

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра геоінженерії

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 504.064.45

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Анатолій КРЮЧКОВ

(підпис)

(ім'я, прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 101 Екологія**

(код та назва спеціальності)

**на тему:** «Зменшення навантаження на довкілля шляхом застосування відходів виробництва у технології виготовлення асфальтобетонних сумішей»

**Студент групи**

ОЗ-91мп

(шифр групи)

Мартюхін А.В.

(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Науковий керівник**

Тверда О. Я., д. т. н., доцент

(прізвище та ініціали, науковий ступінь, вчене звання, посада)

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Консультант**

Стартап-проекту

(назва розділу)

Шевчук Н. А., к. т. н., доцент

(прізвище та ініціали, науковий ступінь, вчене звання)

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Рецензент**

Полукаров О.І., к.т.н., доцент

(прізвище та ініціали, науковий ступінь, вчене звання)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Київ – 2020 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра геоінженерії

(повна назва кафедри)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою  
Спеціальність (спеціалізація) – 101 Екологія («Інженерна екологія та  
ресурсозбереження»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Анатолій КРЮЧКОВ  
(підпис) (ім'я, прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію**

студенту \_\_\_\_\_ Мартюхину Антону Володимировичу  
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема дисертації «Зменшення навантаження на водне середовище шляхом застосування альтернативних підходів до використання водяного горіха в промисловості»,

науковий керівник дисертації Тверда Оксана Ярославівна д. т. н., доцент,

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

затверджені наказом по університету від « 03 » листопада 2020 р. №3199-с

2. Дата подання студентом дисертації « 21 » грудня 2020 р.

3. Об'єкт дослідження – процес будівництва дорожнього полотна.

4. Предмет дослідження – зниження рівня забруднення навколишнього середовища в процесі будівництва дорожнього полотна.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: провести аналіз сучасного стану досягнень з питань зниження навантаження на довкілля в процесі будівництва, модернізації чи ремонту дорожнього полотна; дослідити можливість використання відходів виробництва як альтернативи щебеню під час будівництва, модернізації чи ремонту дорожнього полотна; встановити залежність ефективності використання відходів виробництва, як альтернативи щебеню під час будівництва, модернізації чи ремонту дорожнього полотна, від їх властивостей та характеристик, а також від категорії доріг; розробити стартап-проект, визначити еколого-економічну ефективність запропонованих рішень.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: схема конструкції дорожнього полотна; ступінь ефективності домішок в залежності від категорії доріг; ступінь екологічної ефективності замінників із врахуванням процесу навантаження-розвантаження.

7. Орієнтований перелік публікацій: XII науково-технічній конференції “Енергетика. Екологія. Людина”, м. Київ, 2019 рік; III науково-технічній конференції магістрантів Інституту енергозбереження та енергоменеджменту, м. Київ, 2020 рік.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали, посада	Дата, підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Репін М.В., к.т.н., асистент		
Стартап-проект	Шевчук Н.А., к.т.н., доцент		

9. Дата видачі завдання: «01» вересня 2020 р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Вибір і затвердження теми.	01.09.20-07.09.20	виконано
2.	Підбір і ознайомлення з літературою	08.09.20-28.09.20	виконано
3.	Складання плану, розробка індивідуального завдання	29.09.20-12.10.20	Виконано
4.	Поглиблене вивчення літературних джерел і написання теоретичної частини.	13.10.20-09.11.20	Виконано
5.	Збір і аналітична обробка статистичного матеріалу з теми дослідження	10.11.20-23.11.20	Виконано
6.	Написання дисертації та її оформлення	24.11.20-10.12.20	Виконано
7.	Подання роботи в ДЕК та її захист	11.12.20-23.12.20	Виконано

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Антон МАРТЮХІН

(ім'я, прізвище)

Науковий керівник

\_\_\_\_\_

(підпис)

Оксана ТВЕРДА

(ім'я, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація містить 105 сторінок, 3 ілюстрації, 17 таблиць та 58 джерел за переліком посилань.

**Актуальність теми дослідження.** Станом на сьогодні дорожнє будівництво займає одну з лідируючих позицій по темпам зростання. Існують багато програм, в тому числі й «Велике будівництво», які мають на меті покращення якості дорожнього полотна в Україні. Станом на сьогодні, тільки в одному Печерському районі міста Києва було відремонтовано близько 100000 м<sup>2</sup> дорожнього полотна, а загальний об'єм по країні вимірюється в мільйонах квадратних метрів. Але будівництво, модернізація чи ремонтування дорожнього полотна завжди потребує значних витрат на ресурси. Також, із зростанням ресурсних витрат зростає й навантаження на навколишнє середовище. Зокрема від асфальтобетонних сумішей. Тому необхідно впроваджувати нові, альтернативні замінники, які допоможуть знизити техногенне навантаження. Згідно досліджень, в Україні наявні близько 5 млн тон відходів виробництва, які можуть бути використані як альтернативні матеріали. Наприклад, металургійні шлаки, золошлаки чи перероблена резинова крихта. Впровадження цих відходів допоможе знизити навантаження на довкілля, а також розвантажити значні території, які ці відходи займають.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Магістерська дисертація виконувалась відповідно до «Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року» (Закон України від 21 квітня 2011 року N 3268-VI), Закону України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» (№2697-VIII від 28 лютого 2019 року), а також плану наукових досліджень кафедри геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», і є складовою частиною НДР «Утилізація відходів видобутку нерудних корисних копалин» (№ ДР 0120U101193), в якій автор брав участь як виконавець.

**Мета дослідження:** зниження навантаження на довкілля шляхом застосування відходів виробництва у технології виготовлення асфальтобетонних сумішей.

Для досягнення встановленої мети дослідження необхідно розв'язати наступні **завдання**:

- провести аналіз сучасного стану досягнень з питань зниження навантаження на довкілля в процесі будівництва, модернізації чи ремонту дорожнього полотна;
- дослідити можливість використання відходів гірничого виробництва як альтернативи щебеню під час будівництва, модернізації чи ремонту дорожнього полотна;
- встановити залежність ефективності використання відходів гірничого виробництва, як альтернативи щебеню під час будівництва, модернізації чи ремонту дорожнього полотна, від їх властивостей та характеристик, а також від категорії доріг;
- розробити стартап-проект, визначити еколого-економічну ефективність запропонованих рішень.

**Об'єкт дослідження:** процес будівництва дорожнього полотна.

**Предмет дослідження:** зниження рівня забруднення навколишнього середовища в процесі будівництва дорожнього полотна.

**Методи дослідження:** аналізу – для узагальнення сучасних науково-технічних досягнень щодо зменшення навантаження на навколишнє середовище та підвищення рівня ресурсозбереження в процесі будівництва, модернізації чи ремонту дорожнього полотна; дисперсійного та кореляційно-регресійного аналізу – для встановлення залежності ефективності використання альтернативних замінників щебеню від їх характеристик та властивостей; графічний – для наочного представлення результатів дослідження; еколого-економічного аналізу – для розрахунку еколого-економічного ефекту впровадження результатів дослідження у виробництво.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- встановлено залежність ефективності застосування відходів виробництва, як альтернативи щебеню, під час будівництва, модернізації та ремонту дорожнього полотна, від екологічного критерію;
- встановлено залежність ефективності застосування відходів виробництва, як альтернативи щебеню, під час будівництва, модернізації та ремонту дорожнього полотна, від категорії доріг;
- запропоновано підхід до оцінки ефективності використання відходів виробництва, як альтернативи щебеню, під час будівництва, модернізації та ремонту дорожнього полотна, який відрізняється від відомих тим, що враховує вплив альтернативного замітника на навколишнє середовище під час його транспортування.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у розробленні методики оцінки ефективності використання відходів виробництва, як альтернативи щебеню, під час будівництва дорожнього полотна, яка враховує їх вплив на довкілля на різних стадіях будівництва, а також категорію доріг.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційних досліджень доповідались на 2 науково-технічних конференціях: XII науково-технічній конференції “Енергетика. Екологія. Людина”, м. Київ, 2019 рік; III науково-технічній конференції магістрантів Інституту енергозбереження та енергоменеджменту, м. Київ, 2020 рік.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** АСФАЛЬТОБЕТОННА СУМІШ, ЩЕБЕНЕВИЙ ШАР, ДОМЕННІ ШЛАКИ, ЕЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНІ ШЛАКИ, БІТРЕК, ЗОЛОШЛАКИ, ФУНКЦІОНАЛЬНІ КРИТЕРІЇ, ДОРОЖНЄ ПОЛОТНО, КАТЕГОРІЯ ДОРОГИ.

## ABSTRACT

The master's dissertation contains 105 pages, 3 illustrations, 17 tables and 58 sources according to the list of references.

**Actuality of topic.** As of today, road construction occupies one of the leading positions in terms of growth. There are many programs, including "Large Construction", which aim to improve the quality of the road in Ukraine. As of today, about 100,000 m<sup>2</sup> of the road has been repaired in Kyiv's Pechersk district alone, and the total volume in the country is measured in millions of square meters. But the construction, modernization or repair of the road always requires significant resource costs. Also, as resource costs increase, so does the burden on the environment. In particular from asphalt concrete mixes. Therefore, it is necessary to introduce new, alternative substitutes that will help reduce the man-made load. According to research, there are about 5 million tons of industrial waste in Ukraine, which can be used as alternative materials. For example, metallurgical slag, ash slag or recycled rubber crumb. The introduction of this waste will help reduce the burden on the environment, as well as unload large areas that this waste occupies.

**Connection of work with scientific programs, plans, themes.** The master's dissertation was performed in accordance with the "National program of development of mineral resources of Ukraine for the period up to 2030" (Law of Ukraine of April 21, 2011 N 3268-VI), the Law of Ukraine "On the basic principles (strategy) of state environmental policy of Ukraine 2030" (№2697-VIII of February 28, 2019), as well as the research plan of the Department of Geoengineering of the National Technical University of Ukraine" Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorsky ", and is part of the research" Utilization of non-metallic waste "(№ DR 0120U101193), in which the author participated as a performer.

**The purpose of the study:** reducing the load on the environment through the use of industrial waste in the technology of manufacturing asphalt mixtures.

To achieve the established purpose of research it is necessary to solve the **following tasks:**

- to analyze the current state of achievements in reducing the burden on the environment during the construction, modernization or repair of the roadway;
- explore the possibility of using mining waste as an alternative to gravel during the construction, modernization or repair of the roadway;
- establish the dependence of the efficiency of the use of mining waste as an alternative to gravel during the construction, modernization or repair of the road surface, on their properties and characteristics, as well as on the category of roads;
- develop a startup project, determine the environmental and economic efficiency of the proposed solutions.

**Object of research:** the process of road construction.

**Subject of research:** reduction of environmental pollution in the process of road construction.

**Research methods:** analysis - to summarize modern scientific and technical achievements to reduce the burden on the environment and increase the level of resource conservation in the process of construction, modernization or repair of the roadway; dispersion and correlation-regression analysis - to establish the dependence of the effectiveness of the use of alternative gravel substitutes on their characteristics and properties; graphic - for visual presentation of research results; ecological and economic analysis - to calculate the ecological and economic effect of the implementation of research results in production.

**Scientific novelty of the obtained results:**

- the dependence of the efficiency of the use of industrial waste as an alternative to crushed stone during the construction, modernization and repair of the road surface on the ecological criterion has been established;
- the dependence of the efficiency of the use of industrial waste, as an alternative to gravel, during the construction, modernization and repair of the road surface, on the category of roads;
- an approach to the evaluation of the efficiency of production waste as an alternative to crushed stone during construction, modernization and repair of the road



is proposed, which differs from the known ones in that it takes into account the impact of the alternative substitute on the environment during its transportation.

**The practical significance of the obtained results** is to develop a methodology for assessing the efficiency of production waste as an alternative to gravel during road construction, which takes into account their impact on the environment at different stages of construction, as well as the category of roads.

**Approbation of dissertation results.** The main provisions and results of dissertation research were presented at 2 scientific and technical conferences: XII scientific and technical conference “Energy. Ecology. People”, Kyiv, 2019; III scientific and technical conference of undergraduates of the Institute of Energy Conservation and Energy Management, Kyiv, 2020.

**KEY WORDS:** ASPHALT CONCRETE MIXTURE, CRUSHED LAYER, DOMAIN SLAGS, ELECTRIC STEEL SLAGS, BITREK, ASH SLAGES, FUNCTIONAL CRITERIA, ROAD, ROAD CATEGORY.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І	
ТЕРМІНІВ .....	12
ВСТУП.....	13
1 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПРОЦЕСУ УКЛАДКИ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ	
СУМІШЕЙ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ.....	16
1.1 Актуальність дослідження .....	16
1.2 Асфальтобетонні суміші, їх виготовлення та вплив на середовище ...	20
1.3 Альтернативні домішки у виробництві асфальтобетонних сумішей ..	25
1.4 Функціональні критерії асфальтобетонної суміші .....	29
Висновки до розділу 1 .....	34
2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ТЕХНІЧНІ УМОВИ АЛЬТЕРНАТИВНИХ	
ЗАМІННИКІВ .....	35
2.1 Хімічні та фізичні властивості альтернативних домішок .....	35
2.2 Розрахунки параметрів альтернативних домішок .....	51
2.3 Навантажувально-розвантажувальні роботи .....	56
Висновки до розділу 2.....	57
3 ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕФЕКТИВНОСТІ	
АЛЬТЕРНАТИВНИХ ЗАМІННИКІВ .....	59
3.1 Розрахунок функціональних критеріїв альтернативних домішок .....	59
3.2 Екологічна ефективність під час процесу навантаження та	
розвантаження .....	75
Висновки до розділу 3.....	77
4 ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИБОРУ ДОЦІЛЬНОЇ СУМІШІ ДЛЯ	
ВРАХУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ЕФЕКТУ.....	79
4.1 Опис ідеї проекту .....	79
4.2 SWOT-аналіз.....	80
4.3 Фінансове обґрунтування стартап-проекту .....	83
4.4 Цільові групи потенційних споживачів .....	87
4.5 Бізнес-модель проекту .....	89

	11
4.6 Аналіз ризиків стартап-проекту.....	90
Висновки до розділу 4.....	93
ВИСНОВКИ .....	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	96
ДОДАТОК А.....	103

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

АБЗ – асфальтобетонний завод;  
НС – навколишнє середовище;  
ККД – коефіцієнт корисної дії;  
ПАД – поверхнево-активні добавки;  
ТЕС – теплоелектростанція;  
ПАВ – поверхнево-активні в'язучі;  
ПАР – поверхнево-активні речовини;  
БІТРЕК – бітумно-резиновий компонент.

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Станом на сьогодні дорожнє будівництво займає одну з лідируючих позицій по темпам зростання. Існують багато програм, в тому числі й «Велике будівництво», які мають на меті покращення якості дорожнього полотна в Україні. Станом на сьогодні, тільки в одному Печерському районі міста Києва було відремонтовано близько 100000 м<sup>2</sup> дорожнього полотна, а загальний об'єм по країні вимірюється в мільйонах квадратних метрів. Але будівництво, модернізація чи ремонтування дорожнього полотна завжди потребує значних витрат на ресурси. Також, із зростанням ресурсних витрат зростає й навантаження на навколишнє середовище. Зокрема від асфальтобетонних сумішей. Тому необхідно впроваджувати нові, альтернативні замінники, які допоможуть знизити техногенне навантаження. Згідно досліджень, в Україні наявні близько 5 млн тон відходів виробництва, які можуть бути використані як альтернативні матеріали. Наприклад, металургійні шлаки, золошлаки чи перероблена резинова крихта. Впровадження цих відходів допоможе знизити навантаження на довкілля, а також розвантажити значні території, які ці відходи займають.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Магістерська дисертація виконувалась відповідно до «Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року» (Закон України від 21 квітня 2011 року N 3268-VI), Закону України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» (№2697-VIII від 28 лютого 2019 року), а також плану наукових досліджень кафедри геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», і є складовою частиною НДР «Утилізація відходів видобутку нерудних корисних копалин» (№ ДР 0120U101193), в якій автор брав участь як виконавець.

**Мета дослідження:** зниження навантаження на довкілля шляхом застосування відходів виробництва у технології виготовлення асфальтобетонних сумішей.

Для досягнення встановленої мети дослідження необхідно розв'язати наступні **завдання**:

- провести аналіз сучасного стану досягнень з питань зниження навантаження на довкілля в процесі будівництва, модернізації чи ремонту дорожнього полотна;
- дослідити можливість використання відходів гірничого виробництва як альтернативи щебеню під час будівництва, модернізації чи ремонту дорожнього полотна;
- встановити залежність ефективності використання відходів гірничого виробництва, як альтернативи щебеню під час будівництва, модернізації чи ремонту дорожнього полотна, від їх властивостей та характеристик, а також від категорії доріг;
- розробити стартап-проект, визначити еколого-економічну ефективність запропонованих рішень.

**Об'єкт дослідження:** процес будівництва дорожнього полотна.

**Предмет дослідження:** зниження рівня забруднення навколишнього середовища в процесі будівництва дорожнього полотна.

**Методи дослідження:** аналізу – для узагальнення сучасних науково-технічних досягнень щодо зменшення навантаження на навколишнє середовище та підвищення рівня ресурсозбереження в процесі будівництва, модернізації чи ремонту дорожнього полотна; дисперсійного та кореляційно-регресійного аналізу – для встановлення залежності ефективності використання альтернативних замінників щебеню від їх характеристик та властивостей; графічний – для наочного представлення результатів дослідження; еколого-економічного аналізу – для розрахунку еколого-економічного ефекту впровадження результатів дослідження у виробництво.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- встановлено залежність ефективності застосування відходів виробництва, як альтернативи щебеню, під час будівництва, модернізації та ремонту дорожнього полотна, від екологічного критерію;

- встановлено залежність ефективності застосування відходів виробництва, як альтернативи щебеню, під час будівництва, модернізації та ремонту дорожнього полотна, від категорії доріг;

- запропоновано підхід до оцінки ефективності використання відходів виробництва, як альтернативи щебеню, під час будівництва, модернізації та ремонту дорожнього полотна, який відрізняється від відомих тим, що враховує вплив альтернативного замітника на навколишнє середовище під час його транспортування.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у розробленні методики оцінки ефективності використання відходів виробництва, як альтернативи щебеню, під час будівництва дорожнього полотна, яка враховує їх вплив на довкілля на різних стадіях будівництва, а також категорію доріг.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційних досліджень доповідались на 2 науково-технічних конференціях: XII науково-технічній конференції “Енергетика. Екологія. Людина”, м. Київ, 2019 рік; III науково-технічній конференції магістрантів Інституту енергозбереження та енергоменеджменту, м. Київ, 2020 рік.

# **1 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПРОЦЕСУ УКЛАДКИ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ**

## **1.1 Актуальність дослідження**

Однією з актуальних проблем на сьогоднішній день є проблема забруднення навколишнього середовища при виробництві та використанні асфальтобетонних сумішей. Збільшення темпів будівництва чи ремонтування дорожнього покриття зумовлюють інтенсивний розвиток виробництва асфальтобетонних сумішей.

Наприклад, тільки в Києві за останні два роки було відновлено близько двох тисяч кілометрів дорожнього покриття, що спричинило значні викиди в атмосферу домішок, що випарувалися з асфальту.

При застосуванні таких сумішей використовуються технології, які є екологічно значні, та призводять, зокрема, до хімічного забруднення навколишнього середовища. Хімічне забруднення навколишнього середовища наявне на усіх етапах виготовлення асфальтобетонних сумішей, від їх виробництва на АБЗ, до кінцевого етапу – укладки асфальту. Екологічна небезпека головним чином пов'язана із використанням бітуму, що входить у склад сумішей. Хімічне забруднення, в свою чергу, полягає у кількості викидах в атмосферне повітря, що накопичують в собі токсичні вуглеводні, а саме бензол, фенол, толуол тощо. Такі компоненти наявні саме в бітумі, однак крім цих домішок в ньому існують й інші хімічні зв'язки, ідентифікація котрих наразі неможлива.

Увесь можливий вплив на навколишнє середовище поділяється на вплив під час виконання дорожніх робіт та під час експлуатації дороги.

Вплив під час дорожніх робіт наведений в таблиці 1.1.



Таблиця 1.1 – Вплив на НС під час дорожніх робіт [1]

Вид середовища	Вплив на довкілля
Повітряне середовище	викиди відпрацьованих газів, поширення речовин у вигляді суспендованих твердих частинок (пилу, сажі) від будівельної техніки та автотранспорту
Акустичне середовище	шум, вібрація від роботи машин та механізмів
Гідрогеологічне середовище	можливі тимчасові та постійні зміни режиму, рівнів ґрунтових та підземних вод, їх хімічне забруднення
Геологічне середовище	можливе виникнення та активізація екзогенних процесів (лінійна та площинна ерозія; зсуви, спливи та осипи при підрізанні схилів та формуванні насипів, просідання поверхні, підтоплення, розвиток карсту тощо)
Ландшафти	зміни місцевих ландшафтів при будівництві земляного полотна, виконанні протиерозійних та протизсувних заходів, влаштуванні виїмок та насипів, розробці кар'єрів
Рослинний та тваринний світ	вирубубування лісонасаджень, розчищення чагарників, порушення біотопів, зміни умов оселення та шляхів міграції диких тварин, деградація екосистем під впливом шуму та речовин у вигляді суспендованих твердих частинок
Ґрунти	зняття рослинного шару ґрунту, деградація ґрунтів внаслідок площинної ерозії та змін фізико-механічних властивостей внаслідок земляних робіт, забруднення стічними водами

Продовження таблиці 1.1

Вид середовища	Вплив на довкілля
Водне середовище	можливі тимчасові та постійні зміни режимів стоку та рівнів води, порушення руслових процесів і розвиток абразії, забруднення водного середовища стічними водами, які містять нафтопродукти та інші хімічні сполуки, забруднення сміттям та замулювання русел
Земельні ресурси	відчуження земель для будівництва автомобільної дороги та штучних споруд, тимчасове вилучення земель для резервів, кар'єрів, будівельних майданчиків і технологічних проїздів
Соціальне середовище	вилучення земель у постійне і тимчасове користування, знесення будівель, незручності при проведенні будівельних робіт (утруднення проїзду та проходу), забруднення повітряного басейну, техногенний вплив на пам'ятки історії та архітектури
Техногенне середовище	вплив викидів, вібрації на будівлі та споруди, порушення експлуатаційної надійності елементів техногенного середовища, утворення будівельних та побутових відходів

Вплив на довкілля під час експлуатації дороги наведений в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Вплив на НС під час експлуатації доріг

Вид середовища	Вплив на довкілля
Повітряне середовище	забруднення викидами відпрацьованих газів двигунів автомобілів та твердими рештками від зносу шин та дорожнього покриття
Акустичне середовище	шум та вібрація від автомобільного транспорту
Водне середовище	скиди зливових і талих стічних вод з дорожнього покриття та штучних споруд
Ґрунти	забруднення побутовим сміттям, скидами зливових і талих стічних вод

Якість, а також екологічна безпечність матеріалів, що використовуються у дорожній сфері формують екологічну чистоту дорожнього полотна. Будь-яка автомобільна дорога потребує своєчасної екологічної експертизи задля оцінювання можливостей впровадження різних технологічних схем або додавання нових матеріалів при будівництві дорожнього полотна, ремонту доріг чи виконання підготовчих робіт.

Питання степеню негативного впливу на людину на сьогоднішній день ще маловідоме, але різні дослідження вчених показують, що по статистиці, в працівників дорожньої сфери частіше виявляють патологічні чи онкологічні хвороби в організмі, а також такі хвороби як кератоз чи дерматит. Тому нагальним вирішенням даної проблеми є розробка нових технологій укладки асфальту, які зменшать навантаження шкідливих сумішей на атмосферу та здоров'я людини[1].

Підвищення рівня екологічної безпеки за рахунок зниження питомих витрат енергоресурсів і матеріалоемності в проектах розвитку дорожнього господарства може відбуватися шляхом застосування сучасних матеріалів, а також новітніх технологій будівництва, реконструкції, ремонту та утримання автомобільних доріг.

## 1.2 Асфальтобетонні суміші, їх виготовлення та вплив на середовище

Асфальтобетонні суміші впливають на навколишнє середовище впродовж усього їх «життєвого» циклу. Такий цикл поділяється на етапи виробництва сировини, виготовлення сумішей, їх перевезення до місця роботи, їх експлуатація, повторний цикл використання тощо[2].

Виготовлення сумішей складається із етапів сушки та нагрівання матеріалів та їх подальше перемішування із бітумом. При цьому характерним забруднювачем навколишнього середовища є пил, що виділяється при висушуванні матеріалів.

Пиловиділення також можливе при:

- зберіганні мінеральних відходів;
- при перевозці;
- при розвантажуванні та навантажуванні;
- транспортуванні у контейнерах[2].

Пил, який вже виділилася має в своєму складі частинки розміром до 10 мкм. У пиловому стані можуть знаходитися й вуглеводні частинки чи продукти горіння пального. Такий пил суттєво впливає на дихальні шлях людини.

При виробництві асфальтобетону з'являються органічні та неорганічні гази.

Двоокис сірки створюється при використанні в якості палива мазуту чи бурого вугілля, а також є складовою кислотних дощів. Оксид азоту з'являється при роботі форсунки сушильного барабана, а також грає значну роль в утворенні смогу чи кислотних дощів.

Виділення органічних зв'язків викликається нагрівом матеріалів в сушильному барабані, або нагріванням бітуму та старого асфальтобетону при його відновленні. Органічні сполуки впливають на кількість озону в атмосфері та посилює дії сонячного випромінювання, створюють так звані «озонові дірки». Викиди цих сумішей посилюються при перегрівання. При перегріванні характерне виділення голубого пару при нагріванні бітуму або ж при фрезеруванні асфальтобетонного покриття[3].

Ознакою шкідливих викидів є запахи, які кількісно важко виміряти. Джерелом специфічного запаху на АБЗ є бітум. Він виникає при вивантаженні бітуму в бітумосховище; при заповненні бітумноплавильних котлів; при зневодненні і витримуванні бітуму в бітумоплавильних котлах; при вивантаженні асфальтобетонних сумішей в скіповому ківшу, автосамоскиді чи при перевантаженні суміші під час подачі в асфальтоукладальник і укладанні їх асфальтоукладачем. Запах супроводжує і регенерації асфальтобетону на місці виконання робіт та на АБЗ[4].

Зниження рівня запаху досягається використанням місцевої вентиляції та високих труб.

Іншим джерелом забруднення на території АБЗ є стічні води, які далі потрапляють та забруднюють ґрунтові води. Аби зменшити чи попередити таке забруднення необхідно мінімізувати контакти та перемішування кам'яних матеріалів із атмосферними опадами, так як у складі різних мінеральних матеріалів, шлаків чи вторинних відходах виробництва асфальтобетонної суміші існують речовини, кількість яких повинна бути незначна або відсутня в підземних водах та в ґрунті. Для цього слід забезпечувати вчасне відведення опадів, попереджати витік охолоджуючих речовин, вчасно утилізувати зламані цистерни для зберігання горючих розчинників. Транспортування різних компонентів асфальтобетонної суміші при опадах повинно бути у транспортних засобах забезпечених тентами[4].

На здоров'я людини впливає й акустичне забруднення, тобто підвищений рівень шуму. На АБЗ джерелами такого шуму можуть бути конвеєри, сушильні барабани, різноманітні форсунки та збірники повітря, млини з цеху виробництва мінеральних порошків, вентилятори, транспортери, дробарки щебеню, допоміжне обладнання тощо. Для пониження рівня акустичного забруднення на АБЗ використовують шумопоглиначі, які розміщують біля установок, а також шумозахисні екрани. Критичний рівень акустичного забруднення досягається при рівні шуму в діапазоні від 30 до 70 дБ. Для денного та нічного шумоутворення такі вимоги коливаються в межах 10-15 дБ[5].

Приготування спеціальної суміші є фінальним етапом на АБЗ. При приготуванні такої суміші необхідно виконати такі технологічні операції: сушіння та нагрівання мінеральних матеріалів, ділення на фракції, змішування мінеральних та органічно в'язучих матеріалів, перемішування утвореної суміші.

Для такого процесу необхідно використовувати спеціальне обладнання для змішування, а також спеціальний цех, де буде відбуватися змішування. Рентабельність та продуктивність АБЗ головним чином пов'язана саме із роботою даного цеху.

Однак, якщо не досягається спеціальна температура нагрівання, матеріал може вийти неоднорідним, а процес обволікання погіршиться. Це призводить до утворення мікротріщин або навіть викликати втрату в'язких властивостей. Тому, для досягнення бажаного ефекту робоча температура нагрівання має підтримуватися в діапазоні 200 – 210 °С. Крім цього, треба забезпечувати своєчасне зневоднення[3].

На ефективність сушки впливають й такі параметри як згорання газу, теплоємність матеріалу, рівномірна подача кам'яних матеріалів та швидкість обертання барабану. Подача рідкого палива до форсунок регулюються насосом, а тиск забезпечує безперебійну подачу газоподібного палива. Вентилятори регулюють додаткову подачу повітря, яка необхідна для підвищення розпилення рідкого газу. Але недостатня ємність барабану не може повністю забезпечувати повне згорання газоподібного палива. Недостатній нагрів матеріалу призводить до утворення диму, через який установка знижує власне ККД[6].

З іншого боку, мінеральний порошок не потребує спеціального підігріву. Для досягнення своїх властивостей його вологість не може перевищувати 1%.

Усі змішувачі, залежно від умов, поділяються на установки з вільним і примусовим перемішуванням, циклічної і безперервної дії.

Головна роль на АБЗ у виробництві асфальтобетонної суміші належить процесу змішування мінералів.

Однак через значну варіативність сумішей та мішалок, час, витрачений на змішування також коливається в межах від 60 до 180 секунд. Відповідно до цього, увесь процес виготовлення асфальтобетонної суміші залежить від вибору

суміші та мішалок. Наприклад, у мішалках вільного перемішування сухе змішування мінералів може займати 30% від усього часу виготовлення асфальтобетонної суміші. Натомість при використанні мішалки із примусовим змішуванням даний процес займає 25% від усього часу приготування. Дисперсність суміші також впливає на час змішування. Крупнозернисту та середньозернисту суміш необхідно змішувати не менше ніж 20 секунд, дрібнозернисті суміші мають змішуватися близько 45 секунд, а піщані суміші змішуються щонайменш хвилину[5].

Для підвищення показників якості та перемішування можна застосовувати активацію мінеральних матеріалів чи інтенсифікацію перемішування. Але найбільш ефективним є застосування поверхнево-активних добавок (ПАД).

Для процесу введення ПАД у матеріали треба використовувати додатковий резервуар, в якому будуть зберігатися аніоактивні речовини та відбуватися підготовчі процеси. Далі ПАД вводять чи в органічно в'язучі матеріали чи вже одразу в процесі приготування сумішей[7].

Ефективність застосування ПАД полягає у зменшенні часу, який необхідний для перемішування а також у підвищенні ступеню процесу обволікання.

Оскільки процес змішування є затухаючим, підвищення якості суміші може бути тільки за рахунок збільшення тривалості самого процесу змішування. Для підтримування необхідної продуктивності треба аби ємність мішалки була більша мінімум в половину від стандартної ємності. Крім того, тривалість змішування може зменшуватися при досягання швидкості мішалки до 100 обертів за хвилину. При досягання швидкості мішалки у 300 обертів на хвилину відбувається покращення процесу обволікання в'язучими мінеральних матеріалів[7].

Інтенсифікацію перемішування можна досягти різними методами. Один із таких методів – це вібрація. Вона допомагає нівелювати ефект неповного обволікання та збільшити ступінь міцності і якості суміші, а також знижує їх водонасиченість.

Крім цього, інтенсифікація досягається й завдяки подовженню траєкторії руху мінеральних матеріалів в мішалці. Це можливо при раціоналізації установки лопатей. Завдяки використанню такого методу можливо досягти зниження часу, необхідного для сухого змішування та підвищити ступінь однорідності суміші. Але головна перевага полягає у скороченні часу, витраченого на увесь цикл виготовлення сумішей.

Процес введення органічних в'язучих також грає значну роль у перемішуванні. Цей ефект можливий при уприскуванні матеріалів. При цьому процес обволікання пришвидшується, а цикл змішування займає менше часу. Найбільша ж ефективність буде досягатися при уприскуванні в'язучих при тиску у 18-20 атм. Тоді обволікання йде дуже швидко, при зберіганні рівномірності, а процес перемішування відбувається всередині бітумного туману. Такий туман допомагає досягнути ударного способу перемішування[5].

При покращенні процесу виготовлення асфальтобетонних сумішей застосовують й спеціальні активатори, наприклад сланцева зола, вапно тощо.

Особлиістю даного методу є утворення процесу адгезії. Адгезія – це процес зціплення активної поверхні з в'язучими речовинами. Така поверхня створюється через застосування активаторів та несе в собі значну енергію.

Проте для активації треба використовувати мінеральний порошок, який збагачений ПАР та попередньо оброблений бітумом. Далі поверхня цього порошку покривається тонким шаром в'язучого. Варто зазначити, що такі мінеральні порошки за своїми властивостями є гідрофобними, а тому сприяють полегшенню усієї технології виготовлення асфальтобетонної суміші[7].

Весь процес активації піску важливий для створення нових активних поверхонь за допомогою віброкульових чи ударно-центробіжних млинів. Вапно може слугувати активатором. Ним можна обробити пісок в процесі механічної дії, але при цьому норма вапна при такій обробці не може бути ніж 4% від усієї маси піску. У такий пісок додають бітум та покривають тонким шаром в'язучого. Завдяки цьому відбувається безпосередньо процес активації. Також відбувається утворення кальцієвого мила на активній поверхні, яке взаємодіє із аніоноактивними речовинами. Такий процес активації піску слугує для



зміцнення асфальтобетонної суміші та для економії ресурсів, зокрема порошку[8].

### 1.3 Альтернативні домішки у виробництві асфальтобетонних сумішей

Згідно дослідження GMC Center, технологічний потенціал використання альтернативних домішок в асфальтобетонних сумішах складає близько 5 мільйонів тон на рік. Це свідчить про великі невикористані можливості у дорожній сфері, а також про наявність ресурсного потенціалу використання таких домішок в Україні[9].

У роботах Крюковської Л.І підіймається питання про доцільність використання доменних шлаків металургійного виробництва в якості заміника природного матеріалу у будівництві дорожнього покриття[9].

Великі поклади залишків металургійної, хімічної чи вугільної промисловості завдають значну шкоду навколишньому середовищу та створює прецеденти щодо екологічної небезпеки в регіонах.

Наприклад, відходи з металургійної сфери утворюються у вигляді різних шлаків, шламу, пилу тощо. Небезпечним є й навантаження цих домішок на атмосферу, ґрунти та підземні води. Також шлакові відходи негативно впливають на здоров'я населення, яке проживає близько до таких відвалів. Цей вплив обумовлений утворенням газів, летких та легкоплавних компонентів чи гарячого пилу. Тому особливістю таких відвалів є як опосередкований, так і безпосередній вплив на людей. Опосередкований вплив полягає у тому, що дроблення шлаку спричиняє виділення пилу та утворення вторинної газації. Безпосередній вплив спричиняє газацію відвалу від скиду туди вторинних матеріалів. Тому постановка задачі полягає у дослідженні ефективності заміни цими шлаками матеріалів асфальтобетонних сумішей чи їх використання у поєднанні з цими компонентами[9].

Екологічна безпека даного методу включає в себе різні показники які дозволять мінімізувати навантаження на природне середовище через заміну деяких складових сумішей.

Таке зменшення навантаження може проявлятися у зниженні рівня забруднення атмосферного повітря, очищення стічних вод чи утилізації даних викидів. Таким чином, екологічна безпека буде полягати у двох видах:

- зниження рівня екологічної небезпеки на металургійних підприємствах за рахунок використання їх відходів при виробництві асфальтобетонних сумішей;
- зниження рівня екологічної небезпеки при виснаженні природних ресурсів шляхом зменшення видобування кам'яних матеріалів.

Основою для дорожнього покриття є саме кам'яні матеріали такі як щебінь, щебенево-піщана суміш тощо. Майже половина вартості дорожнього полотна складає саме вартість кам'яних матеріалів. В роботах Хрутьби В.О, Крюковської Л.І [10] вказується, що при заміні кам'яних матеріалів на відходи металургійного виробництва дає змогу економити приблизно 1000 м<sup>2</sup> каменю на кілометр побудованого полотна. Крім цього інші переваги відходів металургійної промисловості полягають в підвищенні рівня міцності дороги, зниженні енергоємності, спрощенні технології будування дорожнього полотна. Але головні переваги такого методу – це зменшення вартості дорожніх робіт в цілому та зберігання природних ресурсів держави.

Крім цього, необхідно враховувати, що металургійні шлаки повинні мати високі характеристики міцності, аби дорожнє полотно відповідала усім необхідним стандартам. Одним із основних таких показників міцності шлаків при використанні у асфальтобетонних сумішах є активність, тобто визначається границя міцності таких шлаків при їх стиску у водонасиченому стані. Інший параметр – це структурна стійкість шлаків від розпаду. Ці параметри безпосередньо залежать від відсоткового співвідношення оксидів магнію, кальцію, алюмінію, кремнію у шлаках. Саме наявність таких сполук дає можливість використання технологій ремонтування чи будування дорожнього покриття із додаванням шлаків від металургійної промисловості, адже конструкція полотна буде регламентуватися міцністю визначених шлаків.

Проте, варто зазначити що такий варіант залежить, перш за все, від якості отримуваних компонентів. Не усі шлаки та відходи металургійного виробництва

підходять до додавання їх в асфальтобетонну суміш. У своїй роботі Еремін В.Г, Матвеев Е.В та Мазур І.Г [11] наводять приклади, коли в районах із розвинутою металургійної промисловості дорожнє будівництво не використовувала зовсім додавання шлаків в асфальтобетонну суміш, чи частка таких сумішей була незначна.

Така проблема полягає в тому, що проблема шлаків розглядається тільки з точки зору металургійної промисловості, тобто лише як викиди та обтяжливий вихід. Але при необхідній якості шлаків, дорожня сфера може скооперуватися із металургією та допомогти зменшити навантаження на навколишнє середовище.

Інший варіант розглядається як додавання до асфальтобетонної суміші золошлаків.

В роботі Галича С.А[12] зазначається, що використання золошлаків із ТЕС являє собою значне економічне та екологічне значення, оскільки накопичення цих шлаків з часом займає великий об'єм по площі їх зберігання, а їх утримання потребує значних витрат. За одну добу одна ТЕС із потужністю в 1 млн кВт спалює приблизно 10000 т вугля, з якого виділяється приблизно 1000 т різних золошлаків. Щорічно такий об'єм шлаків займає площу в 1 га.

За даними 2009 року тільки в Донецькій області було накопичено 794 млн тон різних відходів, з яких частка золошлаків складала 70%. Грошові витрати на їх зберігання складали 157 млн гривень.

Зважаючи на це, було б доцільно для економії грошових засобів використовувати золошлаки в різних сферах будівельної діяльності, зокрема в виробництві дорожнього полотна.

Однак така технологія для нашої країни є нова, оскільки частка золошлаків у дорожньому будівництві дуже мала. Цей метод потребує врахування та дослідження різних екологічних та економічних факторів.

Необхідно зазначити й інші методи, які пропонуються для підвищення якості асфальтобетонних сумішей.

Одним із таких є використання полімерних порошкових добавок при виробництві асфальтобетону. Основна перевага використання таких добавок полягає в превентивному значенні щодо зменшення чи навіть зникнення ефекту

адгезії між бітумом та щебнем. Це відбувається через щорічне зростання експлуатаційного навантаження на дорожнє покриття, яке призводить до деформації швів чи навіть руйнування полотна. Вищезгадані добавки мають посилити ефект адгезії, що в свою чергу позитивно впливає на термін експлуатації доріг.

Крім цього, розглядається можливість використання полімеромодифікованого бітуму. Такий спосіб впливає з того, що вітчизняне виробництво бітуму значно поступається іноземним аналогам, де виробництво бітуму орієнтовано саме на дорожнє будівництво.

Звідси було придумано метод додавання полімерів чи полімерв'язучих добавок до самого бітуму. В таких добавках в якості основного елементу використовується сополімер. З його додаванням значно зменшується крихкість суміші при від'ємних температурах, а також збільшується пружність опору деформації. Кінцевий результат досягається шляхом підвищення показника зсувостійкості дорожнього полотна.

В працях Данілова та Петрівського[13] вказується підвищення стійкості асфальтобетонної суміші шляхом вибору більш якісного щебня чи піску. Мається на увазі закупівля більш якісних матеріалів закордоном чи в міжнародних постачальників.

Але усі ці методи показують лише економічну ефективність, натомість екологічний ефект в трьох останніх методах незначний чи просто відсутній.

#### 1.4 Функціональні критерії асфальтобетонної суміші

Необхідна асфальтобетонна суміш також має відповідати усім функціональним критеріям. Функціональні критерії – це кількісна характеристика основних показників реалізації дорожнього полотна.

Критерії оцінки дорожнього полотна наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Схема критеріїв оцінки дорожнього полотна [14]

Критерії		
Функціональні	Технологічні	Еколого-економічні
критерій міцності	критерій трудомісткості	критерій збереження природних матеріалів
критерій довговічності	критерій альтернативних матеріалів	критерій витрат на дорожньо-будівельні матеріали

Критерій міцності, в свою чергу, поділяється на свої часткові критерії. Наприклад, проектне конструювання дорожнього полотна враховує допустимий пружний прогин, котрий потім обчислюється за критеріями міцності. Дорожнє полотно прийнято вважати міцним, якщо коефіцієнт міцності за кожним із критеріїв буде більше чи рівним  $K_{\text{мц}}$ , що знайдений з урахуванням необхідного рівня надійності конструкції дорожнього полотна[15].

Міцність дорожнього полотна відповідає усім параметрам надійності за критерієм міцності, якщо виконується умова:

$$K_{\text{мц}} \leq \frac{E_{\text{заг}}}{E_{\text{потр}}}, \quad (1.1)$$

де  $K_{\text{мц}}$  – коефіцієнт міцності дорожнього полотна за критерієм прогину;

$E_{\text{заг}}$  – загальний модуль пружності конструкції, МПа;

$E_{\text{потр}}$  – потрібний модуль пружності конструкції з урахуванням додаткових параметрів, МПа.

Крім цього, необхідно враховувати й неможливість деформації дорожнього полотна від навантаження в підстилаючому ґрунті та малов'язних шарах. Тому має враховуватись така умова:

$$K_{\text{мц(зс)}} = \frac{T_{\text{гр}}}{T}, \quad (1.2)$$

де  $K_{\text{мц(зс)}}$  – коефіцієнт міцності дорожнього полотна за критерієм зсувостійкості в ґрунті;

$T_{\text{гр}}$  – розрахункове активне напруження зсуву в розрахунковій точці конструкції від діючого тимчасового навантаження;

$T$  – гранична величина активного напруження зсуву, перевищення якої викликає порушення.

Необхідно й враховувати, що напруження при прогині полотна від короткочасного навантаження не повинно впливати на утворення тріщин в ньому чи навіть порушенню структури матеріалу (асфальтобетонних сумішей чи інших альтернативних матеріалів)[15]. Для цього також необхідно забезпечити умову:

$$K_{\text{мц(згин)}} \leq \frac{R_{\text{зг}}}{\sigma_{\text{г}}}, \quad (1.3)$$

де  $K_{\text{мц(згин)}}$  – необхідний коефіцієнт міцності з урахуванням заданого рівня надійності;

$R_{\text{зг}}$  – гранично допустиме напруження розтягу матеріалу, шару з урахуванням втоми;

$\sigma_{\text{г}}$  – найбільше напруження розтягу, у розглянутому шарі, що встановлюється розрахунком.

Будь-яке дорожнє полотно завжди обраховується з параметром його надійності, тобто таке полотно повинно показувати свою безвідмовну роботу впродовж часу, який йде між його ремонтами. Коефіцієнт надійності визначає мінімальне значення коефіцієнта міцності, який дорожнє полотно повинне мати аж до закінчення терміну безвідмовної роботи, який нормується з урахуванням типу доріг та їх категорії[16].

Критерій надійності показує чи може дорожнє полотно виконувати усі свої необхідні функції впродовж встановленого часу. Однак цей критерій також є надто узагальненим, тому включає в себе такі часткові критерії:

- довговічність;

- безвідказність (здатність зберігати свою працездатність);
- ремонтпридатність (визначає властивість дорожнього полотна до діагностики та усунення пошкоджень за допомогою ремонту).

Усі вищезазначені функціональні критерії сильно впливають один на одного. Тому їх актуальність та важливість завжди були вищими ніж інші критерії.

Технологічні критерії, в свою чергу, забезпечують економічну ефективність праці при будівництві доріг та їх підготовці до експлуатації.

Критерій трудомісткості будівництва обраховується за формулою:

$$K_T = \frac{P_c}{Q}, \quad (1.4)$$

де  $K_T$  – критерій трудомісткості;

$P_c$  – сумарна трудомісткість проектування, ум.од;

$Q$  – головний показник ефективності, ум.од.

Тобто даний критерій є питомою трудомісткістю виготовлення на одиницю отримуваної ефективності.

Критерій технологічних можливостей показує простоту та принципову легкість будівництва дорожнього полотна.

Відомо, що будь-яке дорожнє полотно має в своєму складі не більше ніж п'ять різних типів матеріалів, а саме  $A_c$  – стандартні чи отримувані у готовому вигляді;  $A_y$  – уніфікованих, тобто отриманих з інших типів будівництва;  $A_{01}$  – природні кам'яні матеріали, при застосуванні яких не виникають труднощі;  $A_{02}$  – альтернативні, які можуть викликати труднощі при своєму застосуванні;  $A_{03}$  – альтернативні, які можуть викликати труднощі, однак які можна легко вирішити.

Отже, критерій технологічних можливостей обраховується за формулою:

$$K_T = \varepsilon \cdot \frac{A_c + k_y \cdot A_y + k_{01} \cdot A_{01} + k_{02} \cdot A_{02}}{A_c + A_y + A_{01} + A_{02} + A_{03}}, \quad (1.5)$$

де  $\varepsilon$  – змінна величина, що дорівнює 1 при  $A_{03} = 0$  чи дорівнює 0 при  $A_{03} > 0$ ;

$k_y, k_{01}, k_{02}$  – вагові коефіцієнти;

$A_c, A_y, A_{01}, A_{02}, A_{03}$  – кількість найменувань відповідних елементів.

Існують й часткові випадки критерію технологічних можливостей – це критерій стандартизації ( $k_y = k_{01} = k_{02} = 0$ ) та критерій уніфікації ( $k_y = 1, k_{01} = k_{02} = 0$ ). Такий критерій показує що необхідно прибрати усі нетехнологічні елементи  $A_{03}$  та допустити мінімізацію в елементах  $A_y, A_{01}, A_{02}$  з врахуванням їх вагових коефіцієнтів. Будь-яка автомобільна дорога має забезпечувати безпеку руху та комфорт транспортних засобів своїми функціональними можливостями увесь час її своєї експлуатації.

До еколого-економічних критеріїв відносяться критерії використання альтернативних матеріалів, витрат матеріалів та габаритних розмірів.

Критерій використання альтернативних матеріалів обраховується за формулою:

$$K_{\text{ва}} = \frac{M_a}{M_k}, \quad (1.6)$$

де  $K_{\text{ва}}$  – критерій використання альтернативних матеріалів;

$M_a$  – маса альтернативних матеріалів, т;

$M_k$  – маса конструкції дорожнього полотна, т.

Критерій витрат матеріалів обраховується за формулою:

$$K_m = \frac{C}{Q}, \quad (1.7)$$

де  $K_m$  – критерій витрат матеріалів;

$C$  – вартість дорожнього полотна, грн;

$Q$  – головний показник ефективності, ум.од.



Критерій габаритних розмірів дорожнього полотна оцінює розміри безпосередньо цього полотна, а також усіх його елементів при використанні інших, альтернативних, матеріалів. Це пов'язано з такими параметрами:

- зміна площі та об'єму дорожнього полотна;
- зміна площі землі, яку це полотно займає.

Критерій габаритних розмірів обраховується за формулою:

$$K_T = \frac{V}{Q}, \quad (1.8)$$

де  $K_T$  – критерій габаритних розмірів;

$V$  – основні габаритні розміри,  $m^2$ ;

$Q$  – головний показник ефективності, ум.од.

Основні габаритні розміри дорожнього полотна вираховуються через зміну площі поперечного перерізу при використанні альтернативних матеріалів:

$$V = B \cdot H. \quad (1.9)$$

Питання необхідного типу конструкції дорожнього полотна, що необхідне для підвищення експлуатаційних параметрів ставиться на стадії проектування або на стадії ремонтування чи будівництва доріг. Прийняття рішення щодо конкретної конструкції можливе після вибору конкретного способу покращення показників дорожнього полотна. Однак таке рішення ґрунтується на основі доведення доцільності вибору того чи іншого матеріалу, а також із теоретичними та практичними розрахунками того, що такий матеріал є оптимальним за таких умов. Фінальне рішення не є повністю правильним, необхідно визначати кожен конкретний випадок разом із багатьма факторами. Тому доречно проводити критеріальну оцінку кожного із матеріалів.

## Висновки до розділу 1

1. Актуальність проблеми визначається великою протяжністю відремонтованих чи побудованих доріг. Усе це призводить до значних викидів в атмосферне повітря та іншого шкідливого впливу на навколишнє середовище. Велику роль відіграє й якість матеріалів, з яких будуються дорожні полотна, однак ця роль до кінця ще не вивчена. Але вчені намагаються встановити залежність хвороб людей, що зайняті в дорожній сфері від сумішей якими вони дихають.

2. Асфальтобетонна суміш починає свій негативний вплив вже на стадії виготовлення на АБЗ. Кожен з етапів її виготовлення завдає впливу на стічні води, шумове забруднення та забруднення в атмосферне повітря. Додавання спеціальних активаторів для швидкого приготування суміші покращує лише економічний показник, але не екологічний.

3. Існує багато різних способів покращення екологічних якостей асфальтобетонної суміші. Найбільш перспективними є використання шлаків металургійної промисловості чи шлакошлакові викиди від ТЕС. Інші альтернативні методи пропонують покращення економічного ефекту. Однак з точки зору екологічного ефекту ці два методи досліджені недостатньо добре.

4. Будь-які альтернативні домішки мусять відповідати усім функціональним критеріям, тобто критеріям трудомісткості, технологічним критеріям та еколого-економічним критеріям. Проте використання альтернативних домішок також має підкріплюватись теоретичними та практичними розрахунками

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ТЕХНІЧНІ УМОВИ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ЗАМІННИКІВ

### 2.1 Хімічні та фізичні властивості альтернативних домішок

Викиди від металургійної промисловості становлять 38% від усієї кількості викидів забруднюючих речовин. Підприємства з виробництва чорної металургії викидають в атмосферне повітря 15% усіх промислових викидів, приблизно 13% загального обсягу споживання води та 8-10% від усіх викидів діоксиду сірки[17].

Відходи з металургійного виробництва складаються з шлаків (57 – 63% усієї маси), металобрухту (15 – 17%), пилу та шламу (9 – 13%), мінеральних відходів (4 – 6%). Більша частина цих відходів – шлаки, які є багатокомпонентними системами та складаються з флюсів, руди, палива, порожньої породи тощо. Шлаки містять в собі різні оксиди змінного складу, такі як  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і  $\text{ZnO}$  та є нестійкими до фізико-хімічних умов земної поверхні. Відомо, що за рік металургійна промисловість дає 4,4 млн. т доменних шлаків, 2,6 млн т сталеплавильних шлаків та 0,829 млн т феросплавів[18,19].

Шлак – це металургійний розплав, який покриває усю поверхню металу під час усіх металургійних процесах (плавка сировини, обробка розплавлених проміжних продуктів, рафінування металів). В залежності від кількісного складу оксидів шлаки поділяються на основні та кислі. Формування шлаку відбувається всередині порожньої породи руди, продуктів окислення, футеровки плавиильних агрегатів, флюсів, золи чи палива[19]. Крім цього, металургійні шлаки беруть участь у фізико-хімічних процесах металургійного виробництва. Вони допомагають очищати метали від домішок чи захищати від процесів окиснення та газонасичення.

Складування шлаків відкритим способом викликає емісію шкідливих речовин в атмосферу, гідросферу та ґрунт. Це означає, що шлакові відвали перетворюються в джерело забруднення навколишнього середовища. Шлакові відвали зазнають впливу з атмосфери, тому вони чутливі до хімічних та фізичних процесів[20].

Головними забрудниками гідросфери в шлаках є сульфіді, які при потраплянні у водне середовище завдають шкоди усій екосистемі, та викликають техногенні аварії.

В залежності від типу утворення, шлаки можуть бути доменними чи електросталеплавильними[21].

Характеристики доменних шлаків залежать від багатьох факторів. Тому різниця між шлаками різних комбінатів полягає у складі, будові, зовнішньому вигляді, механічних та фізичних властивостях. Параметри шлаків корелюються в залежності від вихідних матеріалів, процесу виплавки шлаку та процесу його охолодження. Під впливом часу та під дією вуглекислоти та вологи починаються процеси вапняного та залізного розпаду[19].

Доменні шлаки мають свою міцність стиснення, яка залежить від їх структури. Кам'яноподібні шматки мають міцність на стиснення 150–600 кг/см<sup>2</sup> і більше, тоді як пористі різновиди шлаків мають міцність 50–150 кг/см<sup>2</sup>[22]. Розмір доменних шлаків змінюється в залежності від їх фракції. Найпоширеніші фракції розміром від 5 до 40 мм складають 70% від усієї маси, великі фракції становлять лише 5–10% а дрібні фракції та пил – 25%[21]. Проте гранулометричний склад доменних шлаків може змінюватися від методу розроблення відвалів.

В інших країнах існують технології переробки доменних шлаків на щебінь, однак окремі країни використовують метод гранулювання шлаків. Проте не усі доменні шлаки можливо використовувати у різних сферах діяльності. Наприклад в Британії доменні шлаки високоосновні, тому їх використання обмежується[23].

Застосування доменних шлаків можливе й в виробництві шлакової вати, відливці труб, тротуарного каміння чи бордюрів.

Основним недоліком електросталеплавильних шлаків є непостійність їх мінералогічного та хімічного складу, що безпосередньо впливає на якість шлакової продукції. Крім оксиду заліза, сталеплавильні шлаки можуть містити в собі й вищі оксиди заліза як  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Сірка в таких шлаках знаходиться у вигляді сульфідів чи сульфатів. Окремі шлаки можуть містити в собі оксиди ванадію[24].

Електросталеплавильні шлаки частіше всього представляють собою сплави оксидів із  $\text{SiO}_2$  та складають із них силікатні утворення.

Такі шлаки створюють рафіновану дію та очищають сталь від домішок фосфору та сірки. Паралельно із цим відбувається захист металу від окислення газовою фазою. Також, електросталеплавильний шлак додатково виконує функцію навантажуючого спротиву. Високотемпературний розплав дозволяє зруйнувати футеровку за рахунок її вимивання та розчинення хімічних компонентів цієї футеровки[25].

З розплаву металу до шлаків переходять й різні корисні елементи, що викликає підвищену витрату добавок. Тому до сталеплавильних шлаків додатково додаються різні фізико-хімічні вимоги[25]. Шлак повинен мати високу рафіновану здатність, низьку в'язкість, рідкорухомим, бути інертними до футеровки печі.

Основними виробниками шлаків в Україні є ОП «Укрметалургпром», до складу якого входять наступні підприємства:

- ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат»;
- ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»;
- ПАТ «ММК ім. Ілліча»;
- ПАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь»;
- ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь»[26].

Наприклад, тільки «Запоріжсталь» утворює за рік приблизно 200 тис т шлаків, з яких більше половини придатні до вторинної переробки та використання[27].

За результатами досліджень було встановлено що шлаки мають споживчу цінність, тому їх збирання замість складання призведе до підвищення економічних показників. Також вирішується нагальні екологічні проблеми як забруднення водою та ґрунту, викидів в атмосферне повітря[28].

Головним споживачем шлаків металургійного виробництва є цементна промисловість. Дослідження показали, що частка шлаків, яка може бути використана у поєднанні із портландцементом, досягається на рівні 35%, а частка шлаків у поєднанні із шлакопортландцементом може бути й майже 80%.

Додавання доменних шлаків в сировинну суміш може принести зниження витрати палива приблизно на 15% а також значно знизити собівартість. Крім економічних ефектів додавання шлаків в якості добавок призводить й до покращення будівельних можливостей суміші[29].

При проведенні аналізу властивостей доменних та сталеплавильних шлаків, було виявлено що їх споживча цінність дозволяє поєднання для подальшого виготовлення сировини яка б використовувалася в дорожній сфері. Тому значення шлакопереробки для металургії повинно зростати[28].

За рахунок використання металургійних шлаків в дорожньому виробництві можна досягти зниження використання сировини, а також запобігти забрудненню атмосферного повітря, ґрунтів та водойм[28].

Більшість промислових відходів, які можуть бути використані в якості альтернативного замітника для виробництва асфальтобетонних сумішей не мають достатньої теоретичного чи практичного обґрунтування для такого залучення. Тому при виборі найбільш доцільного альтернативного замітника треба враховувати різноманітність фізико-хімічних процесів, що можуть відбуватися під час циклу експлуатації дорожнього полотна(водонасичення, зміна температури, деформація полотна тощо).

Особливістю металургійних шлаків є їх неоднорідність та варіативність за розмірами, критеріями міцності та фізико-хімічними властивостями. Донедавна це вважалося істотною проблемою, однак подальші дослідження показали, що саме за рахунок різноманітності можна застосовувати шлаки як компоненти для виробництва та заміни будівельних матеріалів[30].

Цінність шлаку для виготовлення з них асфальтобетонних сумішей та області їх застосування визначаються через гідравлічну активність, який описується модулем основності, модулем активності та коефіцієнтом якості.

Важливим параметром оцінки металургійних шлаків є його відношення до групи величини модуля основності. Модулі основності поділяються на 5 груп:

- високоосновні ( $M_o > 2,5$ );
- основні ( $M_o = 1,5 - 2,5$ );
- середні ( $M_o = 1,0 - 1,5$ );

- кислі ( $M_o=0,5-1,0$ );
- ультракислі ( $M_o<0,5$ ).

Активні шлаки повинні мати модуль основності не більше за 0,25[31].

Основна фаза металургійних шлаків складається з алюмосилікатів, що складаються з певних відсоткових часток  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ . Температура понад 1300 °C знижує рівень в'язкості розплаву, а при нижчих температурах в'язкість різко зростає. На саму ступінь в'язкості впливають оксиди магнію, мангану та феруму. Для підвищення ступеню в'язкості збільшують частку кремнезему в суміші до показника вище за 40% та додавання оксиду алюмінію. Натомість для зниження ступеня в'язкості використовують газові включення[31].

При будівництві автомобільних доріг необхідно враховувати технологічні та економічні параметри використання шлакових матеріалів для їх залучення в будь-які будівельні роботи. Суміші з металургійних шлаків можуть заміняти шар щебеневої суміші та використовуватися для укріплення узбіччя, приготуванні асфальтобетонних сумішей чи влаштуванні шорстких поверхневих обробок покриттів[32].

Лабораторні дослідження вчених показали що в якості альтернативного заміника з металургійних шлаків найкращим варіантом буде їх заміна шару з щебеневої суміші[33]. При використанні щебеневої суміші в основі дорожнього полотна спостерігається явище зношування даного шару, що призводить до порушення стійкості та міцності усєї конструкції дорожнього полотна. Тому металургійні шлаки розглядаються в якості альтернативного заміника, адже лише пікове значення міцності шару з металургійних шлаків досягається тільки на п'ятий рік експлуатації дороги.

Крім цього, економічний аналіз показує, що шлакова суміш буде обходитися майже вдвічі дешевше ніж щебенева суміш, а також потребує в 4,5 рази менше капітальних вкладень. С.В Арестов та Т.П Галушкин розрахували нормативно-технічні параметри доменних та сталеплавильних шлаків[34]. Вияснилося, що такі параметри вдвічі перевищують нормативно-технічні параметри продукції із щебеневої суміші. Також, одним із важливих аргументів

щодо доцільності використання металургійних шлаків є можливість появи енергетичної кризи, оскільки металургійні шлаки потребують майже в 4 рази менше енерговитрат у порівнянні із рівноцінною щебеневою сумішшю.

Дослідження С.О Мясникової проводилися для визначення композиційних матеріалів для поверхневої обробки покриття автомобільних доріг на основі суміші з металургійних шлаків[35]. В дослідженні використовувалася шлакова суміш разом з додаванням бітумоплімерних в'язучих. За результатами досліджень було визначено що доменні та електросталеплавильні шлаки задовольняють усі необхідні вимоги, та можуть використовуватися в якості альтернативного заміника природних матеріалів для поверхневої обробки автомобільних доріг.

При аналізі металургійних шлаків усіх металургійних комбінатів України було визначено, що усі металургійні комбінати можуть постачати шлакову сировину для подальшого перетворення в альтернативний заміник в асфальтобетонній суміші. Проте треба розуміти для яких категорій доріг та в яких конструктивних шарах дорожнього полотна необхідне їх застосування. Наприклад, шлакова суміш з південних заводів та комбінатів не може використовуватися для альтернативного заміника верхнього шару дорожнього полотна. Це відбувається через показники подрібнюваності шлаків у 20 – 40% та через зношування в поличному барабані в межах 30 – 55%[35].

Але в той же час металургійні шлаки демонструють високий показник активності (4-8 МПа). Тому у зв'язку із їх використанням та з використанням їх в'язучих властивостей при будівництві дорожнього полотна та заміни цими шлаками щебеневого шару, дають можливість отримувати більш міцні, економічні та екологічні конструкції дорожнього полотна[24].

Шлаки з виробництва кольорової металургії мають певні відмінності у порівнянні із шлаками доменної та сталеплавильної металургії. Їх можна використовувати для виробництва щебених основ, проте для приготування асфальтобетонних сумішей на основі щебня та піску треба окремо додавати й шлаки з мідно-нікелевого виробництва[36].



Застосування металургійних шлаків як альтернативного замітника для приготування асфальтобетонної суміші є одним із головних напрямків щодо зниження рівня матеріаломісткості для дорожньо-будівельної сфери. В цей момент, зниження обсягів використання природної сировини для виробництва щебеневої суміші, а також зниження витрат металургійних комбінатів на утилізацію шлакових відходів дає приріст в економічному та екологічному значенні.

Таким чином, аналіз щодо доцільності використання доменних та сталеплавильних шлаків з металургійного виробництва свідчить про придатність та раціональність використання даного матеріалу для дорожнього будівництва. Будівництво, модернізація чи ремонтування автомобільних доріг потребує великого обсягу матеріалу, тому використання суміші з металургійних шлаків несе в собі й економічні переваги, а також підвищення ступеню екологічної безпеки.

БІТРЕК – це композиційно в'язуча речовина, що включає в свій склад дисперсну резину, яка оброблена за спеціальною хімічною технологією. Завдяки даній обробці, індивідуальні частинки резини, що присутні в кількості від 10 до 16% в порівнянні до усієї маси суміші, можуть рівномірно розподілятися та створювати стійку гетерогенну сітчасту структуру, яка не втрачає свої властивості навіть при розплавленому та гарячому в'язучому. Не розчинені частинки резини, попередньо набухають в рідких масляних фракціях бітуму, далі поєднуються між собою та високомолекулярними компонентами бітуму, залишаючись при цьому частково поверхнево девулканізовані. Поєднання цих часток із бітумом можливе при допомозі полімерних фрагментів (тобто каучукові ланцюги) різних довжин та природи утворення. При цьому резинові компоненти займають увесь об'єм в'язучого, в якому складають частку до 50-60%. Крім цього, додаткова хімічна обробка приєднує активні полярні групи до даних високомолекулярних частинок. Це підвищує високі адгезійні, тобто клейні властивості, а також сильно структурує його[37].

Резинобітумне в'язуче БІТРЕК має складну молекулярну будову. Воно було створене для того, аби нівелювати деякі негативні властивості нафтових

бітумів в якості в'язучих, та надати асфальтобетонним сумішам нові, операційні, функціональні та експлуатаційні властивості. Однак оскільки основна частина в'язучих властивостей виконує резина, доцільніше назвати таку асфальтобетонну суміш резиноасфальтобетоном[38].

Виготовлення бітумнорезинового в'язучого визначається як однорідна суміш окисленого дорожнього бітуму з дрібнодисперсній крихти з резини загального вжитку, яка потім отримується через спеціальну хімічну обробку. При цьому такі частини резини не розкладаються повністю, а зв'язуються з компонентами рухливими, але міцними хімічними зв'язками та проявляють свої якості вже в складі нового матеріалу. В порівнянні зі звичайними бітумами, нові в'язучі мають в собі корисні властивості двох різних компонентів (головним чином це резина), неоднорідна за фазовим та хімічним складом да за своєю природою відносяться до композиційних матеріалів. В їх складі бітум виконує функції рідкої чи псевдорідкої термопластичної матриці, а резина в свою чергу створює пружний силовий каркас в об'ємі в'язучого[38].

При наявності вищезгаданої хімічної зшитой молекулярної структури в'язучого, яка наявна як в бітумі, то і в резині небезпечні та токсичні з'єднання замкнуті в полімерну сітку та хімічно зв'язані, а тому їх виділення неможливе чи дуже складне. Санітарно-гігієнічні випробування підтверджують, що в'язучі саме такої структури виділяють значно меншу кількість токсичних речовин у порівнянні із бітумом, та відповідають необхідним екологічним вимогам[39].

Хімічна технологія, по якій виробляються дані в'язучі, оснований на додаванні у суміш бітуму з резиновою крихтою спеціальних реагентів-каталізаторів, які регулюють радикальні процеси деструкції та зшивання каучукових ланцюгів резини та високомолекулярних компонентів бітуму. Це відбувається при створенні в об'ємі бітуму та на поверхні часток резинової крихти умов для хімічно ініційованій ступенево радикальній полімеризації в режимі «живих» ланцюгів. В результаті частки резини об'єднуються як поміж собою, так і з високомолекулярними компонентами бітуму в гетерогенну, армовану, полімерну просторову структуру за допомогою достатньо міцних хімічних зв'язків. Полярні молекулярні групи, які вводяться у великій кількості

в хімічну структуру матеріалу в процесі його виготовлення, забезпечують стабільність усієї дисперсної гетерогенної системи[39].

Однією з головних цілей при розробці нового композиційного в'язучого БІТРЕК було створення з його допомогою спрощення процесу введення в склад асфальтобетонної суміші більшої кількості дисперсної резини, котра повинна забезпечувати ефективне та функціональне полімерне дисперсне-еластичне армування (ДЕА). Властивості, які присутні у в'язучому БІТРЕК дозволяють пов'язати частинки резини із мінеральними компонентами асфальтобетонної суміші тіснішими та міцнішими хімічними зв'язками, значно підвищити когезійну міцність безпосередньо в'язучого матеріалу. Однак при цьому повністю реалізуються високі властивості міцності в'язучого, яке буде впливати на модуль пружності усієї конструкції асфальтобетону. В асфальтобетоні з'являється висока стійкість до циклічних деформацій стиснення та зсуву, значно збільшується пружна складова деформації, знижується повзучість, сильно покращується деформація при низьких температурах, стійкість до утворення тріщини будь-якого походження, теплостійкість та водостійкість. Приблизно така ж технологія використовувалася при створенні ударостійких пластмас[37].

Високий ступінь ДЕА призводить до значного підвищення демпфіруючих властивостей покриттів через введення низькомодульних частин резини до структури асфальтобетону. В якості ефекту позначають зниження рівня шуму при їзді автотранспорту на визначеному дорожньому полотні.

БІТРЕК, отримані за вищезгаданою технологією, мають підвищену стійкість до старіння під впливом агресивних факторів навколишнього середовища. Це пов'язано із впливом дрібнодисперсних частинок резини та осаду різного призначення в її складі. По-друге, с додатковим введенням в бітумну основу в'язучого ряду компонентів, котрі були загублені в ході процесу нафтопереробки та наявність яких створює умови для хімічної репарації пошкодженої молекулярної структури в'язучого. Резина у вигляді дрібнодисперсних частинок та частково зшитих каучукових молекул є субстратом, за допомогою якого й відбуваються ці процеси та завдяки якому становиться можливим процес на подібні повернення до властивостей природніх

нафт та бітумів. За рахунок свого складу та структури в'язуче стійка до впливів високих технологічних температур, а також має низьку деформацію при низькій температурі. Резинова крихта в композиційно в'язким матеріалі (не менше за 7% від загальної маси) виступає в ролі частинок полімерного компоненту, який в асфальтобетонах виконує функцію полімерного дисперсного та еластичного армування. Виявлено, що БІТРЕК має високу стійкість до циклічних навантажень, які виникають при дорожньому русі[40].

Виготовлення в'язучих шляхом хімічного поєднання бітуму з резиновою крихтою по вищевказаній технології, як правило, призводить до таких результатів у порівнянні із вихідними бітумами:

- зменшення пенетрації;
- збільшення температури пом'якшення бітумного в'язучого та деяке зниження температури крихкості (розширення температурного інтервалу пластичності);
- відбувається покращення фізико-механічних параметрів бітумного в'язучого;
- значне покращення зчеплення бітумного в'язучого з поверхнею мінерального матеріалу;
- пом'якшення після прогріву змінюється на протилежне[39].

В цілому, у порівнянні з вихідними бітумами, відбувається значне покращення фізико-механічних властивостей бітумного в'язучого, а також покращення його адгезії до мінеральних компонентів асфальтобетону.

До композиційно бітумнорезинових в'язучих, у зв'язку з присутніми в них специфічними властивостями та у відповідності до вказаних положень, необхідно застосовувати більш високі вимоги, аніж до дорожніх бітумів, по таким показникам як температура пом'якшення, температура крихкості та розтягнення при 0 °С, тобто по параметрам, які визначають підвищену стійкість до змін у навколишньому середовищі та змін в температурі навколишнього середовища[38].

Введення показника еластичності при низьких температурах також присутнє тільки у новій суміші БІТРЕК, та не наявне в дорожніх бітумах.

Величина цього параметру, що характеризує пружність композиційного в'язучого достатня, аби забезпечити релаксацію виникаючих в асфальтобетонних покриттях циклічних деформацій.

Крім того, в обов'язковому порядку в склад технічних умов необхідно включити показник зчеплення, як один із найважливіших експлуатаційних показників, що контролює стійкість зв'язків в'язучого з мінеральною поверхнею в умовах впливу води на них.

Оскільки нові в'язучі є композиційними та складаються з гетерогенних включень резинових частинок, необхідно ввести й показник максимальних розмірів неоднорідності в складі в'язучого, котрі напряду пов'язані з розподілом частинок використаної резинової крихти по розмірам та однорідності її розподілу в об'ємі в'язучого[36].

З врахуванням усіх цих положень необхідність використання відповідних марок БІТРЕК корегується із необхідними технічними умовами для кожної з них.

Таблиця 2.1 – Технічні умови для БІТРЕК за видами марки

Показник	Норма для марок		
	БІТРЕК 90/130	БІТРЕК 60/90	БІТРЕК 40/60
Глибина проникання голки, при 25 °С	91-130	61-90	40-60
Температура пом'якшення, °С, не нижче за	50	52	56
Температура крихкості, °С, не вище за	-24	-20	-15
Розтягнення, см.	14	12	10
Змінення температури після прогрівання, °С	5	5	5
Температура спалаху	250		
Еластичність, %	30	30	30
Адгезія	хороша (75%)		
Розміри часток, мм.	3		

В складі в'язучих використовується дрібнодисперсна крихта із резин загального вжитку, в тому числі отримувана дробленням вживаних автомобільних шин та іншого транспорту. Крихта повинна мати розміри частинок в діапазоні від 0,2 до 0,6 мм та відповідати усім необхідним технічним умовам. Резинова крихта в готовому в'язучому повинна бути розподілена рівномірно, не повинно бути непокритих бітумом частинок. Повинна бути відсутність шарів резинової крихти та сторонніх включень. Склад резинової крихти за масою повинен бути не менше ніж 7% від загальної маси. Необхідно врахувати, що покращення зчеплення в'язучого з поверхнею мінерального матеріалу значно зростає при введенні у вихідний бітум не менше ніж 6% резинової крихти[37].

Резинова крихта у складі в'язучого БІТРЕК в асфальтобетонах виконують функцію полімерного дисперсного та еластичного армування, що підвищує їх стійкість до навантажень від автомобільного транспорту та підвищує реальну довговічність у 5-10 разів.

Інші переваги технології БІТРЕК:

- асфальтобетони на в'язучим БІТРЕК компонують в собі високу міцність та спротив до рухомих деформацій при високих експлуатаційних параметрах, що різко знижує колієутворення у покриттях;
- частинки резинової крихти в структурі асфальтобетону слугують центрами гальмування та зупинки поширення усіх різновидів тріщин, тому такі асфальтобетони мають високу стійкість до утворення тріщини при низьких температурах;
- завдяки унікальним адгезійним та захисним якостям в'язучого БІТРЕК, асфальтобетони відрізняються високою стійкістю до води, техногенним та кліматичним впливам, в тому числі до сучасних реагентів проти заledenіння;
- дорожні полотна із шару суміші на основі БІТРЕК понижають рівень шуму від автомобільного транспорту;
- в'язучі БІТРЕК надає асфальтобетонним покриттям високу ступінь зчеплення з колесами автомобілей, що допомагає у зниженні гальмівного шляху та підвищенні безпеки руху[37].

Готове в'язуче БІТРЕК при виготовленні ДЕА-резиноасфальтобетонної суміші використовуються на АБЗ так само, як і дорожній бітум. Єдиним нюансом є врахування підвищеної, в порівнянні із бітумом, в'язкості в'язучого.

Золошлаки – це продукти комплексного термічного перетворення гірських порід та спалення твердого палива. Властивості та склад золошлаків головним чином залежить від хімічного складу вугля, технології спалювання та способу їх видалення з камер сгорання[41].

Властивості тих чи інших золошлаків визначаються завдяки їхнього хімічного складу, котрий головним чином залежить від складу твердого палива. Оскільки мінеральний склад вугля в місцях їх видобутку неоднорідний, існують деякі коливання хімічного складу та властивостей золошлаків ТЕС (табл.2.2).

Таблиця 2.2 – Класифікація золошлаків [41]

Вигляд	Різновид	Склад елементів, % за масою			
		CaO + MgO	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO + R <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
І – високий вміст кальцію	І-а Високосульфатні	не менш 20	–	–	не менш 5
	І-б Низькосульфатні				менше 5
ІІ – низький вміст кальцію	ІІ-а Кислі	менше 20	не більше 70	не менш 10	–
	ІІ-б Надкислі		більше 70	менше 10	

Фазово-мінералогічний склад золошлаків включає в себе неорганічну та органічну складову. Неорганічна фаза золошлаків складена кристалічною складовою та аморфізованою речовиною. Причому аморфна фаза включає аморфізовану глинисту речовину і зольне скло з ферроалюмосілікатним складом. Кристалічну складову складають первинні мінерали у вигляді частково оплавлених зерен кварцу або польового шпату, а також новостворені мінерали в процесі спалювання - муллит, гематит, магнетит, корунд тощо. Золошлаки мають в складі і органічну частину, представлену вуглистими залишками. Більшість

мінеральної складової («порожньої породи») паливного вугілля представлені породоутворючими компонентами, що мають монтморіллонітовий, каолінітовий та гідрослюдинний характер[42].

Слід особливо відзначити, що в процесі зберігання золошлаків в золовідвалі розчинні речовини практично повністю вимиваються з його складу. Результатом такого перетворення є не агресивність до будівельних конструкцій на основі цементів, бітуму тощо.

Аналіз фазово-мінералогічного і хімічного складів свідчить, що золошлаки представлені стійкими сполуками і мінералами, які не зазнають різних видів розпаду під впливом погодно-кліматичних факторів і механічних впливів[43].

Золошлаки складаються з комбінації зол-виносу і паливного шлаку, які мають принципові відмінності у своїй структурі.

Частинки зол-виносу в основній масі мають сферичну або близьку до неї форму в поєднанні з гладкою осклованою поверхнею. Однак золи не завжди складені однорідними частинками. Частина їх складається цілком зі скла, деякі мають у середній частині включення мінералів або коксових зерен. Зустрічаються і порожнисті скляні кульки (так звана мікросфера), утворені в результаті попадання бульбашок повітря в розплав перед застигання. Розмір частинок варіюється в межах від 3 до 150 мкм[42].

У процесі згоряння можуть утворюватися склоподібні частки шлаку і зол неправильної або губчастої форми, а також з ядром з кристалічних речовин. Великі фракції золошлаків містять агрегати, отримані шляхом злипання безлічі окремих зерен (як правило, такі структури неоднорідні і мають невисоку міцність) або шляхом агрегації розплаву в нижній частині котлів. Шлакові частки можуть бути двох різних видів: шлак, отриманий в системі рідкого шлаковидалення та шлак, що отримується в системі з твердим шлаковидаленням[44].

Перший різновид, як правило, має губчасту форму, утворену, по-перше, дифузією кисню в процесі горіння, як до поверхні частинки, так і всередині частинки після утворення на її поверхні зольної оболонки. По-друге, через наявність у вугільному паливі мінеральних залишків і органічних включень в



процесі їх дегідратації і дисоціації утворюється газоподібна фаза. За рахунок її зростання відбувається спучування зольної частки, що знаходиться в піропластичний стані і утворюються закриті і відкриті пори. Пористі частинки такого шлаку характеризуються високим водопоглинанням.

Шлакові частки з системи рідкого шлаковидалення агрегують в зерна більш правильної форми без великої кількості пір і мають гладку поверхню. За рахунок цього матеріал менш схильний до водонасичення, має більш високу міцність на стиск і зазвичай утворює більші частки шлаку[45].

Подібна форма частинок істотно впливає на фізико-механічні характеристик золошлаків. У порівнянні з низькоміцними частинками пористого шлаку, використання щільного шлаку викликає знижені осадки в умовах первинного навантаження, хоча відсутність великого числа відкритих пір не забезпечує структурного зчеплення в матеріалі[46].

В ущільнених золошлаках, що містять пористий шлак і велике число сплавлених агрегатів, спостерігається наявність структурного зчеплення між частинками і агрегатами. Це не відзначається в природних глинистих ґрунтах і золошлакаї з щільним шлаком. Зчеплення в зразках матеріалу зберігається навіть при повному водонасиченні[47].

За рахунок великої кількості структурних зачеплень і високою зв'язності в ущільненому стані такий золошлак менш схильний до бічного розширення. Це призводить до концентрації вертикальних напружень в такому масиві.

Така поведінка для золошлаків з щільним шлаком не характерно, оскільки його частинки мають форму близьку до гравелистого піску, що не володіє зв'язністю. Наявність великої кількості великих і гладких агрегатів повинно створювати структуру з пустотами між великими частками, в яких передача тиску на дрібні частинки практично відсутня. В такому випадку механізм розподілу напруг буде схожий з іншими зернистими середовищами, хоча і буде мати особливості, пов'язані з відмінністю техногенного ґрунту від природного[49].

Високе число пір в шлакових і зольних частинках обумовлює підвищену водоутримуючу здатність, що дозволяє золошлакам поглинути більшу кількість

вологи, не втрачаючи несучу здатність. Ця причина зумовлює і підвищене значення оптимальної вологості в цьому техногенному ґрунті.

Висока мікро- і макропористість впливає на особливості тепломасопереноса в золошлаках. За рахунок дрібних ізольованих пір золошлакові суміші можуть виступати як утеплювач, теплопровідність якого значно нижче, ніж у природного ґрунту. Ці особливості в істотному ступені впливають на криогенні процеси в шарі золошлаку, що має забезпечувати з одного боку меншу глибину промерзання, а з іншого, меншу деформацію морозного обдимання земляного полотна відсипаного з цього техногенного ґрунту[48].

Прийнята технологія видалення сприяє утворенню в зоні розтікання на надводному укосі окремих руслових потоків, що призводить до неоднорідності характеристик золошлаків по довжині фронту наміву і по глибині масиву.

Тверда фаза золошлакової пульпи осідає на надводному укосі наміву і в отстойном ставку. Освітлена вода зі ставка потрапляє в водозбірні колодязі і повертається для повторного використання. Така технологія наміву призводить до утворення в зоні розтікання на надводному укосі окремих руслових потоків, що зумовлює неоднорідність характеристик золошлаків по довжині фронту наміву і по глибині масиву[49].

Необхідність оцінки ступеня неоднорідності золошлаків в золовідвалах пов'язана з істотним розкидом гранулометричного складу суміші по площі наміву. Ця неоднорідність може вплинути на розрахункову величину механічних показників цього техногенного ґрунту при проектуванні асфальтобетонного шару з золошлаків.

Облік неоднорідності можна виконувати декількома шляхами:

- ухвалою значної кількості досліджень механічних властивостей золошлаків конкретного золовідвалу для статистичної обробки і визначення коефіцієнта запасу міцністю за матеріалом для конкретного відвалу;
- оцінкою всіх можливих значень механічних параметрів золошлаків конкретного класу і застосування до них єдиного коефіцієнта запасу міцності, що враховує весь спектр неоднорідності гранулометричного складу;

- виявом механічних параметрів золошлаків як функції гранулометричного складу і шляхом його прогнозування визначати закономірності зміни механічних параметрів ЗШС;
- зниженням неоднорідності технічними засобами при розробці відвалу або підготовці матеріалу на ділянці будівництва[46].

## 2.2 Розрахунки параметрів альтернативних домішок

Для комплексного оцінювання екологічної та економічної переваги альтернативних матеріалів в асфальтобетонній суміші слід сформувати усі можливі варіанти заміщення первинного шару щебеневої суміші, а також їх необхідні обсяги.

Головні показники властивостей дорожнього полотна схильні до тенденції монотонної зміни чи до тенденції підтримання, залишаючись при цьому на певному рівні при досягненні власної межі. Тому за такими параметрами можливо визначити міру досконалості та прогресивності. Ці параметри називають критеріями оцінювання ефективності від заміщення альтернативними матеріалами шару щебеневої суміші в конструкції дорожнього полотна, та визначаються одночасно я показники критеріїв розвитку і якості[50].

Потрібно врахувати, що при виборі даних критеріїв ефективності слід забезпечувати необхідні показники якості в дорожньому полотні, які характеризуються функціональними, технологічними, екологічними та економічними критеріями[51].

Функціональні критерії означають переваги в міцних характеристиках альтернативних домішок, зокрема їх активність. Активність – це границя міцності при стиску зразків у водонасиченому стані у віці 28 діб, МПа ( $R_{28}$ )[52].

При використанні альтернативних матеріалів при будівництві, модернізації чи ремонту автомобільних доріг доцільніше використовувати матеріали, які мають високі показники активності.

Технологічні критерії позначають як критерії технологічних можливостей так критерій трудомісткості. Критерій технологічних можливостей оцінює переваги альтернативних матеріалів у конструюванні та будівництві дорожнього полотна через зменшення складності та принципової можливості такого конструювання взагалі. Критерій трудомісткості показує наскільки можна скоротити працю при будівництві, модернізації чи ремонті дорожнього полотна.

Екологічні критерії означають критерій використання альтернативних матеріалів у порівнянні із первинними асфальтобетонними сумішами, а також показує наскільки зменшиться навантаження на довкілля від них[51].

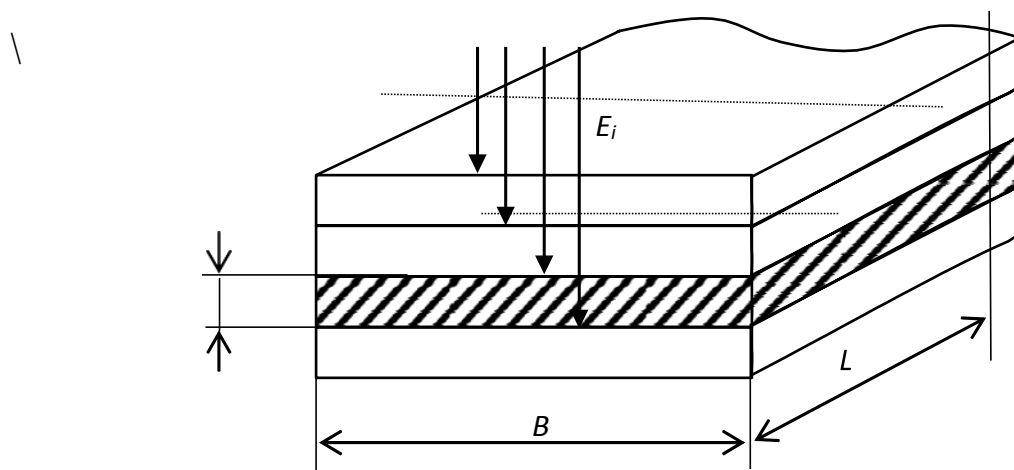
Економічні критерії показують витрату матеріалів, собівартість продукції та економія вартості замінників у порівнянні із первинними асфальтобетонними сумішами.

Проте перед обрахунками даних критеріїв необхідно вирахувати модуль пружності потрібної домішки ( $E_{ш}$ ), що залежить безпосередньо від активності шлаків та ступеню його активності  $R_{28}$ [50].

Згідно нормативів ВБН В.2.3-218-186-2004 необхідно враховувати:

- значення розрахункового модуля пружності нежорсткого типу дорожнього полотна (пружність щебеневого шару приймають в діапазоні від 150 до 200 МПа, а сумішей від 200 до 300 МПа. Такі діапазони є мінімально допустимими та оптимальними, більші значення потрібні для більшої стійкості структури проти розпадів;
- значення розрахункового модуля пружності жорсткого типу дорожнього полотна (пружність щебеневого шару приймають в оптимальному діапазоні від 350 МПа до 450 МПа)[52].

Згідно вищезазначених вимог можна розрахувати оптимальну висоту шару альтернативного замінника в конструкції дорожнього полотна.



$E_i$  – модуль пружності,  $h_i$  – висота шару,  $L$  – довжина дороги,  $B$  – ширина дороги

Рис. 2.1 – Схема конструкції дорожнього полотна

Висота потрібного шару альтернативного замітника вираховується через відношення висоти шару первинної суміш та її модуля пружності до модуля пружності альтернативного замітника:

$$h_{\text{ш}} = \frac{h_{\text{м}} \cdot E_{\text{м}}}{E_{\text{ш}}}, \quad (2.1)$$

де  $h_{\text{ш}}$  – товщина шару з альтернативного замітника, м;

$h_{\text{м}}$  – товщина шару з МШ та природнього матеріалу, м.

$E_{\text{ш}}$  – модуль пружності шару з МШ, МПа;

$E_{\text{м}}$  – модуль пружності шару з природнього матеріалу, МПа.

Міцність дорожнього полотна потрібно оцінювати за такими параметрами:

- пружний прогин;
- зсувостійкість;
- згин монолітних шарів.

За допустимим пружним прогином виконується попереднє конструювання дорожнього одягу, яке потім розраховується по критеріях міцності.

Критерій міцності шару дорожнього полотна дорівнює:

$$K_{\text{мц}} = \frac{E_{\text{м}}}{E_{\text{ш}}} \leq 1, \quad (2.2)$$

де  $E_{\text{ш}}$  – модуль пружності шару з МШ, МПа;

$E_{\text{м}}$  – модуль пружності шару з природнього матеріалу, МПа.

Наступним етапом буде визначення економічних показників, а саме критеріїв трудомісткості та відносних витрат.

Критерій трудомісткості визначається як відношення маси природнього матеріалу, яку необхідно використати для будування щебеневого шару асфальтобетонної суміші, до маси альтернативних замінників.

$$K_{\text{т}} = \frac{m_{\text{ш}}}{m_{\text{м}}}, \quad (2.3)$$

де  $m_{\text{ш}}$  – маса замінного матеріалу, т;

$m_{\text{м}}$  – маса природнього матеріалу, т.

$$m_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot \rho_{\text{ш}}, \quad (2.4)$$

де  $V_{\text{ш}}$  – об'єм замінного матеріалу, м<sup>3</sup>

$\rho_{\text{ш}}$  – насипна щільність замінного матеріалу, г/см<sup>3</sup>

$$m_{\text{м}} = V_{\text{м}} \cdot \rho_{\text{м}}, \quad (2.5)$$

де  $V_{\text{м}}$  – об'єм природнього матеріалу, м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{м}}$  – насипна щільність природнього матеріалу, г/см<sup>3</sup>.

$$V_{\text{м}} = h_{\text{м}} \cdot b \cdot k \cdot L, \quad (2.6)$$

де  $h_m$  – товщина шару природнього матеріалу, см;

$b$  – ширина смуг в залежності від категорії доріг, м;

$k$  – кількість смуг руху в залежності від категорії доріг, шт;

$L$  – довжина ділянки в залежності від категорії доріг, м.

$$V_{ш} = h_{ш} \cdot b \cdot k \cdot L, \quad (2.7)$$

де  $h_{ш}$  – товщина шару замінного матеріалу, см;

$b$  – ширина смуг в залежності від категорії доріг, м;

$k$  – кількість смуг руху в залежності від категорії доріг, шт;

$L$  – довжина ділянки в залежності від категорії доріг, м.

Критерій відносних витрат дорівнює відношенню вартості матеріалу шару основи дорожнього одягу з замінників до вартості матеріалу шару з природних матеріалів.

$$K_B = \frac{m_{ш} \cdot C_{ш}}{m_m \cdot C_m}, \quad (2.8)$$

де  $m_{ш}$  – маса замінного матеріалу, т;

$m_m$  – маса природнього матеріалу, т.

$C_{ш}$  – вартість замінного матеріалу, грн/т;

$C_m$  – вартість природнього матеріалу, грн/т.

Критерій екологічності використання альтернативних матеріалів в асфальтобетонній суміші визначається як відношення необхідної маси шару основи альтернативного матеріалу до загальної маси конструкції дорожнього полотна.

$$K_{ек} = \frac{m_{ш}}{m_{загКДП}}, \quad (2.9)$$

де  $m_{ш}$  – маса замінного матеріалу, т;

$m_{загКДП}$  – маса природнього матеріалу, т/км.

Таким чином порівняльний аналіз за функціональними критеріями дає змогу оцінити усі переваги чи недоліки вибору замітника щебеневого шару в асфальтобетонній суміші в конструкції дорожнього полотна.

### 2.3 Навантажувально-розвантажувальні роботи

Навантажувально-розвантажувальні роботи – спеціальний комплекс заходів, які направлені на підняття різноманітних вантажів з метою їх як навантаження, так і розвантаження за допомогою живої сили чи з використанням спеціалізованої техніки[52].

Під розміщенням вантажу мається на увазі його розміщення (тобто на транспортному засобі, на спеціальних площадках, на складах, у вагони, в елеватор тощо) та кріплення в тому випадку, коли це є необхідним.

У випадку використання альтернативного замітника щебеневого шару в асфальтобетонній суміші необхідно враховувати й викиди в атмосферне повітря під час процесу навантаження-розвантаження. Це необхідне для повного підрахування екологічності кожного із альтернативних заміників, а також допоможе й вирахувати втрату матеріалу.

Для розрахунку викидів під час навантаження-розвантаження треба враховувати такі фактори, як метеоумови, крупність матеріалу, його вологість, місце зберігання тощо. Всі ці аспекти складають показник забруднення навколишнього середовища від альтернативних заміників щебеневого шару.

$$q = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot B^1 \cdot g \cdot 10^6}{3600}, \quad (2.10)$$

де  $q$  – викиди під час процесу навантаження-розвантаження, г/с

$K_1$  – вагова доля пилової фракції



$K_2$  – частка пилу, що переходить в аерозоль

$K_3$  – місцеві метеоумови

$K_4$  – місцеві умови пилоутворення

$K_5$  – вологість матеріалу

$K_7$  – крупність матеріалу

$B^1$  – висота пересипки

$g$  – кількість переробленого матеріалу

Усі коефіцієнти беруться з табличних даних, відповідно обраним характеристикам. Таблиці із усіма даними наведені в Додатку А.

Таким чином, необхідність розрахунків викидів в атмосферне повітря дає змогу точніше визначати увесь екологічний ефект від альтернативних замінників у порівнянні між собою. Такий розрахунок разом із функціональними критеріями може використовуватися для вибору необхідного альтернативного замінника, враховуючи усі необхідні вимоги для кожного конкретного випадку.

## Висновки до розділу 2

1. Металургійні шлаки, електросталеплавильні шлаки, золошлаки та БІТРЕК необхідно розглядати як перспективні та економічно і екологічно вигідніші альтернативні матеріали, які можна використати в будівництві, модернізації чи ремонті дорожнього полотна, як в нинішній час, так і в перспективі. Поступове скорочення шлакових відвалів в металургійному виробництві, золовиносів із багатьох ТЕС, а також утилізація вживаної резини та її переробці на крихту, усі ці фактори дозволять сприяти покращенню еколого-економічного становища, зокрема зменшення навантаження на атмосферне повітря. З іншої сторони це дозволить підприємствам зекономити кошти на утилізацію даних матеріалів.

2. Існує багато різноманітних методів оцінки екологічної безпеки різних компонентів, однак все зводиться до обрахування нормування, розрахунку екологічного ризику чи інтегрального показника. Функціональні

критерії дають змогу рівнозначно оцінити усі фактори, котрі будуть впливати на вибір тієї чи іншої альтернативної домішки. Важливо враховувати, що для цих критеріїв необхідні вихідні параметри домішок, такі як активність чи модуль пружності. Для вибору альтернативного замінника треба використовувати критерії міцності, трудомісткості, критерій відносних витрат, критерій екологічності вибору альтернативного замінника.

3. Недоліком вибору функціональних критеріїв є неповнота визначення усіх екологічних факторів, які впливають на навколишнє середовище. Тому необхідно додати до цих розрахунків й показник викидів від процесу навантаження-розвантаження. Разом із функціональними критеріями це допоможе враховувати, по-перше, втрату матеріалу, а також екологічну шкоду. Тому надалі при будівництві, модернізації чи ремонтування автомобільних доріг, а також при заміні щебеневого шару асфальтобетонної суміші дорожнього полотна альтернативними замінниками можна враховувати усі фактори та обирати той замінник, який буде доцільніше в кожному окремому випадку.

### 3 ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ЗАМІННИКІВ

#### 3.1 Розрахунок функціональних критеріїв альтернативних домішок

При розрахунку функціональних критеріїв альтернативних домішок для асфальтобетонних сумішей при будівництві, модернізації чи ремонті дорожнього полотна треба враховувати міцнісні характеристики. Такими характеристиками слугують активність матеріалів. Цей показник залежить від хімічного складу домішок та відсоткового показника кожного окремого компонента в них.

Оптимальний вміст компонентів є основою при впровадженні чи рекомендуванні домішок на їх використання у дорожньому будівництві. За своєю якістю, наприклад, не всі металургійні шлаки можуть підходити на роль альтернативної домішки(табл.3.1).

Таблиця 3.1 – Оптимальний склад альтернативних домішок

Замінник	Хімічний склад
Металургійні шлаки	CaO – 50,5%, SiO <sub>2</sub> – 35%, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 7,39%, MgO – 4,09%, FeO <sub>2</sub> – 0,42%
Електросталеплавильні шлаки	CaO – 55,5%, SiO <sub>2</sub> – 26,63%, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 5,33%, MgO – 0,37%, FeO <sub>2</sub> – 0,95%, MnO – 0,37%, S – 1,41, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,03%, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,05%
БІТРЕК	асфальтени – 20%, смоли – 35%, рідкі вуглеводні – 45%
Золошлаки	CaO – 6,84%, SiO <sub>2</sub> – 56,31%, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 19,42%, MgO – 1,96%, FeO – 2,77%, MnO – 0,09%, S – 0,04, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 7,53%, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,0013%, TiO <sub>2</sub> – 1,02%, K <sub>2</sub> O – 2,12%, Na <sub>2</sub> O – 0,27%, SO <sub>3</sub> – 0,74%, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,11%, H <sub>2</sub> O – 0,48%, C – 0,11%, CaO <sub>св</sub> – 1,05%

Тому, при використанні домішок необхідно проводити такі дослідження:

- відповідність оптимального хімічного складу альтернативної домішки;
- активність  $R_{28}$  кожної домішки для попереднього встановлення її модуля пружності.

В даному випадку оптимальні домішки повинні замінити щебеневий шар асфальтобетонної суміші в дорожньому полотні(табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Конструкція дорожнього полотна

№	Конструкція дорожнього полотна	Коефіцієнт запасу міцності $K_{мц}$							
		пружний прогин		згин шарів		зсув шарів			
		норма	фактично	норма	фактично	норма	фактично		
1	Асфальтобетон щільний на бітумі БНД - 40/60 — 4 см;	1,5	1,61	1,39	1,399				
2	Асфальтобетон пористий на бітумі БНД- 60/90 — 6 см;								
3	Асфальтобетон пористий на бітумі БНД 90/130,— 10 см;								
4	Гравійно-піщана суміш неоптимального складу укріплена цементом І класу міцності— 15 см;							1,5	1,71
5	<b>Щебенево- гравійна суміш</b> — 17 см;								
6	Грунт укріплений 4% цементу 3 класу міцності - 12 см								

В якості експериментального розрахунку за основу було взято можливість заміни усього щебеневого шару в дорожньому полотні Печерського району міста Києва на усіх категоріях доріг.

Вимоги до кожної категорії доріг нормуються згідно ДБН В.2.3-4:2015. В них наведено усі параметри, які повинні дотримуватися під час будівництва тієї чи іншої технічної категорії доріг. До таких параметрів можуть відноситися ширина смуги, кількість смуг руху, конструкція дорожнього полотна тощо(табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Технічні параметри категорій доріг

Категорія	Кількість смуг	Ширина полоси	Матеріали покриття	Підвищення брівки насипу
I	4-8	3,75 м.	Асфальтобетон, щебінь, цементна основа	1
II	2	3,75 м.	Те саме	0,7
III	2	3,5 м.	Те саме	0,6

Відповідність дороги до тієї чи іншої категорії залежить від розміщення цієї дороги та ступеню важливості (магістральне значення, місцеве, районне тощо).

Згідно зведеної інвентаризаційної відомості вулиць та площ в Печерському районі міста Києва протяжність доріг кожної категорії становить:

- I категорія – 19738 м;
- II категорія – 21986 м;
- III категорія – 57937 м.

Вихідні дані щибенового шару асфальтобетонної суміші полягають у модулі пружності, висоті шару, вартість матеріалу.

Модуль пружності щибенового шару  $E_m = 500$  МПа, висота шару  $h_m = 0,17$  м, а вартість матеріалу складає 120 грн/т.

Вихідними параметрами альтернативних домішок є модуль їх пружності та вартість матеріалу(табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Вихідні параметри альтернативних матеріалів

Замінник	Е <sub>ш</sub> , МПа	С <sub>ш</sub> , грн/т
Доменний шлак	400	45
Електросталеплавильний шлак	650	50
БІТРЕК	428	3500
Золошлак	2167	370

Розраховуємо необхідні функціональні критерії для доменного шлаку.

Висота необхідного шару буде дорівнювати:

$$h_{\text{ш}} = \frac{0,17 \cdot 500}{400} = 0,22 \text{ м.}$$

Отже, необхідна висота шару доменних шлаків буде 0,22 м. Далі вираховуємо необхідний критерій міцності:

$$K_{\text{мц}} = \frac{500}{400} = 1,25 \geq 1.$$

У порівнянні із щебеневою сумішшю доменні шлаки для досягнення необхідного критерію міцності потребують додаткових активаторів.

Перед визначенням критерію трудомісткості треба вирахувати необхідну масу доменного шлаку та щебеневої суміші. Для цього визначаємо необхідний об'єм із врахуванням категорії дороги.

Об'єм щебеневої суміші для I категорії:

$$V_{\text{м}} = 0,17 \cdot 3,75 \cdot 8 \cdot 19738 = 100664 \text{ м}^3.$$

Об'єм щебеневої суміші для II категорії:

$$V_M = 0,15 \cdot 3,75 \cdot 2 \cdot 21986 = 24734 \text{ м}^3.$$

Об'єм щебеневої суміші для III категорії:

$$V_M = 0,12 \cdot 3,5 \cdot 2 \cdot 57937 = 48667 \text{ м}^3.$$

Відповідно об'єм доменного шлаку для I категорії:

$$V_M = 0,22 \cdot 3,75 \cdot 8 \cdot 19738 = 130271 \text{ м}^3.$$

Об'єм доменного шлаку для II категорії:

$$V_M = 0,19 \cdot 3,75 \cdot 2 \cdot 21986 = 31330 \text{ м}^3.$$

Об'єм доменного шлаку для III категорії:

$$V_M = 0,15 \cdot 3,5 \cdot 2 \cdot 57937 = 60834 \text{ м}^3.$$

Тоді маса щебеневої суміші для I категорії станове:

$$m_M = 100664 \cdot 2,64 = 265753 \text{ т.}$$

Для II категорії:

$$m_M = 24734 \cdot 2,64 = 65298 \text{ т.}$$

Для III категорії:

$$m_M = 48667 \cdot 2,64 = 128481 \text{ т.}$$

Обраховуємо відповідну масу доменного шлаку для I категорії:

$$m_{\text{ш}} = 130271 \cdot 1,7 = 221461 \text{ т.}$$

Для II категорії:

$$m_{\text{ш}} = 31330 \cdot 1,7 = 53261 \text{ т.}$$

Для III категорії:

$$m_{\text{ш}} = 60834 \cdot 1,7 = 103417 \text{ т.}$$

Отже, критерій трудомісткості для I категорії:

$$K_{\text{т}} = \frac{221461}{265753} = 0,84.$$

Для II категорії:

$$K_{\text{т}} = \frac{53261}{65298} = 0,82.$$

Для III категорії:

$$K_{\text{т}} = \frac{103417}{128481} = 0,81.$$

Критерій відносних витрат для I категорії доріг:

$$K_{\text{в}} = \frac{221461 \cdot 45}{265753 \cdot 120} = 0,31.$$

Для II категорії:



$$K_B = \frac{53261 \cdot 45}{65298 \cdot 120} = 0,3.$$

Для III категорії:

$$K_B = \frac{103417 \cdot 45}{128481 \cdot 120} = 0,3.$$

Останнім функціональним критерієм буде екологічний критерій, в якому використана маса ділиться на масу усього дорожнього полотна. В даному випадку, маса дорожнього полотна складає 284 т/км.

Тому критерій екологічності для I категорії складає:

$$K_{ек} = \frac{221461}{560559} = 0,39.$$

Для II категорії:

$$K_{ек} = \frac{53261}{624402} = 0,85.$$

Для III категорії:

$$K_{ек} = \frac{103417}{1645411} = 0,63.$$

Таким методом обраховуються й інші альтернативні домішки.  
Визначаємо висоту шару для електросталеплавильного шлаку:

$$h_{ш} = \frac{0,17 \cdot 500}{650} = 0,13 \text{ м.}$$

Вираховуємо критерій міцності:

$$K_{\text{мц}} = \frac{500}{650} = 0,77 \leq 1.$$

Міцність шару з електросталеплавильного шлаку більше ніж шар щебеневої суміші.

Визначаємо необхідний об'єм електросталеплавильних шлаків для I категорії доріг:

$$V_{\text{м}} = 0,13 \cdot 3,75 \cdot 8 \cdot 19738 = 76978 \text{ м}^3.$$

Об'єм електросталеплавильних шлаків для II категорії:

$$V_{\text{м}} = 0,12 \cdot 3,75 \cdot 2 \cdot 21986 = 19787 \text{ м}^3.$$

Об'єм електросталеплавильних шлаків для III категорії:

$$V_{\text{м}} = 0,09 \cdot 3,5 \cdot 2 \cdot 57937 = 36500 \text{ м}^3.$$

Тоді маса, яка необхідна для усіх доріг I категорії:

$$m_{\text{ш}} = 76978 \cdot 1,8 = 138560 \text{ т.}$$

Для II категорії:

$$m_{\text{ш}} = 19787 \cdot 1,8 = 35617 \text{ т.}$$

Для III категорії:

$$m_{\text{ш}} = 36500 \cdot 1,8 = 65700 \text{ т.}$$

Розраховуємо критерій трудомісткості для I категорії:

$$K_T = \frac{138560}{265753} = 0,52.$$

Для II категорії:

$$K_T = \frac{35617}{65298} = 0,55.$$

Для III категорії:

$$K_T = \frac{65700}{128481} = 0,51.$$

Критерій відносних витрат для I категорії доріг:

$$K_B = \frac{138560 \cdot 50}{265753 \cdot 120} = 0,22.$$

Для II категорії:

$$K_B = \frac{35617 \cdot 50}{65298 \cdot 120} = 0,3.$$

Для III категорії:

$$K_B = \frac{65700 \cdot 50}{128481 \cdot 120} = 0,21.$$

Критерій екологічності для I категорії складає:

$$K_{\text{ек}} = \frac{138560}{560559} = 0,25.$$

Для II категорії:

$$K_{\text{ек}} = \frac{35617}{624402} = 0,16.$$

Для III категорії:

$$K_{\text{ек}} = \frac{65700}{1645411} = 0,14.$$

Розраховуємо висоту шару для БІТРЕК:

$$h_{\text{ш}} = \frac{0,17 \cdot 500}{428} = 0,2 \text{ м.}$$

Критерій міцності для цього шару:

$$K_{\text{мц}} = \frac{500}{428} = 1,17 \geq 1.$$

Для збільшення міцності шару БІТРЕК потребує додаткових активаторів.  
Тоді необхідний об'єм БІТРЕК для I категорії:

$$V_{\text{м}} = 0,2 \cdot 3,75 \cdot 8 \cdot 19738 = 118428 \text{ м}^3.$$

Об'єм БІТРЕК для II категорії:

$$V_{\text{м}} = 0,18 \cdot 3,75 \cdot 2 \cdot 21986 = 29681 \text{ м}^3.$$

Об'єм БІТРЕК для III категорії:

$$V_m = 0,14 \cdot 3,5 \cdot 2 \cdot 57937 = 56778 \text{ м}^3.$$

Маса, яка необхідна для усіх доріг I категорії:

$$m_{\text{ш}} = 118428 \cdot 2,45 = 290149 \text{ т.}$$

Для II категорії:

$$m_{\text{ш}} = 29681 \cdot 2,45 = 72718 \text{ т.}$$

Для III категорії:

$$m_{\text{ш}} = 56778 \cdot 2,45 = 139106 \text{ т.}$$

Тоді критерій трудомісткості для I категорії:

$$K_T = \frac{290149}{265753} = 1,09.$$

Для II категорії:

$$K_T = \frac{72718}{65298} = 1,11.$$

Для III категорії:

$$K_T = \frac{139106}{128481} = 1,08.$$

Критерій відносних витрат для I категорії доріг:

$$K_v = \frac{290149 \cdot 3500}{265753 \cdot 120} = 31,8.$$

Для II категорії:

$$K_v = \frac{72718 \cdot 3500}{65298 \cdot 120} = 32,5.$$

Для III категорії:

$$K_v = \frac{139106 \cdot 3500}{128481 \cdot 120} = 31,58.$$

Критерій екологічності для I категорії складає:

$$K_{ek} = \frac{290149}{560559} = 0,52.$$

Для II категорії:

$$K_{ek} = \frac{72718}{624402} = 0,76.$$

Для III категорії:

$$K_{ek} = \frac{139106}{1645411} = 0,8.$$

Остання альтернативна суміш це золошлаки. Однак оскільки модуль пружності самих шлаків дуже малий (0,6 МПа), ця суміш розглядається із додаванням спеціального портландцементу.

Тоді, висота шару буде дорівнювати:

$$h_{\text{ш}} = \frac{0,17 \cdot 500}{2167} = 0,04 \text{ м.}$$

Вираховуємо критерій міцності:

$$K_{\text{мц}} = \frac{500}{2167} = 0,23 \leq 1.$$

Критерій міцності золошлакової суміші задовольняє необхідні умови міцності шару дорожнього полотна.

Необхідний об'єм золошлаків для доріг I категорії:

$$V_{\text{м}} = 0,04 \cdot 3,75 \cdot 8 \cdot 19738 = 23686 \text{ м}^3.$$

Об'єм золошлаків для II категорії:

$$V_{\text{м}} = 0,03 \cdot 3,75 \cdot 2 \cdot 21986 = 4947 \text{ м}^3.$$

Об'єм золошлаків для III категорії:

$$V_{\text{м}} = 0,03 \cdot 3,5 \cdot 2 \cdot 57937 = 12167 \text{ м}^3.$$

Тоді необхідна маса для усіх доріг I категорії:

$$m_{\text{ш}} = 23686 \cdot 1,2 = 28423 \text{ т.}$$

Для II категорії:

$$m_{\text{ш}} = 4947 \cdot 1,2 = 5936 \text{ т.}$$

Для III категорії:

$$m_{\text{ш}} = 12167 \cdot 1,2 = 14600 \text{ т.}$$

Вираховуємо критерій трудомісткості для I категорії:

$$K_{\text{т}} = \frac{28423}{265753} = 0,11.$$

Для II категорії:

$$K_{\text{т}} = \frac{5936}{65298} = 0,09.$$

Для III категорії:

$$K_{\text{т}} = \frac{14600}{128481} = 0,11.$$

Критерій відносних витрат для I категорії доріг:

$$K_{\text{в}} = \frac{28423 \cdot 370}{265753 \cdot 120} = 0,33.$$

Для II категорії:

$$K_{\text{в}} = \frac{5936 \cdot 370}{65298 \cdot 120} = 0,28.$$



Для III категорії:

$$K_B = \frac{14600 \cdot 370}{128481 \cdot 120} = 0,35.$$

Критерій екологічності для I категорії складає:

$$K_{ек} = \frac{28420}{560559} = 0,63.$$

Для II категорії:

$$K_{ек} = \frac{5936}{624402} = 0,15.$$

Для III категорії:

$$K_{ек} = \frac{14600}{1645411} = 0,15.$$

Отже, усі ці альтернативні замінники мають свої переваги та недоліки за функціональними критеріями, і тільки від споживача буде залежати яка саме суміш йому необхідна аби задовільнити вимоги.

В даному випадку розглядається критерій екологічності. Згідно вирахованих параметрів, щебеневу суміш доцільно буде замінити електросталеплавильний шлак для I та III категорії доріг, а золошлаки – для II категорії доріг. Усі розрахунки зводяться в порівняльні таблиці для зручнішого використання

Екологічна ефективність усіх замінників вища за ефективність щебеневої суміші. Наприклад, золошлаки ефективніше на 37% для I категорії доріг та на 85% для II та III категорії (табл. 3.5,3.6,3.7).

Таблиця 3.5 – Розрахункові параметри для I категорії доріг

Категорія	Шлак	$E_{ш}$	$h_{ш}$	$K_{мц}$	$K_T$	$K_B$	$K_{ек}$
I	Доменний	450	22	1,25	0,84	0,31	0,39
	Електростал.	650	15	0,77	0,52	0,22	0,25
	Бітрек	428	20	1,17	1,09	31,8	0,52
	Золошлак	2167	4	0,23	0,11	0,33	0,63

Таблиця 3.6 – Розрахункові параметри для II категорії доріг

Категорія	Шлак	$E_{ш}$	$h_{ш}$	$K_{мц}$	$K_T$	$K_B$	$K_{ек}$
II	Доменний	450	17	1,25	0,82	0,3	0,85
	Електростал.	650	12	0,77	0,55	0,3	0,16
	Бітрек	428	18	1,17	1,11	32,5	0,76
	Золошлак	2167	3	0,23	0,09	0,28	0,15

Таблиця 3.7 – Розрахункові параметри для III категорії доріг

Категорія	Шлак	$E_{ш}$	$h_{ш}$	$K_{мц}$	$K_T$	$K_B$	$K_{ек}$
III	Доменний	450	13	1,25	0,81	0,3	0,63
	Електростал.	650	9	0,77	0,51	0,21	0,14
	Бітрек	428	18	1,17	1,08	31,6	0,8
	Золошлак	2167	3	0,23	0,11	0,35	0,15

Екологічна ефективність усіх замінників вища за ефективність щебеневої суміші. Наприклад, золошлаки ефективніше на 37% для I категорії доріг та на 85% для II та III категорії. Електросталеплавильний шлак показав свою ефективність для II категорії дороги, його екологічна ефективність складає 86% ніж щебенева суміш. Хоча БІТРЕК показав найменшу екологічну ефективність

для кожної із категорій доріг, цей замінник на 20% ефективніший за щебеневу суміш(рис.3.1).

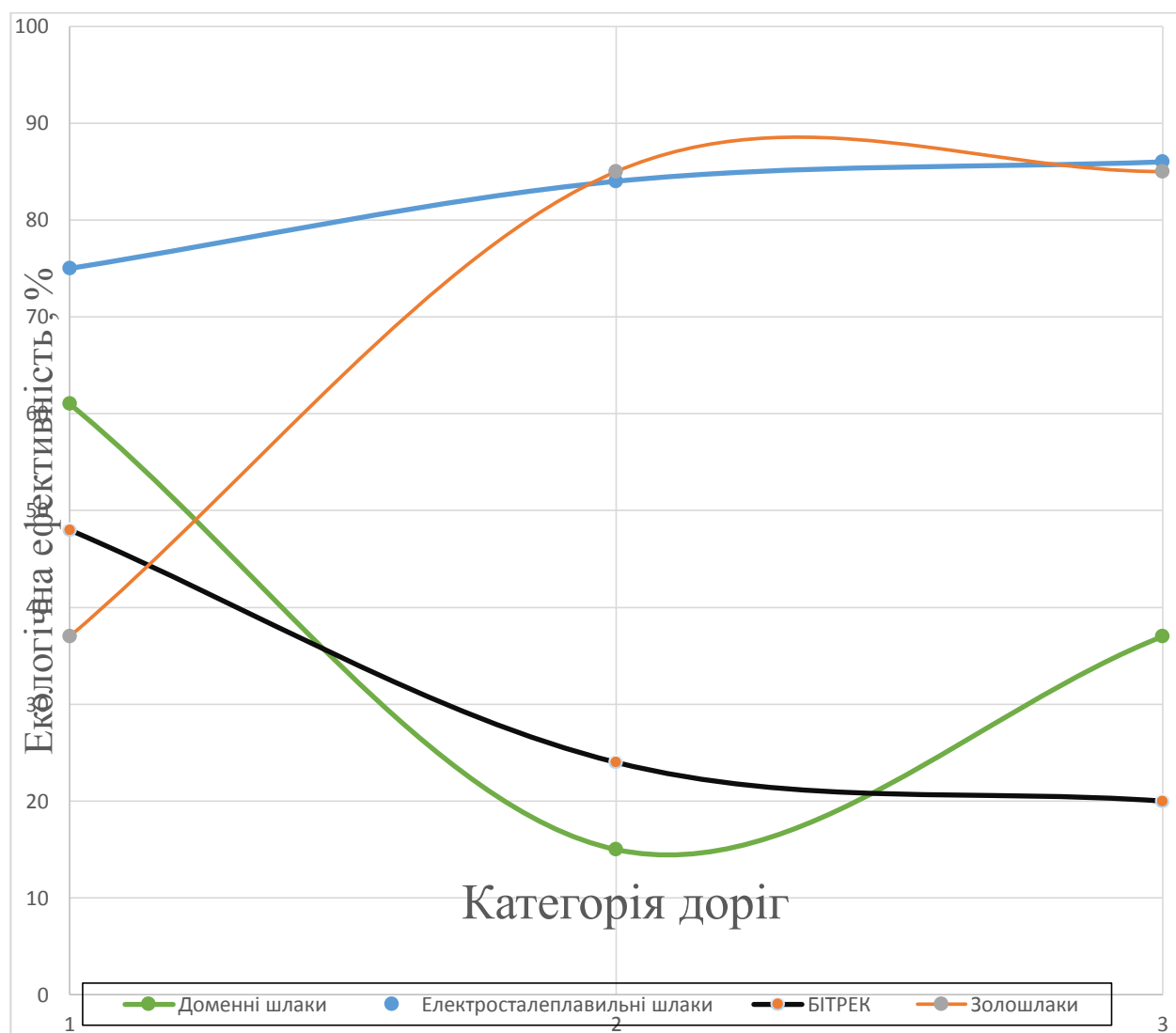


Рис. 3.1 – Ступінь ефективності домішок в залежності від категорії доріг

### 3.2 Екологічна ефективність під час процесу навантаження-розвантаження

Вдосконалена методика вибору альтернативних домішок не враховує екологічний ефект під час навантаження чи розвантаження даних замінників, але цей параметр також впливає на ефективність вибору необхідного матеріалу.

Обраховуємо викиди під час процесу навантаження-розвантаження для доменних шлаків:

$$q = \frac{0,05 \cdot 0,02 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 0,4 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6}{3600} = 1,6 \text{ г/с.}$$

Для електросталеплавильних шлаків:

$$q = \frac{0,05 \cdot 0,02 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 0,01 \cdot 0,2 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6}{3600} = 0,01 \text{ г/с.}$$

Для БІТРЕК:

$$q = \frac{0,05 \cdot 0,02 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6}{3600} = 4,2 \text{ г/с.}$$

Для золошлаків:

$$q = \frac{0,05 \cdot 0,02 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6}{3600} = 12,8 \text{ г/с.}$$

Таким чином після обрахунку цих параметрів та додавання їх у загальну екологічну ефективність, відсоток ефективності замінників був змінений.

Оскільки для щебеневої суміші параметр викидів під час процесу навантаження-розвантаження дорівнює 0,09 г/с, то відповідно показник екологічної ефективності електросталеплавильних шлаків змінився на 1,1%. Натомість екологічна ефективність доменних шлаків знизилася на 1,7%, для БІТРЕК цей показник зменшився на 2,3%, а для золошлаків зменшився на 4,2% для кожної категорії доріг(рис.3.2).

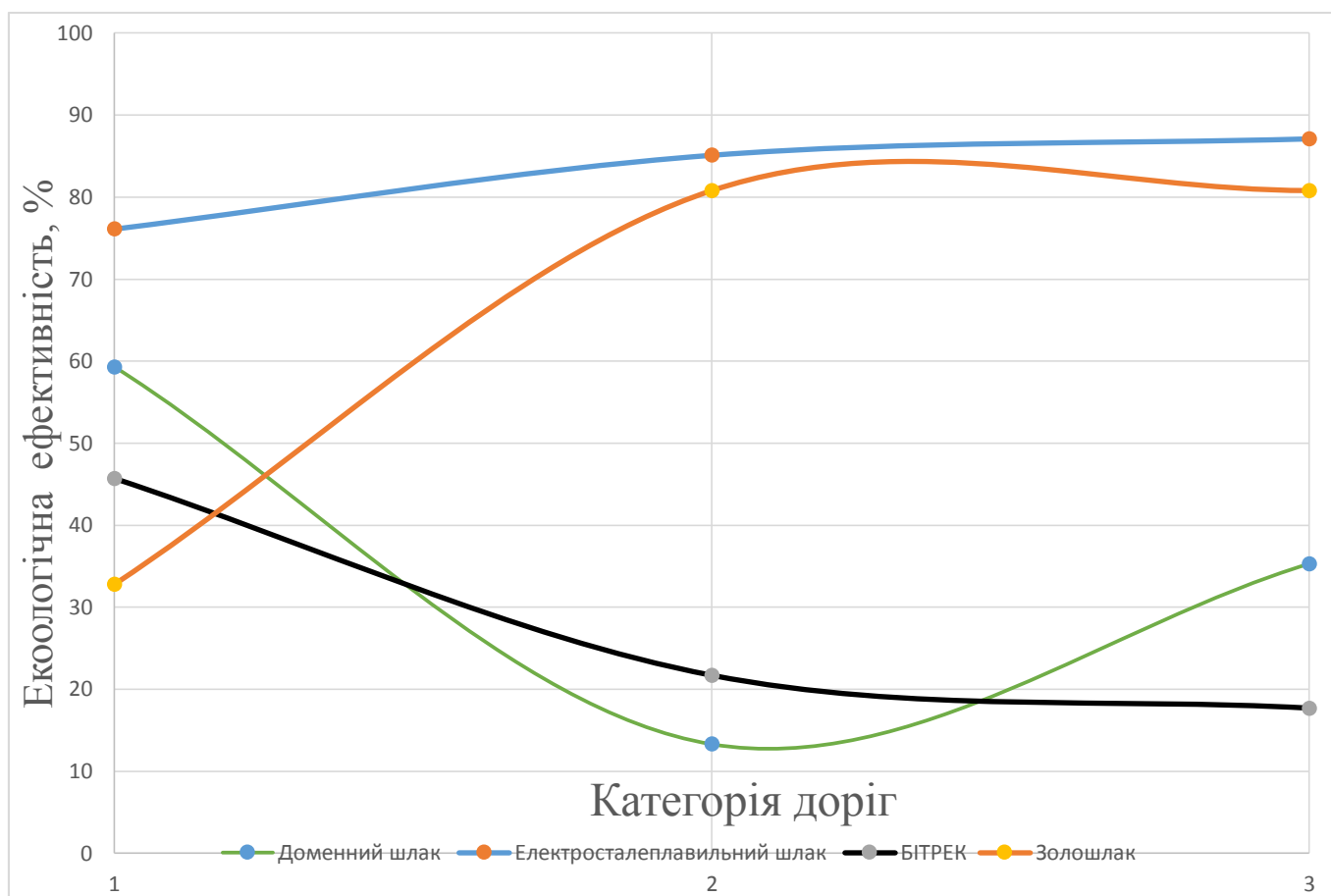


Рис.3.2 – Ступінь екологічної ефективності заміників із врахуванням процесу навантаження-розвантаження

### Висновки до розділу 3

1. Вдосконалена модель вибору альтернативних заміників щеленового шару асфальтобетонного полотна дає змогу обирати необхідний замітник в залежності від вимог чи потреб споживача. Функціональні критерії вартості, екологічності та трудомісткості дають цілком об'єктивну картину щодо заміни щеленового шару в Печерському районі міста Києва для усіх категорій доріг.

2. Заміна щеленового шару з точки зору екологічного критерію показує, що для I категорії доцільно використовувати шар із золошлакової суміші, для II категорії – електросталеплавильні шлаки, а для III – знову ж таки, шар золошлакової суміші. Проте економічний фактор також впливає на фінальне

рішення з вибору необхідного замінника. Оскільки БІТРЕК має по своїм параметрам висок вартість, необхідно проводити лабораторні дослідження щодо зменшення економічного фактору чи підвищення його модуля пружності шляхом додавання деяких активаторів.

3. Врахування параметру викидів під час процесу навантаження-розвантаження дає змогу точніше встановити екологічний ефект замінників щебеневого шару. Так електросталеплавильні шлаки за цим параметром збільшили свою ефективність на 1,1%, натомість золошлаки втратили 4,2% від загальної екологічної ефективності.

## 4 ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИБОРУ ДОЦІЛЬНОЇ СУМІШІ ДЛЯ ВРАХУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ЕФЕКТУ

### 4.1 Опис ідеї проекту

Стартап–проект – це проект, який створюється для пошуку бізнес-моделі, що дозволить приносити стабільний прибуток, зазвичай, в їх основі лежать інноваційні ідеї, ноу-хау тощо.

Опис інноваційної ідеї полягає у визначенні її актуальності для подальшого вивчення ринку збуту, подолання суперечностей під час розробки ідеї та характеристик, що будуть відповідати потребам споживачів в ході реалізації стартап-проекту. Також варто зазначити й переваги запропонованого проекту а також яку вигоду будуть отримувати споживачі в залежності від його використання[53].

Основна ідея, що була запропонована полягає у вдосконаленні системи функціональних критеріїв при виборі найбільш оптимальної альтернативної домішки для асфальтобетонних сумішей з врахуванням параметрів для різних категорій доріг, а також додавання у цю систему обрахування викидів при розвантаженні та навантаженні даних домішок. Актуальність даної ідеї полягає у більш точному обрахунку викидів в атмосферу шкідливих домішок від асфальтобетонних сумішей та зменшенні цих викидів (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Актуальність та новизна ідеї стартап-проекту.

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Переваги та вигоди споживачів
Вдосконалення системи функціональних критеріїв при визначенні найбільш доцільної альтернативної домішки для сумішей асфальтобетонного типу.	Побудова, ремонт чи модернізація дорожнього полотна	Більш точний розрахунок при виборі альтернативних домішок
	Екологізація транспортної системи	Зменшення навантаження на довкілля
	Зниження антропогенного навантаження від заводів	Зменшення витрат на утилізацію шлаків

## 4.2 SWOT – аналіз

В ході реалізації стартап-проекту доречно попередньо виконати SWOT-аналіз потенційних загроз та можливостей безпосередньо реалізації стартапу. Необхідно розуміти, що SWOT-аналіз не дає усю можливу інформацію, проте підходить для упорядкування процесу формування бізнес-ідеї.

При використанні методу SWOT-аналізу усі фактори поділяються на 4 види: сильні сторони, слабкі сторони, можливості та загрози.

Потенційні сильні сторони продукту можуть визначатися як:

- виділення усіх переваг та їх використання в структурі організації бізнесу;
- відмінності, від яких залежить новизна та інноваційність продукту;
- виграшна позиція у сегменті ринку, в якій буде застосовуватися стартап-проект;
- диференціація виробів;
- сприяння росту кількісного рівня споживання та лояльність споживачів;
- обізнаність про стан ринку;
- методи, що допоможуть знизити витрати;
- можливість захисту продукту від конкуренції;
- рентабельність та прибутковість;
- необхідний рівень фінансових ресурсів;
- обґрунтована диверсифікація;
- компетентність у технологічних, інноваційних чи маркетингових навичках.

Потенційні слабкі сторони продукту можуть визначатися як:

- недостатня чи відсутня конкурентна перевага;
- втрата конкурентних позицій;



- недостатня обізнаність щодо переваг продукту та подальшого їх використання в структурі організації бізнесу;

- мала прибутковість;
- низькі темпи зростання;
- малі фінансові ресурси;
- репутаційні втрати;
- виробництво продукту супроводжується високими втратами;
- розміри виробництва не відповідають показникам, які б впливали на ситуацію на ринку;

- некомпетентність у технологічних, інноваційних чи маркетингових навичках.

Потенційні можливості продукту можуть визначатися як:

- високий рівень доступності до інвестицій чи кредитів;
- заходження в нові ринкові сегменти;
- можливість розширення виробництва для задоволення споживчого попиту;

- споріднена диверсифікація;
- вертикальна інтеграція;
- ноу-хау продукту;
- розвинуті фінансові ринки;
- зовнішні мережні структури.

Потенційні загрози для продукту можуть визначатися як:

- виникнення нової конкуренції на ринку;
- зростання темпів інфляції;
- поширення замінників продукту;
- повільний темп зростання;
- зменшення конкурентоспроможності через низький технологічний рівень продукту;
- негативні демографічні зміни;

- негативна екологічна ситуація;
- соціально-політична нестабільність;
- зміни в споживчих потребах чи смаках;
- ускладнення під час збуту продукту[54].

Результати SWOT-аналізу впровадження ідеї вдосконаленні системи функціональних критеріїв при виборі найбільш оптимальної альтернативної домішки для асфальтобетонних сумішей з врахуванням параметрів для різних категорій доріг, а також додавання у цю систему обрахування викидів при розвантаженні та навантаженні даних домішок показує, що даний інтелектуальний продукт має переваги за рахунок відсутності інших методик обрахунків, котрі б задовольняли необхідні вимоги. Стара система, яка й була модернізована не може конкурувати з актуальною, оскільки вже досягла свого потенціалу. Також впроваджена нова система може бути використана в майбутньому як базова модель розрахунків, для подальшого вдосконалення, якщо це виявиться можливим. Слабкі сторони такої ідеї полягають у нехтуванні даними розрахунками категорії споживачів, для яких впроваджується ця ідея, оскільки, перш за все, вона описує як досягти екологічного покращення асфальтобетонних сумішей[54].

Можливості впровадження ідеї полягають у виході на національний рівень за рахунок кооперації із великими компаніями споживачів чи у взаємодії із міністерствами. Загрози такої ідеї можуть бути погіршення економічної ситуації в країні, коли споживачам буде вигідніше використовувати менш екологічний показник для асфальтобетонних сумішей та отримувати моментальну вигоду без впровадження стратегічного планування(табл.4.2).

Таблиця 4.2 – SWOT-аналіз стартап-проекту.

Сильні сторони	Слабкі сторони
Вдосконалена методика розрахунків, яка враховує більше параметрів  Дозволяє більш точніше вирахувати екологічний ефект	Ухил в бік екологічності за рахунок економічного ефекту  Систему треба розглядати під кожен конкретний випадок
Можливості	Загрози
Закріплення системи на національному рівні Кооперація із іншими сферами виробництва	Економічна ситуація  Нехтування споживачами екологічних аспектів

#### 4.3 Фінансове обґрунтування стартап-проекту

Даний етап в ході реалізації стартап-проекту пояснює обґрунтованість необхідних витрат, а також формування ціни продукту і його собівартості. Собівартість означає витрати підприємства на саме виробництво та збут продукту[55].

Витрати виробництва за економічним критерієм поділяється на такі компоненти:

- прямі матеріальні витрати;
- прямі витрати на оплату праці;
- соціальні відрахування до пенсійного фонду;
- амортизація основних фондів та нематеріальних активів;
- інші прямі витрати.

Прямі матеріальні витрати означають необхідні витрати, які наявні під час виготовлення продукту. Тобто це витрати на сировину, матеріали, комплектуючі, паливо, енергію, комунальні послуги, запасні частини, малоцінні необоротні активи (основні інструменти, пристрої чи предмети, термін використання яких не більше одного року).

Прямі витрати на оплату праці визначають аналіз структури персоналу підприємства та розмежування працівників, оплата праці яких здійснюється на основі посадових окладів (їх відносять до умовно-постійних витрат підприємства) та працівників, оплата праці яких – відрядна з урахуванням розряду працівника (їх відносять до умовно-змінних витрат підприємства). До фонду оплати праці підприємства крім заробітної плати персоналу входять і нарахування підприємства по заробітній платі до Пенсійного фонду[55].

До основних фондів підприємства відносять:

- основні засоби: (земельні ділянки, капітальні витрати, пов'язані з їх поліпшенням, будинки, споруди, передавальні пристрої, машини, обладнання, транспортні засоби, інструменти, прилади, інвентар (меблі), робочу і продуктивну худобу, багаторічні насадження, інші основні засоби;
- інші необоротні матеріальні активи (бібліотечні фонди, малоцінні необоротні матеріальні активи (МНМА), тимчасові споруди, природні ресурси, інвентарну тару тощо).

Як зазначалося вище МНМА можуть списуватися одноразово на собівартість.

Основні фонди – це матеріальні активи підприємства, вартість яких перевищує 6000 грн., призначені власником для використання в господарській діяльності терміном більше, ніж рік з дати введення в експлуатацію. Їх вартість постійно зменшується у зв'язку з фізичним і моральним зносом. Цей процес називається амортизацією. Таким чином, амортизація – процес поступового переносу вартості основних фондів, нематеріальних активів підприємства на готову продукцію, роботи, послуги у межах діючих норм амортизаційних відрахувань.

Вартість проведення основних і допоміжних робіт визначають за діючими прейскурантами та окремими розцінками. Водночас, витрати на проведення поточних ремонтів обладнання та матеріали (запасні частини) для їх проведення становлять відсоток вартості обладнання та складають загальну вартість їх використання. При визначенні капітальних витрат враховують вартість

необхідного обладнання, приладів, апаратів тощо з урахуванням витрат на доставку і монтаж обладнання на виробничій ділянці, будівництво, розширення або переобладнання виробничих будівель, споруд або окремих їх частин, пов'язаних з введенням у дію пропонованого в проекті обладнання[55].

Вартість обладнання, приладів і апаратів беруть за діючими прайсами, а для нових зразків – за очікуваною вартістю його виробництва, приблизна надбавка чи знижка порівняно з базовим обладнанням встановлюються залежно від ускладнення чи спрощення зразка.

До прямих інших прямих витрат належать витрати на дослідження та розробку, послуги сторонніх організацій, комунальні послуги та оренду, кредити та їх обслуговування, втрати від браку з технологічних причин, безнадійної дебіторської заборгованості, операційної курсової різниці, витрати штрафів, пені, неустойок, утримання об'єктів соціально-культурного призначення тощо[55].

Витрати до складу загальновиробничих витрат включають в себе:

- витрати на управління виробництвом (оплата праці апарату управління цехами, дільницями тощо; відрахування на соціальні заходи і медичне страхування апарату управління цехами, дільницями; витрати на оплату службових відряджень персоналу цехів, дільниць тощо);
- амортизація основних засобів загальновиробничого (цехового, дільничого, лінійного) призначення;
- амортизація нематеріальних активів загальновиробничого (цехового, дільничого, лінійного) призначення;
- витрати на утримання, експлуатацію та ремонт, страхування, операційну оренду основних засобів, інших необоротних активів загальновиробничого призначення.
- витрати на вдосконалення технології й організації виробництва (оплата праці та відрахування на соціальні заходи працівників, зайнятих удосконаленням технології і організації виробництва, поліпшенням якості продукції, підвищенням її надійності, довговічності, інших експлуатаційних

характеристик у виробничому процесі; витрати матеріалів, купівельних комплектуючих виробів і напівфабрикатів, оплата послуг сторонніх організацій тощо);

- витрати на опалення, освітлення, водопостачання, водовідведення та інше утримання виробничих приміщень;
- витрати на обслуговування виробничого процесу (оплата праці загальновиробничого персоналу; відрахування на соціальні заходи, медичне страхування робітників та апарату управління виробництвом; витрати на здійснення технологічного контролю за виробничими процесами та якістю продукції, робіт, послуг);
- витрати на охорону праці, техніку безпеки і охорону навколишнього природного середовища;
- інші витрати (внутрішньозаводське переміщення матеріалів, деталей, напівфабрикатів, інструментів зі складів до цехів і готової продукції на склади; нестачі незавершеного виробництва; нестачі і втрати від псування матеріальних цінностей у цехах; оплата простоїв тощо)[55].

До умовно-змінних витрат відносять витрати на виробництво певного виду продукції. Величина їх змінюється залежно від зміни обсягу випуску продукції.

До умовно-постійних виробничих витрат відносять витрати на обслуговування і управління виробництва, які залишаються незмінними або майже незмінними при зміні обсягів діяльності. До них відносять: амортизаційні відрахування, Фонд оплати праці адміністративно-технічного персоналу з нарахуваннями, орендну плату підприємства, комунальний податок, збір за забруднення навколишнього природного середовища, витрати на пожежну сигналізацію, тощо.

В даному випадку реалізується теоретичний рівень стартап-проекту, проте якщо казати з точки зору споживача, така методика допомагає зекономити кошти на сировині.

Якщо брати рахувати пряму закупівлю сировини, то економічний ефект буде значним, якщо використовувати замість щебня доменний та електросталеплавильний шлаки(табл.4.3).

Таблиця 4.3 – Економічний ефект від замінників

Матеріал	Ціна, грн/т	Економічний ефект, %
Щебінь	120	0
Доменний шлак	45	– 63
Електросталеплавильний шлак	50	– 58
БІТРЕК	3500	+2917
Золошлак	370	+308

Якщо брати загальну економію при повній заміні щебеневого шару доменним та електросталеплавильним шлаком, економія буде складати 21924615 та 24962360 грн відповідно. Тому в даному випадку економія коштів можлива при прямих витратах закупівлі сировини(табл.4.4).

Таблиця 4.4 – Економія коштів від заміни щебня на усій дорозі

Матеріал	Загальна маса, т	Загальна ціна, грн	Економія, грн
Щебінь	265753	31890360	0
Доменний шлак	221461	9965745	21924615
Електросталеплавильний шлак	138560	6928000	24962360

#### 4.4 Цільові групи потенційних споживачів.

Для досягнення успіху стартап-проекту необхідно враховувати чи буде даний продукт користуватися попитом у споживачів.

В обґрунтуванні цього пункту треба виявити цільові групи, для яких буде пропонуватися відповідний продукт чи технологія, а також визначити стратегію охоплення на ринку:

- концентрований маркетинг, якщо попит продукту буде поширюватися виключно в одному сегменті ринку;
- диференційований маркетинг, якщо розроблений продукт може бути розповсюджений на декількох сегментах;
- масовий маркетинг, якщо розроблений продукт буде поширюватися на усі потенційні сегменти та елементи ринку[56].

Для впровадження даної ідеї необхідно розглянути споживачів, котрі безпосередньо зайняті в дорожній чи інфраструктурній сфері. Тому було обрано такі варіанти:

- Міністерство інфраструктури України – вмотивоване створити більш безпечні дороги. Значною перевагою є те, що на законодавчому рівні скорегувало ДСТУ 4123:2020, в якому зазначило можливість використання альтернативних домішок в будівництві чи ремонті дорожнього полотна;
- Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України – вмотивоване зменшити антропогенне навантаження на атмосферне повітря;
- Металургійні заводи – безпосередні постачальники сировини для домішок асфальтобетонних сумішей. Вмотивовані фінансовим фактором, що полягає у зменшенні видатків на зберігання та утилізацію шлаків;
- Державне агентство автомобільних доріг України «Укравтодор», Комунальна корпорація «Київавтодор» – дана пропозиція дозволяє зменшити частоту ремонтування дорожнього покриття та врахувати скільки матеріалу втрачається при транспортуванні.

Оскільки впроваджена ідея має можливості вийти на національний рівень, необхідно розглядати спочатку дві перші категорії споживачів.

Відсутність якихось схожих методик розрахунків в даному сегменті немає, що дає перевагу впровадження саме такої системи. Необхідно розглядати таку систему, як основну в майбутньому, бо Україна імплементує європейське законодавство, в тому числі й в сфері екології. Тому дана методика розрахунків яка дозволяє враховувати екологічність домішок та збільшення міцності



дорожнього полотна може бути впроваджена в подальшому на законодавчому рівні в будівельний стандарт.

#### 4.5 Бізнес-модель проекту

Одним із ключових етапів розробки стартап-проекту полягає у визначенні його бізнес-моделі, тобто план комерціалізації. Конкурентна бізнес-модель може слугувати ефективним методом для вирішення поставлених задач, а також є ключовим елементом визначення стартап-проекту як бізнес ідеї взагалі. Бізнес-модель komponує усі інноваційні ідеї та підходи в одне ціле(табл.4.5).

Таблиця 4.5 – Бізнес-модель стартап-проекту

<u>Ключові партнери:</u>  - Міністерство інфраструктури  - Металургійні заводи  - ТЕС  - Дорожні компанії	<u>Ключові види діяльності:</u>  дорожня галузь	<u>Цінність пропозиції:</u>  вдосконалена модель вибору альтернативних замінників не має аналогів на вітчизняному ринку за охопленням кількості елементів.	<u>Взаємовідносини з клієнтами:</u>  демонстрація можливостей нової методики та ключових відмінностей	<u>Споживчі сегменти:</u>  ресурсна база металургійних заводів та ТЕС, виконавча структура дорожніх компаній.
	<u>Ключові ресурси:</u>  металургійні шлаки, резинового крихта, зола		<u>Канали збуту:</u>  прямий продаж методики.	
<u>Структура собівартості:</u>  1. Витрати разові : немає  2. Витрати постійні: немає. Витрати змінні: немає			<u>Потоки надходження доходу:</u>  зниження матеріаломісткості дорожнього полотна	

#### 4.6 Аналіз ризиків стартап-проекту

Реалізація стартап-проекту завжди супроводжується значними ризиками, тому необхідно попередньо враховувати усі ризики, що будуть залежати від факторів невизначеності.

Інноваційні ризики формують ймовірність втрат від фінансування стартап-проекту чи розробленого продукту через рівень попиту у споживачів, який буде нижче очікуваного.

Мікроекономічні фактори впливу на ризики стартап-проекту діляться на:

- фінансові ризики (відсутність належного фінансування реалізації продукту чи низький фінансовий стан підприємства);
- організаційні ризики (погана організація реалізації чи збуту продукту);
- логістичні ризики (неефективна технологія постачання, відсутність необхідних ресурсів для транспортування);
- кадрові ризики (недостатня компетентність та професійність розробників проекту);
- маркетингові ризики (відсутність чіткої маркетингової стратегії щодо реалізації продукту на ринку)[57].

Інноваційні ризики, в свою чергу, залежать від багатьох факторів. Наприклад, використання дешевих методів виробництва приносять підприємству миттєві прибутки у порівнянні із використанням сучасного обладнання. Амортизація, собівартість, величина попиту та якість також буде корегуватися в залежності від впровадження інноваційних технологій чи ідей. Тому треба враховувати й споживчий попит.

При використанні нових технологій чи ідей ризики інновацій трапляється через такі фактори:

- відсутність попиту споживача;

- технічні умови не задовольняють можливість впровадження новітніх технологій чи ідей;

- технічні умови виробництва не приносять швидкий продаж.

Проектні ризики продукту залежать від неточності чи низького ступеню врахування усіх складових стартап-проекту. Ідентифікація усіх ризиків означає розуміння чинників, сфер дії, етапів чи робіт, на яких даний ризик на продукт буде підвищуватися.

Для зниження проектних ризиків ще на етапі проектування стартап-проекту треба здійснювати такі дії:

- аналіз ринку;
- вибір методу та засобів управління ризиком;
- фінансування ризиків;
- оцінка результатів.

За факторами виникнення ризики бувають політичні та економічні.

Політичні ризики означають нестабільність діяльності сфер державного устрою, діяльність органів влади, проблеми в економіці, етнічні, соціальні чи регіональні проблеми.

Економічні ризики полягають у змінах в економічній діяльності підприємства в гіршу сторону, зміну рівнів управління чи споживчих потреб ринку тощо.

Комерційні ризики – це ризики, які пов’язані з процесом реалізації товарів і послуг. Вони поділяються на:

- ризики реалізації товару на ринку;
- ризики, пов’язані із транспортуванням;
- ризики сприйняття товар покупцем;
- ризики платоспроможності споживача;
- ризики раптових обставин[58].

За структурою усі комерційні ризики бувають майнові, виробничі та торговельні.

Майнові ризики пов'язані з ймовірністю втрати продукту через технологічну, логістичну чи технічну помилку, крадіжку, необережне поводження з продуктом тощо.

Торгівельні ризики полягають у отриманні збитків через порушення фінансових домовленостей.

Виробничі ризики залежать від збитків через зупинку виробництва продукту внаслідок різних факторів або через задію на виробництві новітніх технологій чи техніки. Основні причини виробничих ризиків бувають:

- зниження обсягів реалізації продукту внаслідок зниження рівня продуктивності, підвищення браку продукції тощо;
- негативні зміни ринкового попиту чи навпаки його підвищення;
- перевитрата матеріалів, палива чи сировини;
- підвищення фонду оплати праці;
- збільшення податкових платежів;
- погана логістична робота;
- знос устаткування[58].

Фінансові ризики полягають у здійсненні фінансових угод підприємства, за умови що товар представлений в якості валюти, цінних паперів чи коштів.

Валютні ризики – це фінансові втрати підприємства через зміну курсу валют в період реалізації товару чи послуг. Однак необхідно враховувати й довготривалі зміни валютного курсу, тому при плануванні стартап-проекту, якщо він виражений у матеріальних цінностях, валютні ризики прописуються на підготовчому етапі[58].

Для стартап-проекту необхідні й кредитні ризики. Кредитний ризик залежить від здатності підприємства виконувати фінансові гарантії перед інвестором. Тому кредитний ризик завжди присутній при наявності в продукті акціонерів, банкових позиків чи фінансових впливів на контрактній основі.

При врахуванні ризиків даної ідеї необхідно звернути увагу на ризики інновацій, проектні ризики та комерційні ризики.

Інноваційні ризики полягають у необхідності переходу асфальтобетонних сумішей на нові технічні чи технологічні стандарти. Також ризик полягає у неможливості швидких продажів таких сумішей в зв'язку з наявністю значних покладів шлакової сировини, відсутності якогось логістичного транспортування «завод – АБЗ».

Проектний ризик полягає у тому, що можливо наявна переоцінка мотивації гравців в дорожньому ринковому сегменті. Наявна методика показує, що не в усіх випадках економічна частина переважає над екологічною, тому в моментальному випадку це буде не вигідно для металургійних заводів.

Комерційний ризик полягає у можливості перевищення попиту над пропозицією. Наприклад, якщо відвалів шлаку в країні достатньо, то золошлаків чи резинової крошки може не вистачити для повноцінного об'єму аби замінити наявну асфальтобетонну суміш.

#### Висновки до розділу 4

1. Головна ідея стартап-проекту полягає у вдосконаленні методики розрахунку найбільш доцільної альтернативної домішки для заміни в асфальтобетонних сумішей, що в подальшому призведе до зниження антропогенного навантаження на атмосферне повітря.

2. Впроваджена методика має свої сильні та слабкі сторони. SWOT-аналіз впровадження методики показує, що в даному сегменті ринку відсутні якісь альтернативи. Майбутні перспективи залежать від екологічної політики держави, та в найкращому варіанті дозволить закріпити цей метод на національному рівні шляхом імплементації в Державні будівельні норми. При оцінці негативних умов така методика все рівно буде зберігатися на локальному рівні.

3. При оцінці цільової групи споживачів було виявлено, що можливість врахування такого методу можливо разом з комунікацією з державними органами влади як Міністерство інфраструктури. Подальший розвиток

комунікації можливий й з постачальниками сировини для домішок, та пояснення усіх економічних благ для них.

4. При розробці даної методики слід враховувати інноваційні, проектні та комерційні ризики. Найбільш вірогідним є комерційний ризик, що полягає у відмові споживачів використовувати надану методику для отримання моментальної економічної вигоди ніж розробка довгострокового планування. Крім того варто враховувати й недостатню кількість деяких матеріалів, що необхідні для домішок.

## ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз сучасного стану досягнень з питань зниження навантаження на довкілля в процесі будівництва, модернізації та ремонту дорожнього полотна. Визначено, що одним із найбільш ефективних шляхів зменшення забруднення навколишнього середовища та водночас підвищення рівня ресурсозбереження є застосування відходів виробництва, зокрема металургійних шлаків, золошлаків та резинової крихти.

2. Обґрунтовано можливість використання відходів виробництва як альтернативи щебню під час будівництва, модернізації та ремонту дорожнього полотна, на основі розрахунку таких показників як критерій трудомісткості, критерій вартості та критерій екологічності. Найбільш виправданим за критерієм екологічності є використання доменних шлаків ;

3. Встановлено залежність ефективності використання відходів гірничого виробництва, як альтернативи щебню під час будівництва, модернізації та ремонту дорожнього полотна, від їх властивостей та характеристик. Зокрема визначено, що ефективність використання доменних шлаків складає 60%, БІТРЕК - 46%, а золошлаків – 85%.

4. Встановлено залежність ефективності використання відходів виробництва, як альтернативи щебню під час будівництва, модернізації та ремонту дорожнього полотна, від категорії доріг. Зокрема визначено, що для першої категорії доріг доцільним буде застосування золошлаків , для другої – електросталеплавильних, а для третьої – достатньо доменних шлаків.

5. Встановлена загальна економія прямих витрат на сировину у користувача. Так, доменний шлак може зекономити споживачу приблизно 22 млн грн при заміні щебеневої суміші на ділянці у 20 км. Електросталеплавильний шлак на таку ж відстань дозволить зекономити кошти розміром майже 25 млн грн.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Крюковська Л. І. Розробка методики оцінювання рівня екологічної безпеки при використанні металургійних шлаків у дорожньому будівництві: Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції – «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи». Львів, 2018. – С. 49–50.
2. Величко О.М., Зеркалов Д.В. Екологічний моніторинг : навч. посіб. К.: Основа, 2002. 247 с.
3. Технологія будівельного виробництва./за ред. В.К.Черненка, М.Г.Ярмоленка. К.:Вища школа, 2002. 163 с.
4. Технологическое оборудование асфальтобетонных заводов. М.: Машиностроение, 1981. 256 с.
5. Тимофеев В.А. Технологическое оборудование асфальтобетонных заводов. М.: Машиностроение, 1981. 185 с.
6. Порадек С.В., Тупикин В.М. Оценка эффективности пылеулавливающего оборудования на АБЗ. М.: Автомобильные дороги, 1987. 18 с.
7. Старк С.Б. Пылеулавливание и очистка газов в металлургии. Москва: Металлургия, 1977. 328 с.
8. Ратушняк Г. С., Лялюк О. Г. Технологічні засоби очищення газових викидів. Вінниця:ВНТУ, 2005. 158 с.
9. Крюковська Л. І. Бульковський М. С. Зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище при використанні відходів металургійного виробництва у якості дорожньо-будівельних матеріалів: матеріали LXVIX наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету. Київ, 2013. – С. 95.
10. Хрутьба В. О., Крюковська Л. І. Визначення показників екологічної безпеки проектів використання відходів як дорожньо-будівельного матеріалу.



Технологии пищевой, легкой и химической промышленности, 2016. №4. С. 64–71.

11. Еремин В.Г., Матвеев Е.В, Мазур И.В. Особенности проектирования, строительства и эксплуатации дорожных одежд на основе шлаковых материалов. М: 1995, 29-31 с.

12. Галич, С. А. Перспективы использования золо шлаков ТЭС в качестве микроудобрения для почв: материалы 4й Международной конференции. 31 января–1 февраля. Харьков, 2007 . С. 108–109

13. Данілов Д.Ю., Петрівський В.Н. Пути повышения качества асфальтобетона, 2016 – 4с.

14. Крюковська Л. І. Методика еколого-економічного оцінювання дорожнього одягу нежорсткого типу при використанні доменних шлаків у шарах основи: матеріали LXIX наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету. Київ, 2013. – С. 87.

15. Г. Р. Фоменко, Н. О. Нечитайло Підвищення рівня екологічної безпеки при проектуванні і реконструкції автомобільних доріг. Вісник ХНАДУ, 2011. Вип. 52. С.151–155.

16. Внукова Н. В. Науково-методологічні основи екологічної безпеки комплексу автомобіль - дорога - середовище : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 21.06.01. Харків, 2015. - 36 с.

17. Губіна В. Г., Б. О. Горлицький Проблема залізовмісних відходів гірничо-металургійного комплексу України — системний підхід. Екологічний вісник, 2008. № 3. С. 26-28.

18. Носков В. А., Макогон В. Ф. Состояние и перспективы утилизации железосодержащих отходов в металлургическом производстве Украины. Металлургическая и горнорудная промышленность, 2001. № 4. С. 98.

19. Каненко Г. М., Злобин А. Г. Использование отходов металлургических предприятий в строительной индустрии. Экология и промышленность. Харьков, 2005. № 1 (2). С. 41.

20. Губіна В. Г. Проблема залізовмісних відходів гірничо-металургійного комплексу України — системний підхід. Екологічний вісник, 2008. № 3. С. 26-28.
21. Богушевський В. С., Єгоров К. В. Аналіз відходів металургійного виробництва. Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра. 2010, с. 193-196
22. Крюковська Л. І., Скорченко В. Ф. Методи дослідження технічних характеристик шлаків для дорожнього будівництва: матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Екологія промислових підприємств. Проблема утилизации отходов» (м. Ялта, 13-17 вересня. 2004 р.). Київ, 2004. С. 116
23. Рекус И. Г. , О. С. Шорина. Основы экологии и рационального природопользования. М.: Изд-во МГУП, 2001. – 146 с.
24. Шаповалов Н. А., Загороднюк Л. Х., Тикунова И. В., Шекина А. Ю. Рациональные пути использования сталеплавильных шлаков. Фундаментальные исследования, 2013. № 1-2. С. 439-443
25. Вторичные материальные ресурсы черной металлургии: В 2-х т. Т. 2: Шлаки, шламы, отходы обогащения железистых и марганцевых руд, отходы коксохимической промышленности, железный купорос: (Образование и использование): Справочник / В.Г. Барышников, А.М. Горелов, Г.И. Папков и др. – М. : Экономика, 1986. – 344 с.
26. Об'єднання підприємств «Укрметалургпром». URL: <http://www.ukrmetprom.org/> (дата звернення 29.11.2020)
27. ПАТ Запорізький завод феросплавів. URL: <http://www.zfz.com.ua> (дата звернення: 29.11.2020).
28. Савицький В.М., Хільчевський В.К., Чунарьов О.В., Яцюк М.В. Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води : навчальний посібник / За ред. В. К. Хільчевського. Київ , 2007. – 152 с.
29. Доменные шлаки могут заменить дорогой цемент. Приазовский рабочий №153 (20297) від 30.12.2016. URL: <http://pr.ua/news.php?new=27431> (дата звернення: 29.11.2020).

30. Кравчуновська Т. С. Системний підхід до обґрунтування доцільності використання техногенних відходів у будівництві : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.22. Дніпропетровськ, 2004. - 21 с.
31. А. Я. Тулаев, М. В. Королев, В. С. Исаев, В. М. Юмашев Дорожные одежды с использованием шлаков/ За ред. А. Я. Тулаева. Москва, 1986. 221 с.
32. ДСТУ Б В.2.7-30:2008 Будівельні матеріали. Щебінь і щебеневопіщані суміші із шлаків металургійних для дорожніх робіт. Технічні умови. [Чинний від 2009-05-01]. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2008.
33. Иваница И. В. Исследование работы щебеночных слоёв нежестких дорожных одежд: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 15.08.03. Київ, 1972. С. 22
34. Арестов С. В, Галушкина Т. П. Основные направления современных экономических механизмов природопользования в Украине. Экономико-экологические проблемы природоохранной деятельности в Причерноморском регионе Украины: Сборник научных работ. Вип. 2. Одесса, 1998. — С. 23-30
35. Мясникова С.А. Композиционные материалы для поверхностной обработки покрытия автомобильных дорог на основе металлургических шлаков с модифицированными битумами и битумполимерными вяжущими : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05. Москва, 2009. С. 163
36. Крюковська Л. І., Скорченко В. Ф. Застосування металургійних шлаків при будівництві автомобільних доріг як заміників традиційних дорожньобудівельних кам'яних матеріалів. Київ, 2007. - с.124.
37. Смірнов Н. В. Резиноасфальтобетоны на основе вяжущих БИТРЭК, их особенности и опыт, 2016. – 19 с.
38. Беляев П.С., Забавников М. В., Маликов О. Г., Волков Д. С. Исследование влияния резиновой крошки на физико-механические показатели нефтяного битума в процессе его модификации. Вестник ТГТУ, 2005. Т. 11. № 4. С. 923–930.

39. Пугачева И.Н., Черных О.Н., Никулин С.С. Влияние природы коагулирующих агентов и волокнистого наполнителя на свойства резиновых смесей и вулканизатов на основе каучука СКС-30 АРК. Вестник ВГУИТ, 2013. № 2. С. 153-155.

40. Беляев П.С., Маликов О.Г., Меркулов С.А., Полушкин Д.Л. и др. Модификация дорожного битума термоэластопластом ДСТ совместно с полиэтиленом. Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского, 2012. № 39. С. 184 - 189.

41. Иванов Е.В. Обоснование применения золошлаковых смесей для строительства земляного полотна с учетом водно-теплого режима: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.23.11. Омск, 2015. 165 с.

42. Лунев А. А. Обоснование расчетных значений механических характеристик золошлаковых смесей для проектирования земляного полотна: дис. канд. техн. наук, 2019. – 192 с.

43. Лунёв А .А., Сиротюк В. В., Барац Н. И. Экспериментальные исследования прочностных характеристик золошлаковой смеси. Вестник СибАДИ, 2016. №6 (51)

44. Э.П. Гужулев, Ю.Т. Усманский. Рациональное применение золы ТЭЦ: Результаты научно-практических исследований / За ред. Э.П. Гужулева. Омск, 1998. – 238 с

45. Путилин Е.И. Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог. М.: Союздорнии, 2003. – 58 с.

46. В. В. Сиротюк, Лунёв А.А. Применение золошлаковых смесей для вертикальных планировок и строительства городских дорог. Омск: СибАДИ, 2015. С. 24-31

47. Гавриленко С. В. Удосконалення проектування нежорстких дорожніх одягів, оптимальних для заданих умов: дис... канд. техн. наук: 05.13.22. Київ, 2004.- 162 с.

48. Проник Ю. Д. Екологічні аспекти оцінки стану довкілля в проектах будівництва і експлуатації доріг: дис... канд. техн. наук: 05.13.22. Київ, 2004. 224 с.

49. В. О. Хрутьба, Крюковська Л. І. Системний підхід управління проекту використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві як вторинної сировини, ресурсо- та енергозбереження на підприємствах гірничо-металургійного та хімічного комплексу України: матеріали міжнар. конфер., (м. Київ. 07-11 жовт. 2008). Київ, 2008. – С. 38-39

50. Франчук І. І. Методи, моделі та стратегії управління в проектах будівництва і експлуатації автомобільних доріг: дис... канд. техн. наук: 05.13.22. Київ, 2004. 210 с.

51. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу [На заміну ВБН В.2.3-218-186-2004; чинний від 2019-06-01]. Вид. офіц. Київ: Міністерство інфраструктури України, 2019. 63 с.

52. Погрузочно-разгрузочные работы. URL: <https://otot.ru/prr-eh-to/> (дата звернення: 14.12.2020)

53. Стартап-проект. Рекомендації до виконання розділу магістерської дисертації «Розроблення стартап-проекту»: навчальний посібник для студентів спеціальностей: 101 «Екологія», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», 144 «Теплотехніка», спеціалізацій: «Інженерна екологія та ресурсозбереження», «Інжиніринг електротехнічних комплексів», «Електромеханічні та мехатронні системи енергоємних виробництв», «Системи електропостачання», «Енергетичний менеджмент та енергоефективність» «Енергетичний менеджмент та інжиніринг» / П. В. Круш, Н. А. Шевчук, О. І. Андрусь: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 50 с.

54. Startup-project: Recommendations for the elaboration of the Master's thesis section «Startup Project Elaboration» [Electronic resource]: teach. edition for studio specialties 101 «Ecology», 141 «Power, electrical engineering and electromechanics», 144 «Thermal engineering» specializations «Engineering Ecology and Resource saving», «Engineering of Automated Electrotechnical Complexes»,

«Electromechanical and Mechatronic Systems of Power-intensive Industries», «Power Supply Systems», «Energy Management and Energy Efficiency», «Energy Management and Engineering» / P. Krush, N. Shevchuk, O. Andrus ; Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. – Electronic test data (1 file: 109 Kb). – Kyiv : Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2019. – 50 p.  
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27938>

55. Шевчук Н.А. Розробка та впровадження стартап проекту на прикладі геосинтетичного модуля-опалубки / Шевчук Н.А., Вапнічна В.В. // Сучасні проблеми економіки і підприємництва [Текст]: Збірник наукових праць. – Вип. 23. – К.: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2019 С.32-40.

56. Шевчук Н.А., Зайченко С.В., Кривда О.В. Впровадження та реалізація стартап проекту геомехатронного комплексу Сучасні проблеми економіки і підприємництва [Текст]: Збірник наукових праць. – Вип. 21. – К.: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2018 С. 94-101.

57. Шевчук Н.А. Впровадження та реалізація стартапів в гірництві / Шевчук Н.А. / Міжнародна науково-технічна конференція, присвячена 120 – річчю КПІ «ПРОБЛЕМИ ГЕОІНЖЕНЕРІЇ ТА ПІДЗЕМНОЇ УРБАНІСТИКИ», м. Київ, 17- 18 травня 2018 р.– К.: НТУУ «КПІ», 2018. – С. 89-90.

58. Шевчук Н.А. Економіка і організація виробництва: Рекомендації до виконання розрахункової роботи: навч. посібник для студ. спеціальностей: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціалізацій: «Інжиніринг електротехнічних комплексів», «Електромеханічні та мехатронні системи енергоємних виробництв»/ Н.А. Шевчук, С.О. Тульчинська/КПІ ім. Ігоря Сікорського.– Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019.– 60 с.

## ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – параметри визначення  $K_1$  та  $K_2$ 

№№	Наименование материала	Плотность материала, г/см <sup>3</sup>	Весовая доля пылевой фракции в материале, $K_1$	Доля пыли, переходящая в аэрозоль, $K_2$
1.	Огарки	3,9	0,04	0,03
2.	Клинкер	3,2	0,01	0,003
3.	Цемент	3,1	0,04	0,03
4.	Известняк	2,7	0,04	0,02
5.	Мергель	2,7	0,05	0,02
6.	Известь комовая/молотая	2,7	0,07/0,07	0,05
7.	Гранит	2,8	0,02	0,04
8.	Мрамор	2,8	0,04	0,06
9.	Мел	2,7	0,05	0,07
10.	Гипс комовый/молотый	2,6	0,03/0,08	0,02/0,04
11.	Доломит	2,7	0,05	0,02
12.	Опока	2,65	0,03	0,01
13.	Пегматит	2,6	0,04	0,04
14.	Гнейс	2,9	0,05	0,02
15.	Каолин	2,7	0,06	0,04
16.	Нефелин	2,7	0,06	0,02
17.	Глина	2,7	0,05	0,02
18.	Песок	2,6	0,05	0,03
19.	Песчаник	2,65	0,04	0,01
20.	Слюда	2,8	0,02	0,01
21.	Полевой шпат	2,7	0,07	0,01
22.	Шлак	2,5 - 3,0	0,05	0,02
23.	Диорит	2,8	0,03	0,06
24.	Порфируды	2,7	0,03	0,07
25.	Графит	2,2 - 2,7	0,03	0,04
26.	Уголь	1,3	0,03	0,02
27.	Зола	2,5	0,06	0,04
28.	Диатомит	2,3	0,03	0,02
29.	Перлит	2,4	0,04	0,06
30.	Керамзит	2,5	0,06	0,02
31.	Вермикулит	2,6	0,06	0,04
32.	Оглопорит	2,5	0,06	0,04
33.	Туф	2,6	0,03	0,02
34.	Пемза	2,5	0,03	0,06
35.	Сульфат	2,7	0,05	0,02
36.	Шамот	2,6	0,04	0,02
37.	Смесь песка и извести	2,6	0,05	0,01
38.	Кирпич бой		0,05	0,01
39.	Минеральная вата		0,05	0,01
40.	Щебенка		0,04	0,02

Таблица А.2 – Залежність параметру  $K_3$  від швидкості вітру

Скорость ветра, м/с	$K_3$
до 2	1
до 5	1,2
до 7	1,4
до 10	1,7
до 12	2,0
до 14	2,3
до 16	2,6
до 18	2,8
до 20	
и выше	3,0

Таблица А.3 – Залежність параметру  $K_4$  від місцевих умов

Местные условия	$K_4$
Склады хранилища открытые	
а) с 4-х сторон	1
б) с 3-х сторон	0,5
в) с 2-х сторон полностью и с 2-х сторон частично	0,3
г) с 2-х сторон	0,2
д) с 1-й стороны	0,1
е) загрузочный рукав	0,01
ж) <sup>2</sup> закрыт с 4-х сторон	0,005

Таблица А.4 – Залежність параметру  $K_5$  від вологості матеріалу

Влажность материалов, % <sup>3</sup>	$K_5$
0 - 0,5	1,0
до 1,0	0,9
до 3,0	0,8
до 5,0	0,7
до 7,0	0,6
до 8,0	0,4
до 9,0	0,2
до 10,0	0,1
свыше 10	0,01

Таблица А.5 – Залежність параметру  $K_7$  від розміру фракцій

Размер куса, мм	$K_7$
> 500	0,1
500 - 100	0,2
100 - 50	0,4
50 - 10	0,5
10 - 5	0,6
5 - 3	0,7
3 - 1	0,8
1	1,0



Таблиця А.6 – Залежність параметру  $B^1$  від висоту пересипки

Высота падения материала	$B^1$
0,5	0,4
1,0	0,5
1,5	0,6
2,0	0,7
4,0	1,0
6,0	1,5
8,0	2,0
10,0	2,5