом машини на лінію.

Постійне оновлення інформації про погодні умови під час руху і роботи комбінованої дорожньої машини дозволяє у режимі реального часу розраховувати значення точки роси та на основі цього значення здійснювати найбільш раціональний вибір співвідношення компонентів суміші для боротьби з ожеледицею. Одночасно при зміні рецептури суміші одразу надсилаються керуючі впливи на дозатори універсального розкидача і відбувається зміна складу суміші, котра наноситься на дорожнє покриття, і при цьому вона найбільш повно відповідає потребам ситуації з ожеледицею, що склалася.

Отримання нової інформації про погодні умови періодично повторюється і у разі виявлення необхідності внесення змін у технологічний процес обслуговування шляхів, такі дії виконуються. Тобто програма керування працює циклічно. Її робота припиняється або ж у випадку відповідних дій оператора машини, або при закінченні у накопичувальному бункері одного із компонентів суміші.

Слід зазначити, що система автоматизованого керування комбінованою дорожньою машиною із універсальним розкидачем матеріалу для боротьби з ожеледицею повинна мати розрахункову плату із можливістю реалізації принципу систем реального часу. Оскільки вибір рецептури суміші та її приготування системою дозаторів відбувається у досить короткі періоди часу співставні з долями секунди.

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		55

Висновки

Велика кількість конструкцій розкидачів комбінованих дорожніх машин не у повній мірі покриває потреби у технологічних можливостях, які виникають при зимовому обслуговуванні доріг. У першу чергу це регулювання складу насипного матеріалу для боротьби з ожеледицею безпосередньо в процесі експлуатації машини на лінії. Ця проблема вирішується за рахунок використання інтелектуальних систем автоматизації дозування та транспортування матеріалів.

Для роботи автоматизованих систем дозування важливою є безперервність подачі матеріалу. Для цього розроблено математичну модель, яка визначає необхідні геометричні параметри кута нахилу стінок накопичувального бункера та розміру його випускного отвору, за яких не буде утворюватися купол зведення насипного матеріалу і, відповідно, перешкоджання руху подачі.

Визначено, що раціональними рішенням для випадку піщано-соляної суміші є кут нахилу стінок накопичувального бункера понад 23° , а його випускний отвір повинен мати квадратну форму із стороною, величина якої залежить від фізико-механічних властивостей компонентів (піску та солі).

Встановлено, що для налаштування автоматизації процесу подачі матеріалів для боротьби з ожеледицею необхідно використовувати саме вагові транспортери, як складову системи керування. Вони матимуть найширші можливості та варіативність у використанні.

Ефективність матеріалу для боротьби з ожеледицею значною мірою залежить від співвідношення між піском та сіллю, що має відповідати метеорологічним умовам, які виникли. З метою приведення процесу підбору відсоткового складу суміші матеріалу для боротьби з ожеледицею до

					ГММ.601-МММ.012-00.00.000ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Висновки	Літ.	Лист	Листів
Розроб.		Пивоваров		29.12			56	2
Перев.		Рогозін		29.12				
Н. конт.		Васильєв		15.01				
Ватв.		Орисенко		19.01				
						Національний університет імені Юрія Кондратюка ННІ ІТР, 2023		

рекомендованих раціональних значень, оснований на потребах дорожників та вимогах державних стандартів, а також використання корисних властивостей окремих компонентів суміші згідно з актуальними метеорологічними даними, виконано обґрунтування параметрів дозувального обладнання на дорожніх машинах.

Запропоновано конструкцію накопичувального бункера із окремими відділеннями для різних компонентів суміші. Завдяки складанню алгоритму роботи автоматизованої системи керування комбінованою дорожньою машиною із універсальним розкидачем реалізовано можливість регулювання складу насипного матеріалу у режимі реального часу згідно із поточною ситуацією на дорозі, яка аналізується за даними метеостанцій.

Автоматизована система керування дозволяє підвищити ефективність експлуатації дорожньої машини за рахунок її роботи з обґрунтованими раціональними параметрами, без перевикористання матеріалів та уникнення передчасних потреб повторної обробки ділянок шляху.

					ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
Вм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		57

Список літератури

- 1 Баладінський В. Л., Назаренко І. І., Онищенко О. Г. Будівельна техніка: підручник. Київ-Полтава: КНУБА-ПолтНТУ, 2002. 463 с.
- 2 Ловейкін В. С., Назаренко І. І., Онищенко О. Г. Теорія технічних систем: Навч. посібник. Київ-Полтава: ІЗМН-ПолтДТУ, 1998. 175 с.
- 3 Будівельна техніка: навч. посібник / В. Л. Баладінський, О. М. Лівінський, Л. А. Хмара та ін. Київ: Либідь, 2001. 368 с.
- 4 Лівінський О. М. Проблеми і стратегія розвитку будівельної галузі і будівельної науки. Галузеве машинобудування, будівництво: збірник наукових праць. Полтава: ПолтДТУ, 2000. Вип. 6. С. 24–31.
- 5 Технологія технічного обслуговування машин: навч. посібник / І.М.Бендера, С.М.Грушецький, П.І.Роздорожнюк, Я.М.Михайлович. – Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2010. – 320 с.
- 6 Онищенко О. Г., Помазан В. М. Будівельна техніка: навчальний посібник. Київ: Урожай, 1999. 304 с.
- 7 Ємельянов В.П. Дорожні машини, автомобілі та трактори / В.П. Ємельянов. – Харків: ХНАДУ, 2006. – 213 с.
- 8 Артёмов М. П., Калюжний О. Д., Романашенко О. А., Колодяжний І. О. Оцінка розмірних і якісних параметрів роботи горизонтального дискового дозатора. Інженерія природокористування. 2020. № 3 (17). С. 76-80.
- 9 Полянський С. К. Будівельнодорожні та вантажопіднімальні машини / Полянський С. К. – К. : Техніка, 2001. – 624 с.
- 10 Прикладна механіка робочих процесів машин: Монографія / Сівко В.Й., Кузьмінець М.П. – К.: НТУ, 2009. – 349 с.

ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПЗ								
№	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Список літератури	Літ.	Лист	Листів
розроб.		Пивоваров	<i>[Signature]</i>	29.12				
перев.		Рогозін	<i>[Signature]</i>	29.12			58	4
І. конт.		Васильєв	<i>[Signature]</i>	18.01		Національний університет імені Юрія Кондратюка ННІ ІТР, 2023		
атв.		Орисенко	<i>[Signature]</i>	19.01				

11 Надольний Ю. Г., Настоящий В. А., Власенко М. В. Механічне устаткування для видобування та переробки дорожньо-будівельних матеріалів. – Київ: НМК ВО, 1991. – 136 с.

12. Усов Б. І. Експлуатація автомобільних шляхів : навч. посіб. / Б. І. Усов, І. Г. Романський. — Л. : Львівська політехніка, 1998. — 95 с.

13 Григоров О. В. Гідравлічний привід підйомно-транспортних, будівельних та дорожніх машин : навч. посібник / О. В. Григоров ; Харківський політехнічний ін-т, нац. техн. ун-т. – Харків : НТУ "ХПІ", 2003. – 264 с.

14 Nathalie Perrier, Andre Langevin, James F. Campbell. A survey of models and algorithms for winter road maintenance. Part III: Vehicle routing and depot location for spreading. Computers & Operations Research 34 (2007) 211–257.

15 Transportation Research Board. Highway deicing. Comparing salt and calcium magnesium acetate. Special Report 235, National Research Council, Washington, DC, 1991.

16 Strong, C., and X. Shi. Benefit-Cost Analysis of Weather Information for Winter Maintenance: A Case Study. Transportation Research Record 2055, Transportation Research Board, Washington, DC, 2008, pp.119-127.

17 Артьомов М. П., Калюжний О. Д., Романашенко О. А., Колодяжний І. О. Оцінка розмірних і якісних параметрів роботи горизонтального дискового дозатора. Інженерія природокористування. 2020. № 3 (17). С. 76-80.

18 Liping Fu, Mathieu Trudel, Valeri Kim. Optimizing winter road maintenance operations under real-time information. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada N2L 3G1, European Journal of Operational Research 196 (2009) 332–341.

19 Ketcham SD, Minsk R, Blackburn R, Fleege E. Manual of practice for an effective antiicing program. Report No FHWARD-95-202, Federal Highway Administration, US, 1995.

20 Bark A., Levin C, Mattep V. Wirksamkeit des Strapenwinter-dienstes auf die verkohrssicherheit und die wirtschaftlichkeit des verkenrsablaufes auf

					ГММ.601-МММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		59

Bundesautobahnon // Forsch Strassenbau und Strassenverkehrstechn. -1996. - № 719. - S. 1-108.

21 Durth W. Kosten und Nutzen des Winterdienstes // Strasse und Autobahn. - 1995. - Vol. 46. - № 9. - S. 505-509.

22 Reinhold M. Kein Angst Schnee und Eis // Stahlmarkt. -1993. -Vol. 43. - № 12. - P. 37-40.

23 Norrman, J. Slipperiness on roads – an expert system classification / J. Norrman // Meteorological Application. 2000. Volume 7, Issue 1. P. 27-36.

24 Kobayashi, T. Consolidation, Melting and Refreezing Process of Snow on Road by Vehicles / T. Kobayashi, T. Sato, K. Kosugi, S. Mochizuki, A. Sato // 13 – th SIRWEC Conference, Proceedings. – Turin. 2006. 5 p.

25 Turunen, M. Measuring salt and freezing temperature on roads. / M. Turunen // Meteorological Application. 1997. Volume 4, Issue 1. P. 11-15.

26 Сердюк Л. І. Основи теорії різноманітностей, теорії подібності та математичного моделювання. Полтава: ПолтНТУ, 2002. 98 с.

27 Холодов А. М., Руднев В. К., Гарнець В. М. Технічні основи створення машин: підручник. Київ: УМК ВО, 1992. 288 с.

28 Захаркін О.У. Технологічні основи машинобудування: Навчально-методичний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2004.-98 с.

29 Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: Навчальний посібник. – Київ: Вища школа, 1993. – 414 с.

30 Павлище В. Г. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. – К.: Вища школа, 1993. – 556 с.

31 Онищенко О. Г., Рябов М. М. Охорона праці при експлуатації будівельної техніки: Довід. – К.: Урожай, 1992. – 208 с.

32 Вирожемський В.К., Бородіна Н.А., Трух М.Є. Екологічні наслідки зимового утримання автомобільних доріг /Автошляховик України. – 2006. – №2 – с. 35-38.

					ГММ.601-МММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
м.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		60

33 ДСТУ ISO 9000-2007. Системи управління якістю. основні положення та словник термінів / Нац. стандарт України. Вид. офіц. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2007. – 18 с.

34 ДСТУ 3587:2022 Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги. Вимоги до експлуатаційного стану / Нац. стандарт України. Вид. офіц. – Київ: Мінрегіон України, 2022. – 23 с.

35 ДСТУ 9185:2022 Настанова щодо зимового утримування автомобільних доріг / Нац. стандарт України. Вид. офіц. – Київ: Мінрегіон України, 2022. – 6 с.

36 ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови / Нац. стандарт України. Вид. офіц. – Київ : Мінрегіон України, 2012. – 59 с.

37 ДСТУ EN 12697-2021 (EN 12697-2019, IDT) Бітумомінеральні суміші / Нац. стандарт України. Вид. офіц. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021. – 32 с.

38 ДСТУ 4044:2019 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови / Нац. стандарт України. Вид. офіц. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 15 с.

39 Інформаційний бюлетень Мінрегіону України, грудень, 2022.

40 ДСТУ ГОСТ 2.001:2006 Єдина система конструкторської документації. Загальні положення (ГОСТ 2.001-93) / Нац. стандарт України. Вид. офіц. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2006. – 27 с.

					ГММ.601-МММ.012-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		61

**Обґрунтування параметрів дозування
сипучих сумішей на дорожніх машинах**

Презентаційні матеріали

ГММ.601-мММ.012-00.00.000ПМ

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

Студент групи 601-МММ

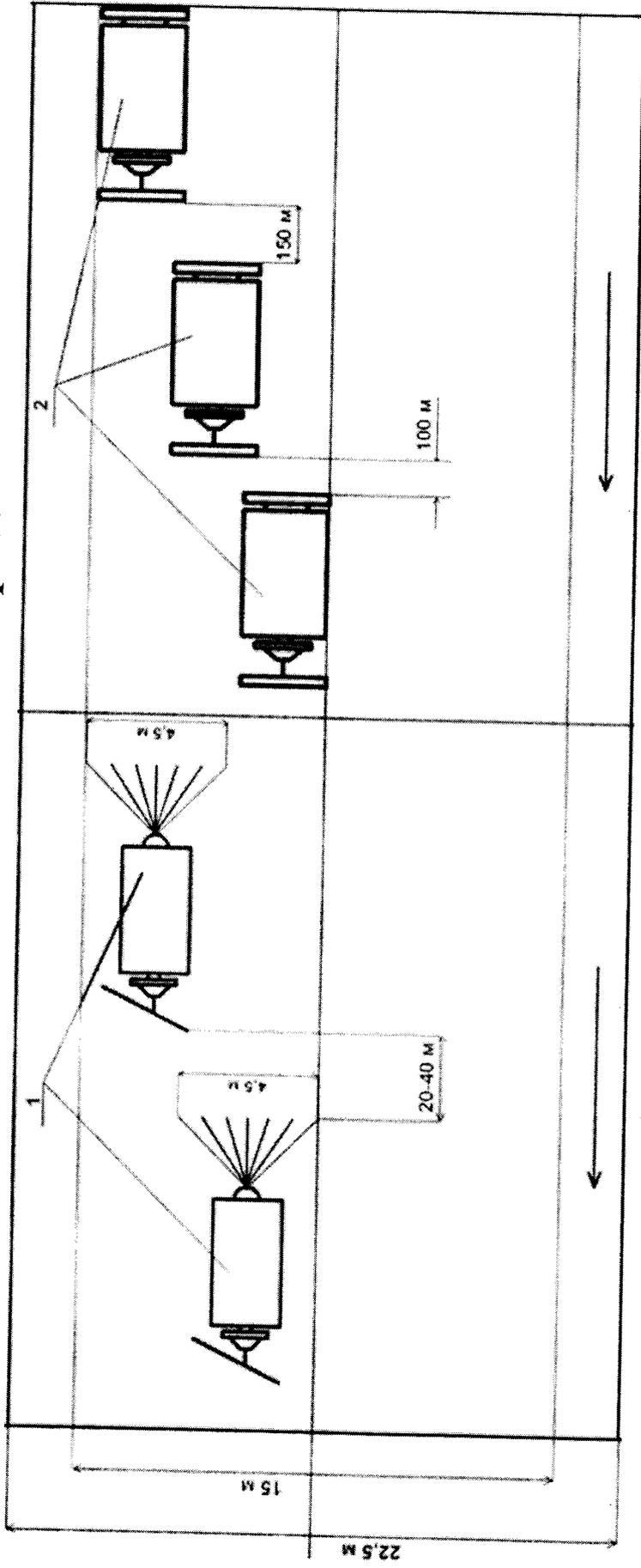
Пивоваров Владислав Володимирович

Магістерська робота
На тему:

**«Обґрунтування параметрів дозування
сипучих сумішей на дорожніх машинах»**

Керівник роботи: к. т. н., доцент Рогозін Іван Анатолійович

ШЛЯХІВ У ЗИМОВИЙ ПЕРІОД



Перший етап - прибирання снігу, що випав,
і розподіл твердих матеріалів для боротьби
з ожеледицею по дорожньому полотну

Другий - це очищення дорожнього
покриття від залишків
талого снігу та льоду

З точки зору швидкого розм'якшення і подальшого руйнування та танення сніго-крижаних відкладень найефективнішими є **хімічні матеріали** для боротьби з ожеледицею

Хімічні матеріали для боротьби з ожеледицею, що застосовуються для при зимовій слизькості, повинні мати такі властивості:

- знижувати температуру замерзання розчину, яким проводиться обробка дороги чи який використовується як компонент більш складної суміші;
- забезпечувати танення сніго-крижаних відкладень на дорожньому полотні;
- проникати крізь шари снігу та льоду, руйнуючи міжкристалічні зв'язки, та знижувати сили змерзання шарів відкладень із дорожнім покриттям;
- не збільшувати слизькість оброблених покриттів, особливо при використанні матеріалів для боротьби з ожеледицею у вигляді розчинів;

– мати технологічність та зручність у застосуванні при зберіганні, транспортуванні та нанесенні (розсипанні, розпиленні);

– відповідати вимогам екологічної безпеки та не чинити шкідливого впливу на природне середовище (рослини, вода, ґрунт та ін.), метал, шкіру обслуговуючого персоналу та гуму.

Усі **хімічні матеріали** для боротьби з ожеледицею можна розділити на чотири підгрупи:

- нітраги (солі азотної кислоти);
- ацетаги (солі оцтової кислоти);
- карбаміди (діамід вугільної кислоти);
- хлориди (солі хлороводню кислота).

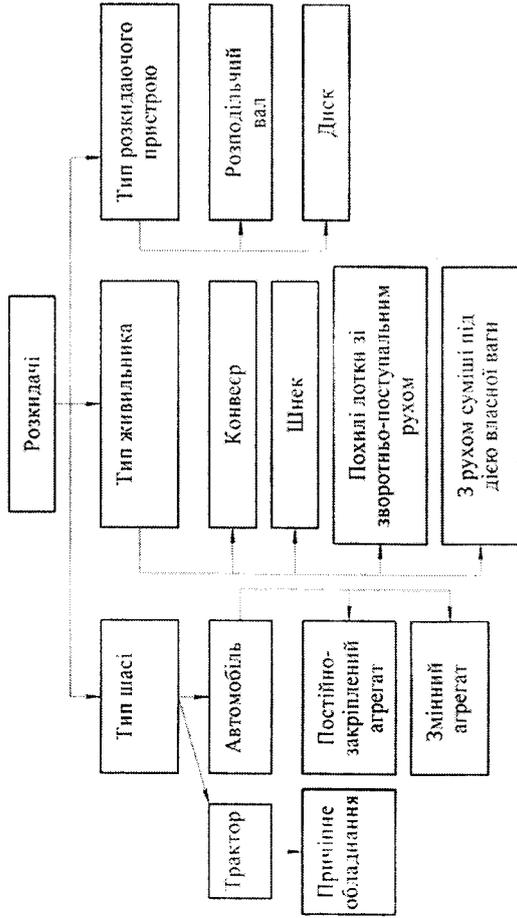
Базовими і найпростішими для боротьби з ожеледицею є **фрикційні матеріали**. Даний вид є дрібнодисперсним матеріалом або сумішшю у вигляді:

- піску;
- щебню;
- шлаку;
- піщано-гравійної суміші.

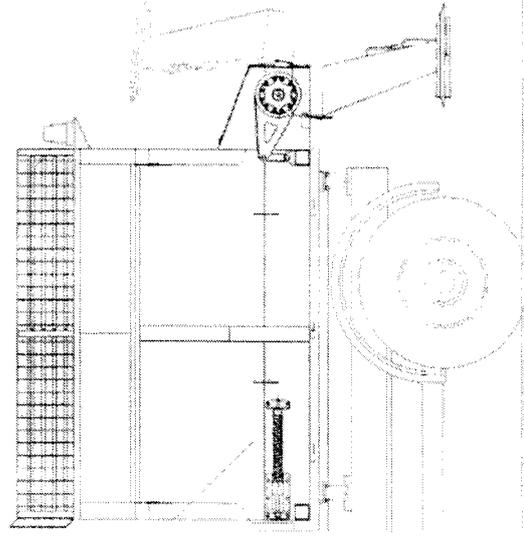
Нанесення та розподіл матеріалів для боротьби

з ожеледицею по поверхні дорожнього полотна та інших об'єктів господарства здійснює комунальна **комбінована дорожня машина**, оснащена спеціалізованим обладнанням, зокрема, **дозаторами**, універсальними розкидувачами матеріалів із вбудованими системами керування основними робочими органами. Оскільки реальна температура може відрізнятися від прогнозованої, то на момент розподілу матеріалів для боротьби з ожеледицею їх суміш може значною мірою втратити свою ефективність.

ЗИМОВИЙ ПЕРІОД



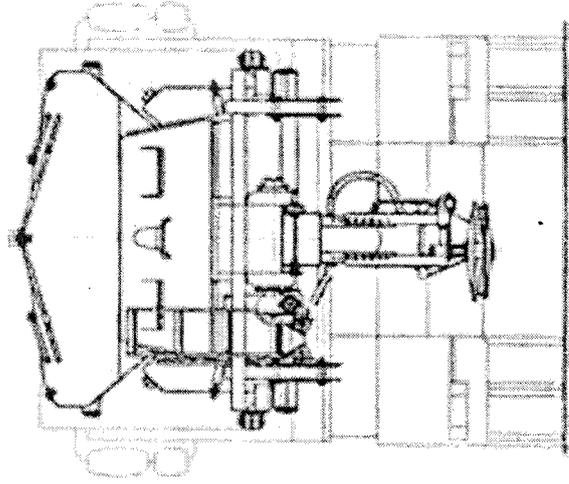
Класифікація розкидачів матеріалів для боротьби з ожеледицею



Дисковий розкидач постійно-закріпленого агрегату на базі автомобіля

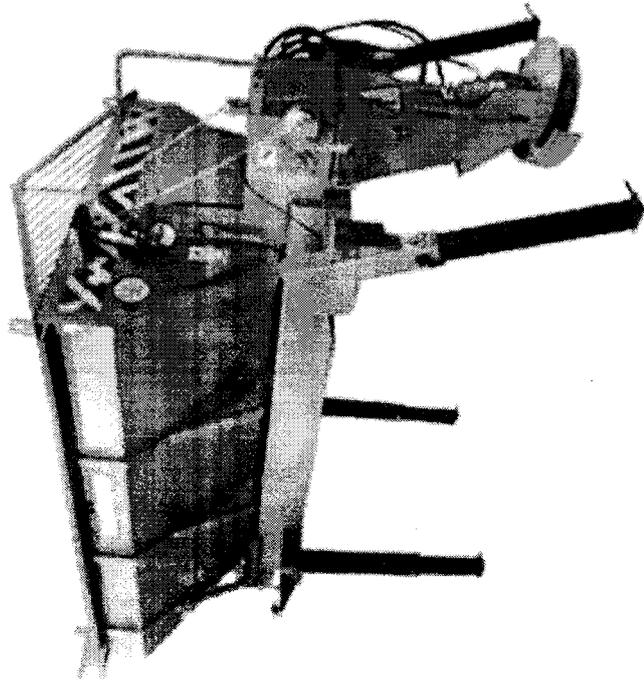


Розкидач у вигляді валу з розподілом матеріалу по його довжині на базі трактора

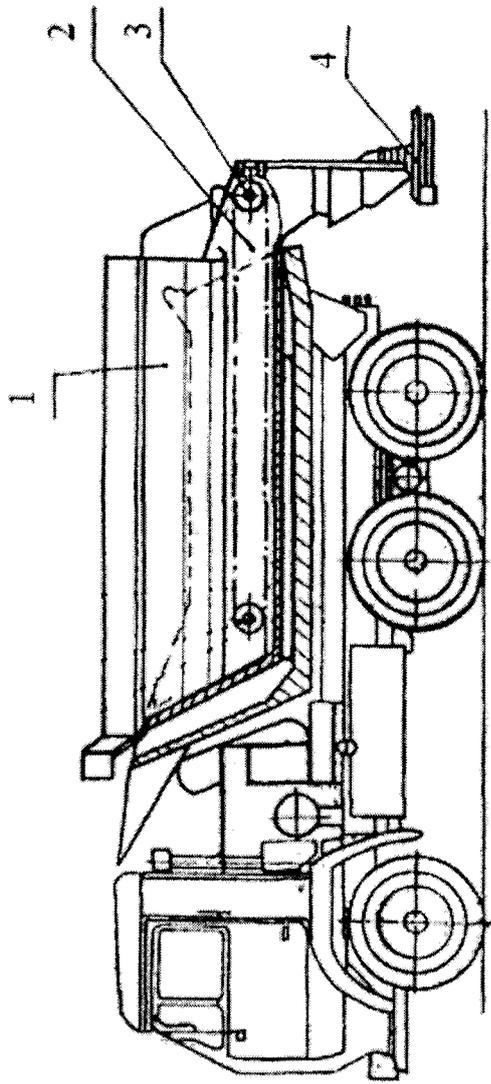


Змінний агрегат дискового розкидача, встановлений на базі автомобіля самоскида

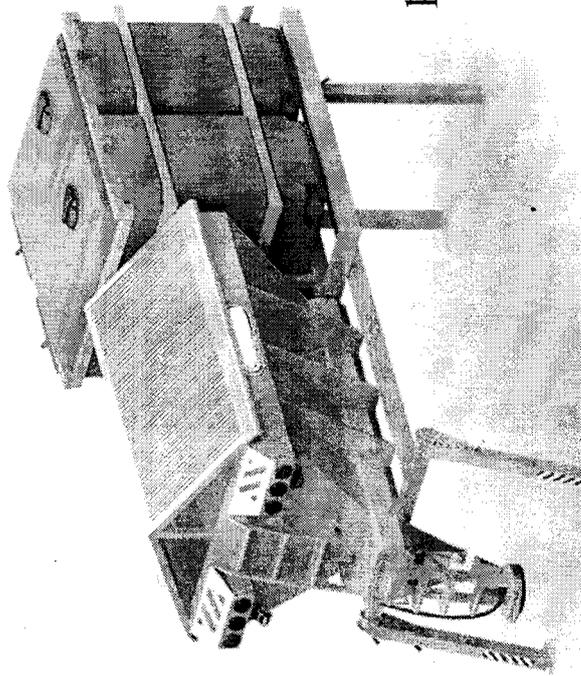
зимовий період



Окремий змінний агрегат
дискового розкидача,
призначений для встановлення
на різні види шасі



Будова змінного агрегата дискового розкидача:
1 – накопичувальний бункер; 2 – конвеєр живильника;
3 – шиберна заслонка розкидача; 4 – диск розкидача



Комбінований
розкидач із
функцією
змочування
сипких і
розпилення рідких
матеріалів

при роботі із сипкими матеріалами

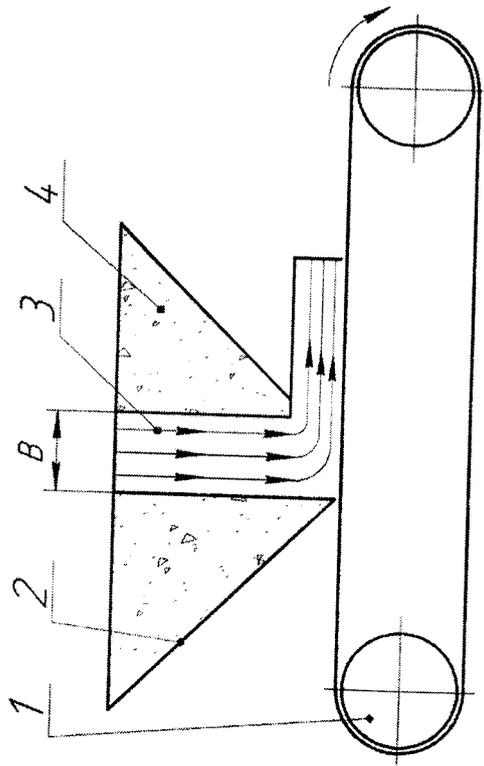


Схема спадяючого руху в бункері
характерна для матеріалів для
боротьби з ожеледицею

1 – конвеєр; 2 – бункер з матеріалом; 3 – зона
потoku матеріалу; 4 – зона низької або нульової
рухомості матеріалу; 5 – похилий канал

В, К – ширина зони потоку матеріалу

Переріз А-А із розміром вихідного отвору, який повинен забезпечити безперервний
спадяючий рух матеріалу без утворення купола зведення

Переріз Б-Б із суттєво нижчими напруженнями

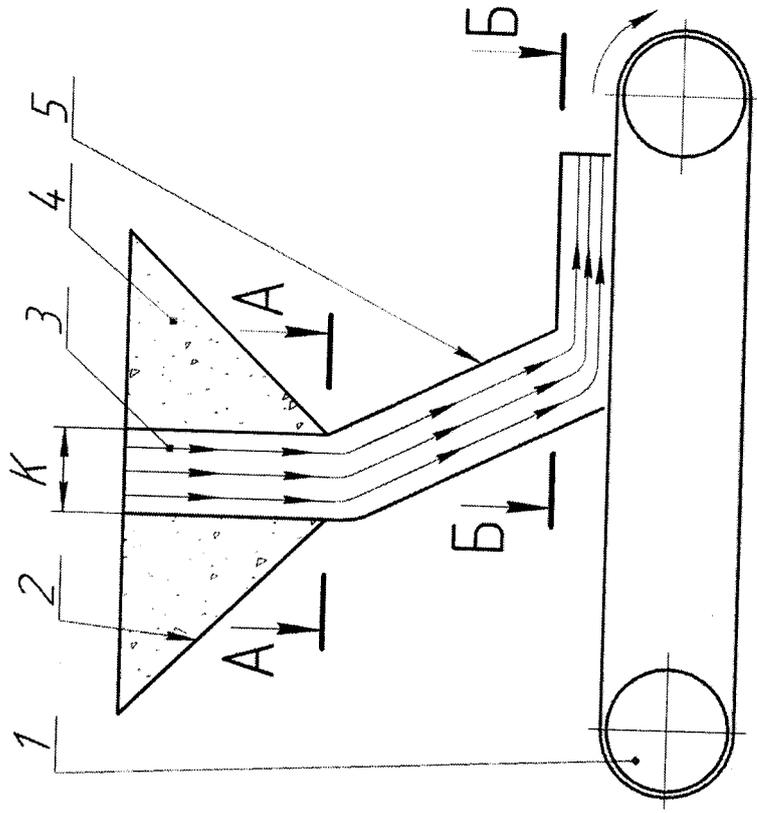


Схема спадяючого руху в бункері із
використанням похилого каналу
характерна для матеріалів для
боротьби з ожеледицею

при роботі із сипкими матеріалами

Обґрунтування розміру вихідного отвору накопичувального бункера

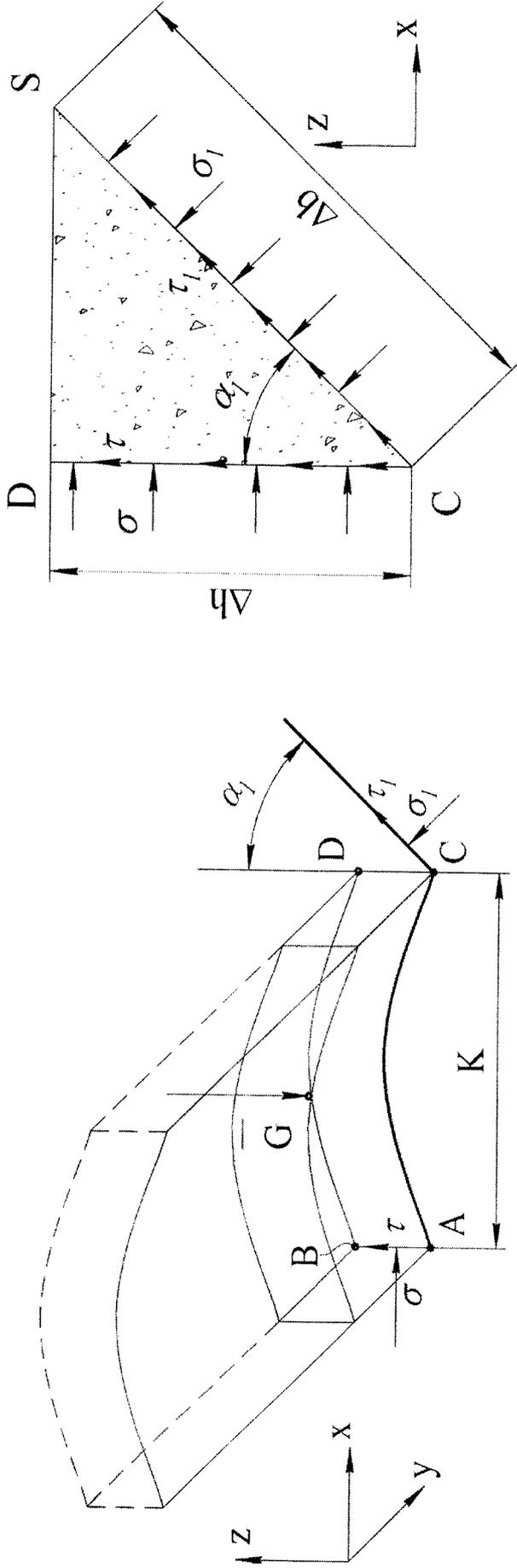


Схема напружень сипучого матеріалу у зоні вихідного отвору накопичувального бункера

Схема напружень сипучого матеріалу у вертикальній площині

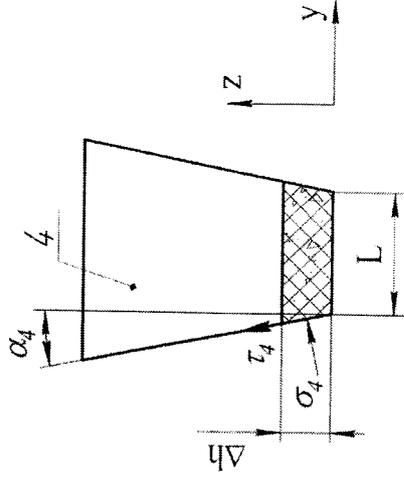
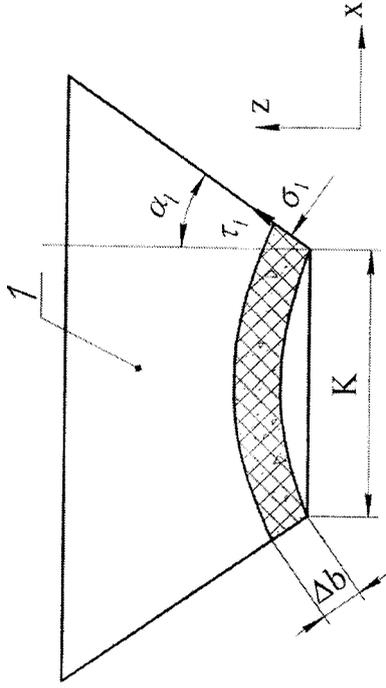
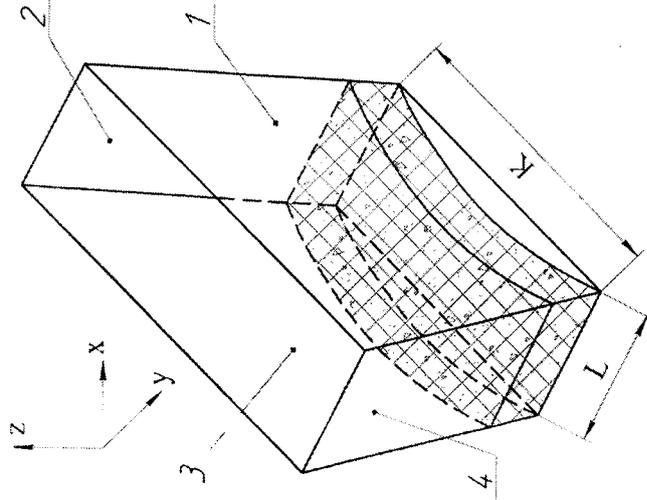
$$K = \frac{\tau_2 + \sigma_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 + \tau_1 - \sigma_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1}{g \cdot \rho}, \text{ або } K = \frac{2R}{g \cdot \rho} + \frac{\tau_0}{g \cdot \rho} \cdot [\cos \varphi + (1 + \sin \varphi) \cdot \operatorname{tg} \alpha_1] \cdot (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \alpha_1) +$$

$$+ \frac{\tau_0}{g \cdot \rho} \cdot [\cos \varphi \cdot \cos \alpha_1 - (1 + \sin \varphi) \cdot \sin \alpha_1] \cdot (\cos \alpha_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 - \sin \alpha_1).$$

φ – внутрішній кут тертя сипкого матеріалу

при роботі із сипкими матеріалами

Обґрунтування раціональних геометричних параметрів накопичувальних бункерів



Розрахункова схема накопичувального бункера у вертикальній поперечній площині zOx

Розрахункова схема накопичувального бункера у вертикальній повздовжній площині zOy

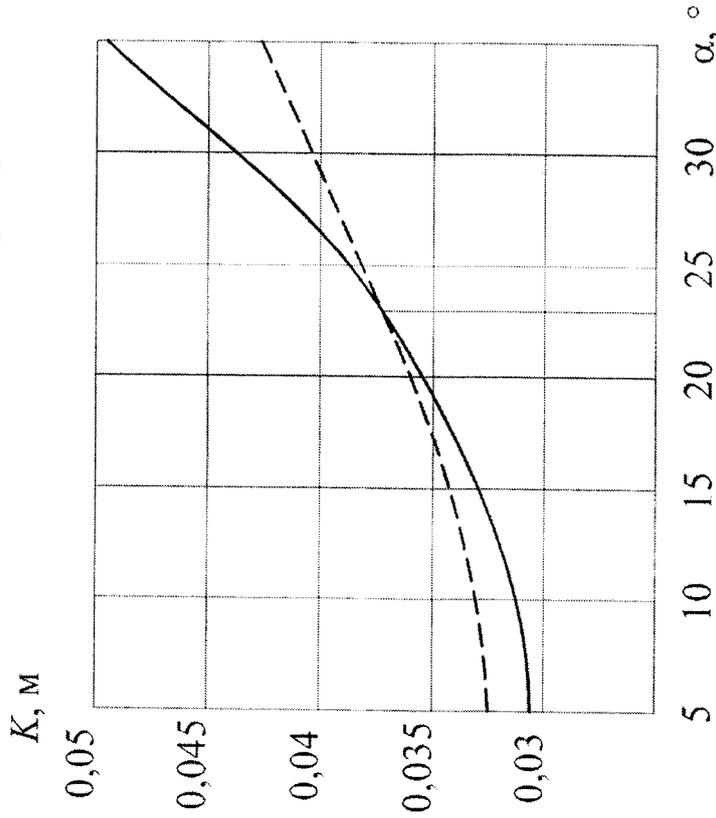
Розрахункова схема загального вигляду для визначення параметрів накопичувального бункера

$$K = \frac{R_1 + (R_2 + R_4) \cdot b + R_4}{g \cdot \rho} + \frac{\tau_0}{g \cdot \rho} \cdot \left[\cos \varphi \cdot \cos \alpha_1 - (1 + \sin \varphi) \cdot \sin \alpha_1 \right] \cdot (\cos \alpha_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 - \sin \alpha_1) + \frac{\tau_0}{g \cdot \rho} \cdot \left[\cos \varphi + (1 + \sin \varphi) \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 \right] \cdot (\operatorname{tg} \alpha_2 + \operatorname{tg} \varphi_2) + \frac{\tau_0}{g \cdot \rho} \cdot \left[\cos \varphi + (1 + \sin \varphi) \cdot \operatorname{tg} \alpha_3 \right] \cdot (\operatorname{tg} \alpha_3 + \operatorname{tg} \varphi_3) + \frac{\tau_0}{g \cdot \rho} \cdot \left[\cos \varphi + (1 + \sin \varphi) \cdot \operatorname{tg} \alpha_4 \right] \cdot (\operatorname{tg} \alpha_4 + \operatorname{tg} \varphi_4).$$

$$K = \frac{\tau_1 - \sigma_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 + \tau_2 - \sigma_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 + \tau_3 + \sigma_3 \cdot \operatorname{tg} \alpha_3 + \tau_4 - \sigma_4 \cdot \operatorname{tg} \alpha_4}{g \cdot \rho}$$

або

при роботі із сипкими матеріалами



Графік залежності розміру K сторони квадратного вихідного отвору від кута α нахилу стінок накопичувального бункера

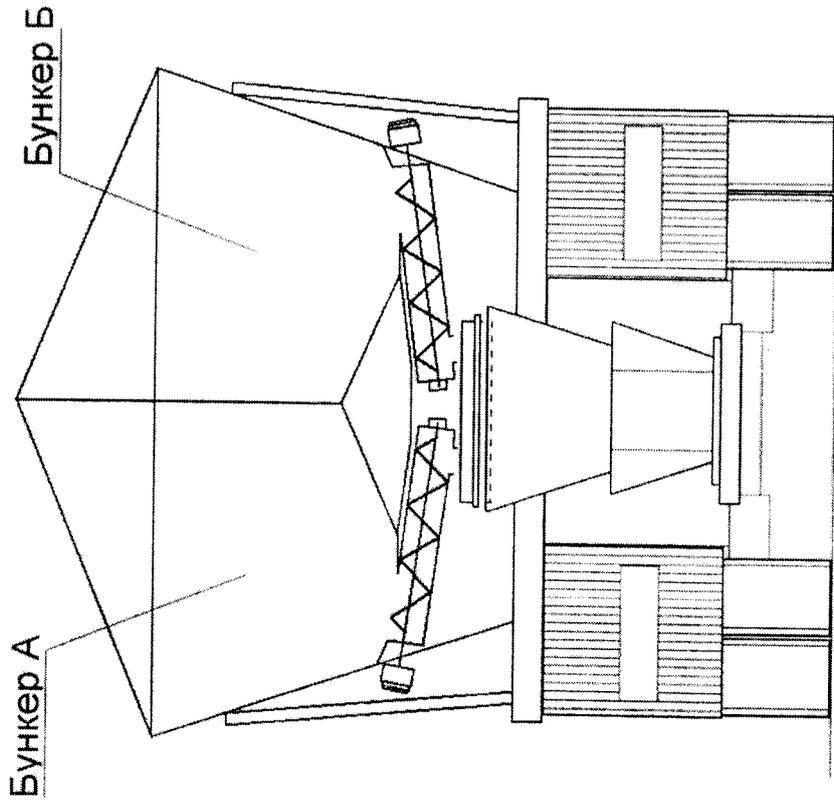
- 1 – розмір сторони квадратного вихідного отвору, при якому можливе утворення нерухомого зведення куполу матеріалу;
- 2 – раціональне конструктивне значення розміру сторони квадратного вихідного отвору

Якщо вихідний отвір накопичувального бункера матиме квадратну форму і його сторони K та L будуть рівні, то для стінок із однаковою шорсткістю будуть виконуватися умови $\alpha_1 = \alpha_3$, а також $\alpha_2 = \alpha_4$. Якщо ж стінки взагалі будуть паралельні, то виконуватимуться умови, коли $\alpha_2 = \alpha_4 = 0$ та $\alpha_1 = \alpha_3 = \alpha$.

$$K = \frac{2R \cdot (1 + \tau)}{g \cdot \rho}$$

За найбільш сприятливих умов зберігання якісно підготовленого сухого матеріалу для боротьби з ожеледицею, коли початковий опір зсуванню буде відповідати рівності $\tau_0 = R$, будемо мати ситуацію, для якої буде справедливою залежність:

$$K = \frac{4R}{g \cdot \rho}$$



Конструкція комбінованої дорожньої машини із роздільним накопичувальним бункером

А – відділення бункера для першого (активного) компонента суміші солі;
 Б – відділення бункера для другого (пасивного) компонента суміші піску

Машина

Етапи програми роботи комбінованої дорожньої машини з універсальним розкидачем матеріалу для боротьби з ожеледицею та системою автоматизації керування:

1. Підготовка виходу машини на лінію. Введення даних про погодні умови. Бункери окремо завантажуються. Сіль у відділення накопичувального бункера А, пісок – у відділення Б.
2. До обчислювальної системи вводяться необхідні властивості доданих компонентів. На основі параметрів компонентів та передбачуваних погодних умов відбувається автоматичне формування необхідної рецептури матеріалу.
3. Дозатори мають змогу працювати за розрахованими програмою продуктивностями і оператор комбінованої дорожньої машини після виїзду на лінію запускає технологічний процес нанесення матеріалів.
4. Система керування комбінованою дорожньою машиною визначає розташування найближчої станції гідрометеослужби і отримує актуальну поточну інформацію щодо погодних умов.
5. У режимі реального часу розраховується значення точки роси та на основі цього здійснюється найбільш раціональний вибір співвідношення компонентів суміші. Одночасно при зміні рецептури суміші одразу надсилаються керуючі впливи на дозатори універсального розкидача при цьому вона найбільш повно відповідає потребам ситуації з ожеледицею, що склалася.
6. Отримання нової інформації про погодні умови періодично повторюється і у разі виявлення необхідності внесення змін у технологічний процес обслуговування шляхів, такі дії виконуються.

Програма керування працює циклічно. Її робота припиняється або ж у випадку відповідних дій оператора машини, або при закінченні у накопичувальному бункері одного із компонентів суміші.

Велика кількість конструкцій розкидачів комбінованих дорожніх машин не у повній мірі покриває потреби у технологічних можливостях, які виникають при зимовому обслуговуванні доріг. У першу чергу це регулювання складу насипного матеріалу для боротьби з ожеледицею безпосередньо в процесі експлуатації машини на лінії. Ця проблема вирішується за рахунок використання інтелектуальних систем автоматизації дозування та транспортування матеріалів.

Для роботи автоматизованих систем дозування важливою є безперервність подачі матеріалу. Для цього розроблено математичну модель, яка визначає необхідні геометричні параметри кута нахилу стінок накопичувального бункера та розміру його випускного отвору, за яких не буде утворюватися купол зведення насипного матеріалу і, відповідно, перешкоджання руху подачі.

Визначено, що раціональними рішенням для випадку піщано-соляної суміші є кут нахилу стінок накопичувального бункера понад 23° , а його випускний отвір повинен мати квадратну форму із стороною, величина якої залежить від фізико-механічних властивостей компонентів (піску та солі).

Встановлено, що для налаштування автоматизації процесу подачі матеріалів для боротьби з ожеледицею необхідно використовувати саме вагові транспортери, як складову систему керування. Вони матимуть найширші можливості та варіативність у використанні.

Ефективність матеріалу для боротьби з ожеледицею значною мірою залежить від співвідношення між піском та сіллю, що має відповідати метеорологічним умовам, які виникли. З метою приведення процесу підбору відсоткового складу суміші матеріалу для боротьби з ожеледицею до рекомендованих раціональних значень, основаних на потребах дорожників та вимогах державних стандартів, а також використання корисних властивостей окремих компонентів суміші згідно з актуальними метеорологічними даними, виконано обґрунтування параметрів дозувального обладнання на дорожніх машинах.

Запропоновано конструкцію накопичувального бункера із окремими відділеннями для різних компонентів суміші. Завдяки складанню алгоритму роботи автоматизованої системи керування комбінованою дорожньою машиною із універсальним розкидачем реалізовано можливість регулювання складу насипного матеріалу у режимі реального часу згідно із поточною ситуацією на дорозі, яка аналізується за даними метеостанції. Автоматизована система керування дозволяє підвищити ефективність експлуатації дорожньої машини за рахунок її роботи з обґрунтованими раціональними параметрами, без перевикористання матеріалів та уникнення передчасних потреб повторної обробки ділянок шляху.