

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет

*Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису*

КРЮКОВСЬКА ЛЕСЯ ІВАНІВНА

УДК 504.62:625.8+669:67.08

**ДИСЕРТАЦІЯ
ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ
У ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ
МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ**

21.06.01 – екологічна безпека

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Крюковська Л. І.

Науковий керівник – доктор технічних наук, доцент Хрутьба В. О.

Ідентичність усіх примірників дисертації

ЗАСВІДЧУЮ

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради

(_____)

Л. М. Черняк

Київ – 2019

АНОТАЦІЯ

Крюковська Леся Іванівна. Підвищення рівня екологічної безпеки у дорожньому будівництві шляхом використання металургійних шлаків –
Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.01 – Екологічна безпека. – Національний авіаційний університет, Київ, 2019.

Дисертаційну роботу присвячено підвищенню рівня екологічної безпеки у дорожньому будівництві шляхом використання відходів металургійних виробництв як альтернативного матеріалу дорожнього будівництва.

Розроблено методику оцінювання рівня екологічної безпеки в дорожньому будівництві під час заміни природних кам'яних матеріалів металургійними шлаками, яка включає моделі підсистем поводження з відходами та будівництва доріг, описує основні процеси життєвого циклу перетворення металургійних шлаків в ланцюзі «відходи – сировина – матеріал – елемент конструкції дорожнього одягу».

Запропоновано комплекс критеріїв оцінювання техніко-експлуатаційних властивостей дорожнього одягу з використанням металургійних шлаків, а також критеріїв прогнозування рівня екологічної безпеки за різних сценаріїв використання металургійних шлаків в дорожньому будівництві.

Експериментально встановлено закономірності впливу хімічного складу шлаків металургійних комбінатів на механічні характеристики шлаків як матеріалів для дорожнього будівництва.

Показано, що при використанні металургійного шлаку з рекомендованою висотою шару основи забезпечуються вимоги до міцності дорожнього одягу. В загальній структурі конструкції дорожнього одягу різних категорій доріг обсяг металургійних шлаків становить 25,4...32,5 %.

Виконано прогнозування рівня екологічної безпеки за різних сценаріїв використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві. Визначено

сумарний прогнозований еколого-економічний ефект використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві за попередженими екологічними збитками навколишньому середовищу.

Ключові слова: дорожнє будівництво; природні матеріали; металургійні шлаки; дорожній одяг; екологічна безпека; критерії оцінювання.

ABSTRACT

Kriukovska Lesia Ivanivna. Increasing the level of environmental safety in road construction using metallurgical slags. – Manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 21.06.01 – «Ecological safety». – National Aviation University, Kyiv, 2019.

The dissertation is devoted to increasing the level of environmental safety using metallurgical industry waste as an alternative material for road construction.

The methodology for assessing the level of environmental safety in road construction during the replacement of natural stone materials with metallurgical slags, which includes models of waste management and road building subsystems, describes the basic processes of the life cycle of the transforming the metallurgical slags in the chain «waste - raw material - material - element of road clothes».

Based on the formation of morphological structures of road clothes with the use of metallurgical slags for roads of various categories with given technical and operational characteristics the method of determination of possible volumes of replacement of natural materials by metallurgical slags is developed.

The evaluation criteria of technical and operational properties of road clothes with the use of metallurgical slags, as well as criteria for forecasting the environmental safety level in different scenarios of using metallurgical slags in road construction, are proposed.

The regularities of the influence of slagchemical composition of metallurgical enterprises on the mechanical characteristics of slags as materials for road construction have experimentally established.

Using correlation-regression analysis of the experimental results, regressive dependences of the modulus of elasticity of slags on their activity are obtained, which are the initial values for calculation of road clothes strength and determination of the required value of the thickness of the base layer of road clothes and, accordingly, the value of volumes of possible replacement of natural materials by metallurgical slag.

The comparative estimation of technical and operational properties of the formed typical morphological structures with the use of slags for three technical categories of roads has been carried out. It is shown, using slag with the recommended thickness of the base of road clothes, the requirements for the durability of road clothes are provided. In the general structure of road clothes of various categories of roads, the volume of metallurgical slags is 25,4...32,5 %, which leads to a reduction of labor costs of construction by 18...32%, with a relative decreasing the cost of materials in 1,3...1,5 times.

Forecasting the level of environmental safety in different scenarios of the use of metallurgical slags in road construction is carried out. The total predicted ecological and economic effect of the use of metallurgical slags in road construction considering the ecological damage caused for the environment is determined.

The results of the dissertation work were used for the development of six sectoral standard documents, four technical specifications and sectoral recommendations that regulate the requirements for slag as road construction material, requirements for road clothes using slags and environmental requirements for roads.

Keywords: road construction; natural materials; metallurgical slags; road clothes; environmental safety; evaluation criteria.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Крюковська Л. І. Розробка моделі життєвого циклу металургійного шлаку як дорожньо-будівельного матеріалу / Л. І. Крюковська // Вісник Національного транспортного університету – К. : НТУ. – 2009. – Вип.18.– С. 206 – 211.

2. Крюковська Л. І. До оцінювання властивостей дорожнього одягу з використанням у конструкції альтернативних матеріалів / Л. І. Крюковська // Вісник Національного транспортного університету. – 2010. – Вип. 20. – С. 233–237.

3. Крюковська Л. І. Систематизація конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу з використанням альтернативних матеріалів / Л. І. Крюковська, В. О. Хрутьба // Вісник НТУ. – 2012. – Вип. 25. – С. 400–404.

4. Крюковська Л. І. До еколого-економічної оцінки заміни природних матеріалів металургійними шлаками при будівництві доріг / Крюковська Л.І. // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2013. – Вип. 27. – С. 359–364.

5. Крюковська Л. І. Визначення показників екологічної безпеки проектів використання відходів як дорожньо-будівельного матеріалу / Л. І. Крюковська, В. О. Хрутьба, Г. О. Вайганг // Науковий журнал «Технічний аудит та резерви виробництва» – 2015. – № 4. – С. 64–71.

6. Крюковська Л. І. Математичне моделювання властивостей металургійних шлаків як дорожньо-будівельного матеріалу / Л. І. Крюковська // Науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво» – 2017. – Вип. 100. – С. 97–104.

7. Крюковська Л. І. Розробка системи управління проектами використання металургійних відходів / Л. І. Крюковська, О. П. Кобзиста, В. О. Хрутьба // «Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdow samochodowych i maszyn roboczych samojezdnych – Zarzadzanie i marketing w motoryzacji – SAKON'2009». Politechnika Rzeszowska. Tom XX. (23–26 wrzesnia 2009 r.) Rzeszow. 2009. – С. 271–274.

8. Системна модель екологічної безпеки застосування відходів як альтернативного дорожньо-будівельного матеріалу / Л. І. Крюковська // Проблеми хімотології. Теорія та практика раціонального використання традиційних і альтернативних паливно-мастильних матеріалів: Монографія / С. Бойченко, К. Лейда, В. Матейчик, П. Топільницький / за заг. ред. проф. С. Бойченка. – К. : Центр учбової літератури, 2017. – 452 с. – С. 407–407.

9. Крюковська Л. І. Використання доменних і сталеплавильних шлаків у дорожньому будівництві як вирішення проблеми утилізації відходів металургійних комбінатів / Л. І. Крюковська, В. Ф. Скорченко // Труды международной конференции «Отходы производства и потребления, медико-экологические и экономические аспекты». – 17–21 мая 2005 г. – г. Ялта. – К. : «Знання» України, 2005. – С. 211–212.

10. Крюковська Л. І. Застосування металургійних шлаків при будівництві автомобільних доріг як заміників традиційних дорожньо-будівельних кам'яних матеріалів / Л.І. Крюковська // Зб.: 63-наукова конференція професорсько-викладацького складу і студентів НТУ. Тези доповідей.– К. : НТУ. – 2007. С. 70.

11. Крюковська Л. І. Розробка алгоритму управління проектом використання відходів металургійного виробництва / Л. І. Крюковська, В. О. Хрутьба // Управління проектами: стан та перспективи: Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. (16–18 вересня 2009 р.) – Миколаїв: НУК, 2009. – С. 69–70.

12. Крюковська Л. І. Використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві як вирішення проблеми щодо їх утилізації / Л. І. Крюковська, В. О. Хрутьба // Регіональні екологічні проблеми. Матеріали II Міжнародної наукової конференції студентів, магістрантів і аспірантів. – Одеса: ОДЕКУ, 2009. – С. 170.

13. Крюковська Л. І. Підвищення рівня екологічної безпеки в проектах використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві / Л. І. Крюковська // Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства» (29 – 30 лист. 2012 р.). // Львів: ЛДУБЖД, 2012. – С. 367–368.

14. Крюковська Л. І. Методика еколого-економічного оцінювання дорожнього одягу нежорсткого типу при використанні доменних шлаків у шарах основи / Л. І. Крюковська // LXIX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету. Тези доповідей. – К. : НТУ, 2013. – С. 87.

15. Крюковська Л. І. Перспективи підвищення екологічної безпеки дорожнього будівництва в сучасних умовах / Л. І. Крюковська, В. О. Хрутьба // Екологічна безпека держави: тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів – м. Київ, 15–17 квітня 2014р., НАУ / ред. О. І. Запорожець та ін. – К. : НАУ, 2014. – С. 14.

16. Крюковська Л. І. Вибір та моделювання критеріїв оцінювання рівня екологічної безпеки на окремих етапах життєвого циклу металургійних шлаків / Л. І. Крюковська // LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету. Тези доповідей. – К. : НТУ, 2014. – С. 88.

17. Крюковська Л. І. Формування вимог екологічної безпеки при використанні металургійних шлаків у дорожньому будівництві / Л. І. Крюковська // Екологічна безпека держави: тези доповідей XI Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів. – м. Київ, 20 квітня 2017 р., НАУ / ред. О. І. Запорожець та ін. – К. : НАУ, 2017. – С. 61.

18. Крюковська Л. І. Розробка методики оцінювання рівня екологічної безпеки при використанні металургійних шлаків у дорожньому будівництві / Л. І. Крюковська // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції – «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи». – Львів : ЛДУБЖД, 2018. – С. 49–50.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ABSTRACT	3
СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ.....	4
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	11
ВСТУП.....	12
РОЗДІЛ 1 ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ У ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ	18
1.1. Стан і перспективи підвищення екологічної безпеки дорожнього будівництва в сучасних умовах	18
1.2. Характеристика відходів металургійного виробництва як забруднювача довкілля.....	27
1.3. Аналіз досвіду використання металургійних шлаків як замітника природних будівельних матеріалів у дорожньому будівництві	35
1.4. Аналіз методів оцінювання рівня екологічної безпеки при використанні альтернативних матеріалів в дорожньому будівництві	43
1.4.1. Загальні методи оцінки рівня екологічної безпеки	43
1.4.2. Методи оцінки рівня екологічної безпеки поводження з відходами.....	49
1.4.3. Методи оцінки рівня екологічної безпеки будівництва та експлуатації автомобільних доріг	51
Висновки до розділу, мета та завдання дослідження.....	52
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ У ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ.....	55
2.1. Структура методики оцінювання рівня екологічної безпеки при використанні металургійних шлаків як альтернативного дорожньо- будівельного матеріалу	55

2.2. Розробка системної моделі екологічної безпеки використання промислових відходів у дорожньому будівництві	59
2.3. Формування моделі життєвого циклу металургійного шлаку в ланцюзі «відходи – сировина – матеріал – елемент конструкції»	63
2.4. Моделювання властивостей металургійних шлаків на стадії «Сировина-Матеріал»	69
2.5. Розробка методу систематизації конструкцій дорожнього одягу за функціональними елементами для визначення обсягів заміни природних матеріалів АДБМ.....	77
2.6. Визначення можливих обсягів металургійних шлаків як заміника природних матеріалів в дорожньому будівництві.....	83
2.7. Формування комплексу критеріїв оцінювання екологічної безпеки використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві ...	87
2.7.1. Визначення критеріїв ефективності використання металургійних шлаків в КДО.....	87
2.7.2. Оцінка рівня екологічної безпеки при використанні металургійних шлаків в дорожньому будівництві.....	91
2.7.3. Визначення критерію оцінки ризику впливу на довкілля металургійних шлаків.....	93
2.8. Методика еколого-економічної оцінки ефективності використання металургійних шлаків як дорожньо-будівельних матеріалів.....	94
Висновки до розділу 2	96
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ НА ОКРЕМИХ ЕТАПАХ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ	98
3.1. Мета і програма експериментальних досліджень.....	98
3.2. Визначення ризику небезпеки збереження шлаків у відвалах металургійних комбінатів	99
3.3. Результати експериментальних досліджень характеристик металургійних шлаків на окремих етапах життєвого циклу	106

3.3.1. Об'єкти експериментальних досліджень.....	106
3.3.2. Визначення активності металургійних шлаків як сировини для дорожньо-будівельних матеріалів.....	107
3.3.3. Аналіз впливу хімічного складу металургійних шлаків на показники активності	109
3.3.4. Визначення модуля пружності металургійних шлаків як дорожньо-будівельних матеріалів.....	114
3.3.5. Визначення механічних властивостей металургійного шлаку.....	116
3.4. Визначення обсягів заміни природних матеріалів металургійними шлаками в конструкції дорожнього одягу	119
Висновки до розділу 3	122
РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ У ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ	123
4.1. Прогнозування зниження ризику небезпеки у відвалах металургійних комбінатів	123
4.2 Порівняльна оцінка конструкцій дорожнього одягу з використанням природних та альтернативних матеріалів	128
4.2.1. Формування конструкцій дорожнього одягу різних категорій доріг.....	128
4.2.2. Порівняння критеріїв для різних категорій доріг.....	130
4.2.3. Прогнозування рівня екологічної безпеки	134
4.3. Еколого-економічна оцінка використання металургійних шлаків як дорожньо-будівельних матеріалів.....	137
Висновки до розділу 4	138
ВИСНОВКИ.....	140
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	143
ДОДАТКИ.....	162

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АДБМ – альтернативні дорожньо-будівельні матеріали

ДБМ – дорожньо-будівельні матеріали

КДО – конструкція дорожнього одягу

МШ – металургійні шлаки

НС – навколишнє середовище

ВСТУП

Актуальність роботи. Дорожнє будівництво є галуззю, що забезпечує транспортну систему необхідною мережею автомобільних доріг. Техніко-експлуатаційні властивості автомобільних доріг повинні відповідати сучасним вимогам з точки зору їх якості, безпеки та екології. Конструкції дорожнього одягу (КДО) і будівельні технології передбачають використання великих об'ємів природних кам'яних матеріалів, що має негативні наслідки для природних екосистем і є чинником екологічної небезпеки.

Зменшити об'єми використання природних будівельних матеріалів можна шляхом їх заміни альтернативними, зокрема шлаковими матеріалами, які є відходами металургійного виробництва. Металургійні шлаки (МШ) зберігаються у відвалах, які, свою чергою, є суттєвим чинником екологічної небезпеки через забруднення атмосферного повітря, ґрунтів, поверхневих і підземних вод. Тому утилізація МШ через їх використання як альтернативних дорожньо-будівельних матеріалів (ДБМ) призведе до подвійного (синергетичного) екологічного ефекту в зменшенні техногенного навантаження на навколишнє середовище (НС) з вирішенням важливих завдань дорожнього будівництва щодо забезпечення заданих техніко-експлуатаційних характеристик КДО.

Це і визначило актуальність дисертаційної роботи, спрямованої на розроблення системної моделі оцінювання екологічної безпеки використання МШ в дорожньому будівництві та оцінку рівня екологічної безпеки за різних сценаріїв використання МШ як альтернативних ДБМ.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота пов'язана з виконанням держбюджетних і госпдоговірних науково-дослідних робіт (НДР): «Розроблення і впровадження технології будівництва та реконструкції автомобільних доріг з використанням металургійних доменних і сталеплавильних шлаків як замінників традиційних дорожньо-будівельних кам'яних матеріалів» (2002–2005, номер державної реєстрації 0103U005338), «Розробка технологій поводження з відходами в транспортно-дорожньому комплексі» (2009–2010,

номер державної реєстрації 0107U009610), «Підвищення довговічності дорожнього одягу нежорсткого типу автомобільних доріг з шарами основи із доменних шлаків» (2011–2012, номер державної реєстрації 0111U000092), НДР кафедри екології та безпеки життєдіяльності Національного транспортного університету «Удосконалення та розробка методів екологічної безпеки та безпеки життєдіяльності» (2013–2014, номер державної реєстрації 0112U004448; 2015–2016, номер державної реєстрації 0115U006782; 2017–2018, номер державної реєстрації 0118U001109).

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення рівня екологічної безпеки в дорожньому будівництві шляхом використання МШ для зменшення шкідливого впливу шлакових відвалів на НС та збереження природних кам'яних матеріалів за умови забезпечення заданих міцнісних характеристик КДО.

Для досягнення мети було поставлено такі **завдання**:

– обґрунтувати можливості підвищення рівня екологічної безпеки в дорожньому будівництві за рахунок використання відходів металургійних виробництв як альтернативних ДБМ;

– розробити методику оцінювання екологічної безпеки використання МШ як заміника природного матеріалу в дорожньому будівництві;

– провести експериментальні дослідження якісних характеристик МШ в окремих фазах життєвого циклу для визначення вимог до шлаків як ДБМ та вимог до КДО на основі шлаків;

– визначити можливі обсяги заміни природних матеріалів металургійними шлаками з урахуванням особливостей КДО доріг різної категорії;

– провести порівняльне оцінювання техніко-експлуатаційних властивостей КДО різних категорій доріг з використанням природних та альтернативних матеріалів;

– провести оцінювання рівня екологічної безпеки та еколого-економічної ефективності за різних сценаріїв використання МШ як ДБМ.

Об'єктом дослідження в дисертаційній роботі є процеси забезпечення екологічної безпеки у дорожньому будівництві під час використання МШ як альтернативних ДБМ.

Предметом дослідження є оцінювання рівня екологічної безпеки в окремих фазах життєвого циклу перетворення МШ в елементи КДО з урахуванням зміни впливу на НС металургійних шлаків як відходів виробництва та збереження природних матеріалів за умови забезпечення заданих міцнісних характеристик КДО.

Методи дослідження. Основні положення роботи, результати та висновки базуються на узагальненні результатів теоретичних та експериментальних досліджень. Під час виконання досліджень застосовувались документальні, натурні методи моделювання із застосуванням апробованих та науково обґрунтованих методик розрахунку КДО. Для побудови системної моделі оцінювання екологічної безпеки використання МШ у дорожньому будівництві застосовувались методи системного аналізу та кореляційно-регресійний аналіз. Експериментальні дослідження проводились із застосуванням методів планування експерименту і статистичного оброблення отриманих результатів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що:

– уперше розроблено системну модель оцінювання екологічної безпеки використання МШ як заміника природного матеріалу в дорожньому будівництві, яка включає підсистеми поводження з відходами та будівництва доріг, описує основні процеси життєвого циклу перетворення МШ у ланцюзі «відходи – сировина – матеріал – елемент конструкції», вхідні, вихідні параметри процесів і зворотні зв'язки та дозволяє аналізувати всі фази життєвого циклу МШ, визначити основні вимоги до нього як сировини та ДБМ, а також вимоги до КДО на основі шлаків;

– уперше розроблено метод визначення можливих обсягів заміни природних матеріалів МШ на основі формування морфологічних структур дорожнього одягу з використанням МШ для доріг різних категорій із заданими техніко-експлуатаційними характеристиками;

– запропоновано комплекс критеріїв оцінювання функціональних, технологічних, економічних та екологічних властивостей КДО із заданими обсягами використання МШ, а також критеріїв прогнозування рівня екологічної безпеки за різних сценаріїв використання МШ в дорожньому будівництві;

– знайшли подальший розвиток закономірності впливу хімічного складу МШ на їх механічні характеристики як ДБМ, які ґрунтуються на результатах кореляційно-регресійного аналізу експериментальних досліджень МШ різного походження, що дає змогу прогнозувати механічні властивості шлаків як ДБМ з урахуванням їх хімічного складу.

Практичне значення одержаних результатів складають:

– методика оцінювання рівня екологічної безпеки в дорожньому будівництві під час заміни природних кам'яних матеріалів МШ;

– вимоги до шлаків різних металургійних комбінатів як ДБМ та вимоги до КДО на основі шлаків, що знайшли відображення в нормативних документах, розроблених за участю автора;

– регресійні залежності модулів пружності шлаків від їх активності, що є вихідними величинами для визначення товщини шару основи дорожнього одягу і дозволяють визначити необхідні обсяги заміни природного кам'яного матеріалу МШ;

– морфологічні структури дорожнього одягу для доріг різної категорії та геометричні розміри елементів конструкції, що можуть бути реалізовані з використанням металургійних шлаків;

– числові значення функціональних, технологічних, економічних та екологічних критеріїв КДО з використанням природних та альтернативних матеріалів.

Результати дисертаційної роботи взяті до використання в Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна», м. Київ (Довідка № 20.1-1/1-630 від 27.12.2012 р.) та Управління з питань екології, енергоменеджменту та охорони праці Маріупольської міської ради, м. Маріуполь (Довідка № 32/28988 від 24.09.2018 р.).

Матеріали роботи застосовуються в навчальному процесі Національного транспортного університету під час викладання дисциплін «Екологія», «Управління поводження з відходами», «Стратегія сталого розвитку», «Екологічна безпека», «Управління соціальною та екологічною безпекою», що включають у себе курси лекцій, практичні і лабораторні заняття, курсові роботи (Довідка № 2436/01 від 22.10.2018 р.).

Особистий внесок здобувача полягає у: розробленні моделі життєвого циклу МШ [1 – 3]; аналізуванні та розробленні якісних показників до сировини і матеріалів з МШ [4 – 6]; розробленні методики визначення еколого-економічної ефективності використання МШ у дорожньому будівництві [7, 8]; визначенні комплексу критеріїв оцінювання рівня екологічної безпеки на окремих етапах життєвого циклу МШ як відходів металургійного виробництва, будівельних матеріалів та елементів конструкції дорожнього одягу [3, 9 – 11]; виконанні на основі морфологічного аналізу систематизації КДО нежорсткого типу з використанням альтернативних матеріалів [12, 13]; розробленні методики еколого-економічного оцінювання КДО з шарами основи із доменних шлаків [4, 6, 7, 9, 14 – 18].

Дисертаційна робота є самостійним завершеним дослідженням автора в галузі екологічної безпеки.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові положення і результати роботи доповідалися й обговорювалися на міжнародних науково-технічних конференціях: «Відходи виробництва та споживання, медично-екологічні і економічні аспекти» (м. Ялта, 2005); VIII Міжнародній науковій конференції аспірантів і студентів «Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів» (м. Донецьк, 2009); XX Міжнародній конференції «Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdow samochodowych i maszyn roboczych samojezdnych – Zarzadzanie i marketing w motoryzacji» (Rzeszow, 2009); Міжнародних науково-практичних конференціях «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства» (м. Львів, 2012, 2018); IV Всеукраїнській науково-практичній конференції «Охорона навколишнього

середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України» (м. Запоріжжя, 2008); XI Всеукраїнській науковій конференції студентів, магістрантів і аспірантів «Регіональні екологічні проблеми» (м. Одеса, 2009); Всеукраїнських науково-практичних конференціях молодих учених і студентів «Екологічна безпека держави» (м. Київ, 2014 – 2017), науково-практичних конференціях науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів НТУ, 2003 – 2018 рр.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 18 друкованих наукових праць, у тому числі одну статтю в розділі в колективній монографії, одну статтю у наукових періодичних виданнях інших держав з напрямку, з якого підготовлено дисертацію, шість статей у фахових виданнях України з технічних наук, 10 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях, доповідь на Всеукраїнській науково-технічній конференції та два документи авторського права.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (168 найменувань) та 12 додатків. Матеріали дисертаційної роботи викладено на 188 сторінках друкованого тексту, ілюстровано 27 рисунками, текст містить 31 таблицю.

РОЗДІЛ 1

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ У ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ

1.1. Стан і перспективи підвищення екологічної безпеки дорожнього будівництва в сучасних умовах

Мережа автомобільних шляхів невід’ємна складова частина автомобільно-дорожнього комплексу України. Розвиток автомобільних доріг є показником, який характеризує економічний стан країни.

Дорожнє господарство – це система автомобільних доріг, інженерних мереж, державних та приватних підприємств і організацій, що їх обслуговують. Загальна протяжність автомобільних доріг державного та місцевого значення складає близько 169,652 тис км (з них 10,954 тис км (6,5 %) на тимчасово не підконтрольній території), якість яких суттєво впливає на ефективність національного бізнесу та конкурентоздатність української економіки. За даними Міністерства інфраструктури, мережа автомобільних доріг загального користування України поділяється на дороги державного значення – 46,985 тис км і дороги місцевого значення – 122,667 тис км. На рис. 1.1 представлено структуру мережі автомобільних доріг загального користування [19].

Із загальної протяжності доріг з твердим покриттям дороги з удосконаленими типами покриття (цементобетон, асфальтобетон, чорні шосе) становлять 79 %, решта – з перехідними типами (білі щебеневі і гравійні, бруківки). Розподіл доріг загального користування за типами покриттів приведено на рис. 1.2 [20].

У зв’язку з обмеженим фінансуванням біля 80 % автомобільних доріг загального користування не ремонтували понад 30 років. Відтак, автомобільні

дороги загального користування (169,6 тис км) не відповідають сучасним вимогам як за міцністю (39,2 %) так і за рівністю (51,1 %).

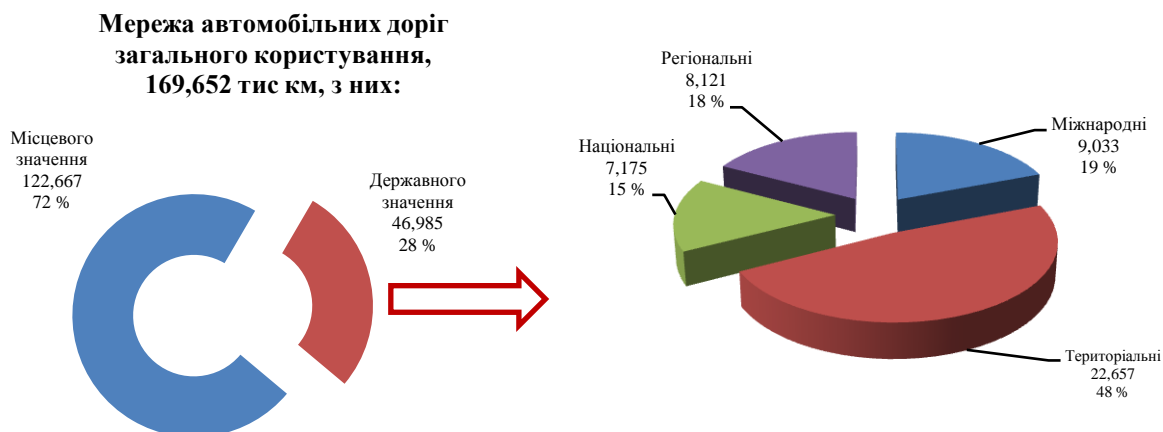


Рис. 1.1. Структура мережі автомобільних доріг загального користування
Джерело: [19]

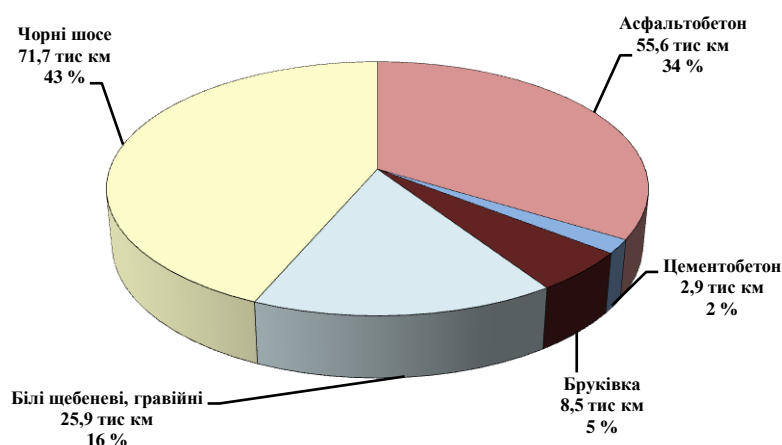


Рис. 1.2. Структура мережі автомобільних доріг загального користування
Джерело: [20]

Одним із основних напрямків реалізації Транспортної стратегії України на період до 2020 року [21] є забезпечення екологічної безпеки, обов'язкового дотримання екологічних стандартів і нормативів під час провадження діяльності у галузі транспорту. Цей напрямок включає мінімізацію шкідливого впливу транспорту на довкілля; підвищення рівня облаштування автомобільних доріг, вулиць та залізничних переїздів з метою забезпечення безпеки дорожнього руху; підвищення вимог до безпечності конструкцій транспортних засобів і дорожнього одягу.

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.

ГБН В. 2.3-218-007:2012 «Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Проектування» визначають вимоги проектування при будівництві, реконструкції та капітальному ремонті автомобільних доріг загального користування та штучних споруд на них стосовно захисту НС. Під екологічною безпекою дороги розуміється характер впливу її на НС в межах граничних екологічних норм, включаючи шкідливі викиди транспортних засобів, забезпечення міграції тварин, плазунів тощо, шумове забруднення НС та інші шкідливі впливи дороги [22].

Отже, основою забезпечення екологічної безпеки технологічних процесів дорожніх робіт є виконання загальних техніко-експлуатаційних вимог проектною документації на будівництво, реконструкцію, капітальний ремонт та дотримання норм і вимог нормативно-технічної документації [22].

В ОДН 218.5.016-2002 «Показатели и нормы экологической безопасности автомобильной дороги» під екологічною безпекою автомобільної дороги (екологічно безпечним її станом) розуміють її здатність забезпечувати мінімум шкідливих впливів і забруднень природного середовища прилеглих до дороги територій, сформованих інженерних споруд і КДО, їх вплив на роботу автомобільного транспорту [23].

Юрченко О. В. розглядає екологічну безпеку дорожнього господарства як функціональну складову його економічної безпеки з точки зору захищеності його економічних інтересів від екологічних загроз, а також із позиції недопущення дорожнім господарством екологічного збитку довікілью [24].

Отже, відповідно проведеним дослідженням, екологічно безпечним вважається такий стан дороги, при якому:

- забруднення природного середовища придорожньої території, обумовлені інженерними спорудами та конструкціями дороги, відсутні або є мінімально можливими при існуючих технологіях і сучасних вимогах;

- створені умови, що забезпечують мінімальний вплив на природу з боку автомобільного транспорту, що знаходиться на автомобільній дорозі.

Галузеві будівельні норми ГБН В.2.3-218-540:2012 «Споруди транспорту. Охорона довкілля при будівництві, ремонті та експлуатаційному утриманні автомобільних доріг» встановлюють вимоги до охорони довкілля і раціонального використання природних ресурсів, а також спрямовані на забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини, збереження та відновлення стану довкілля в зоні впливу автомобільних доріг загального користування при їх будівництві, ремонті та експлуатації [25]. Оцінка екологічної безпеки автомобільної дороги виконується з використанням груп і видів впливу, визначених на рис. 1.3.

Питанню впливу автомобільних доріг на довкілля автотранспорту та дорожнього будівництва присвячені наукові розробки В. Бабкова, В. Бойчука, О. Білятинського, Ф. Гончаренка, І. Євгенєва, Б. Каримова, Д. Прусенка, В. Скорченка, Ю. Трофименка, Я. Хомяка та ін. [26 – 32].

В дослідженнях Г. Р. Фоменко, Н. О. Нечитайло вивчалися питання прогнозування й оцінки впливу на НС конструкції автомобільної дороги та запропоновано ряд заходів з поліпшення екологічної ефективності у проектах реконструкції автомобільних доріг [33].

Найбільш широко питання екологічної безпеки комплексу «автомобіль – дорога – середовище» розглянуто в роботах Н. В. Внукової [34, 35]. Частина робіт була присвячена аналізу впливу автомобільної дороги на НС всіх стадій життєвого циклу дороги [36].

Автор визначає, що техногенний вплив автомобільної дороги на екосистеми придорожньої смуги розділяють на прямий і непрямий. Автомобільна дорога як інженерна споруда, при прокладанні на місцевості порушує природні ландшафти,

змінює режим стоку поверхневих і ґрунтових вод, здійснює інші негативні впливи.



Рис. 1.3. Групи та види впливу автомобільної дороги на НС

Джерело: розроблено автором згідно [22]

Огляд літератури показує, що автори приділяють особливу увагу питанням збереження довкілля на стадії проектування робіт з реконструкції та будівництва автомобільних доріг. Можливі впливи на навколишнє середовище, внаслідок будівництва та експлуатації автомобільної дороги та штучних споруд приведено на рис. 1.4. Основні впливи автомобільної дороги і штучних споруд на навколишнє середовище представлено в табл. 1.1.

Дорожнє господарство є споживачем значної кількості природних ресурсів. Опосередкований вплив автомобільної дороги на НС здійснюється за рахунок високої матеріалоемності галузі та використання великої кількості природних

Можливі впливи на навколишнє середовище, внаслідок будівництва та експлуатації автомобільної дороги та штучних споруд

Під час виконання будівельних робіт		Під час експлуатації дороги		
повітряне середовище	викиди відпрацьованих газів, поширення речовин у вигляді суспендованих твердих частинок (пилу, сажі) від будівельної техніки та автотранспорту	повітряне середовище	забруднення викидами відпрацьованих газів двигунів автомобілів та твердими рештками від зносу шин та дорожнього покриття	
акустичне середовище	шум, вібрація від роботи машин та механізмів	акустичне середовище	шум та вібрація від автомобільного транспорту	
гідрогеологічне середовище	можливі тимчасові та постійні зміни режиму, рівнів ґрунтових та підземних вод, їх хімічне забруднення	водне середовище	скиди зливових і талих стічних вод з дорожнього покриття та штучних споруд	
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)	ґрунти	забруднення побутовим сміттям, скидами зливових і талих стічних вод	
ландшафти	зміни місцевих ландшафтів при будівництві земляного полотна, виконанні протиерозійних та протизсувних заходів, влаштуванні виїмок та насипів, розробці кар'єрів		Опосередкований вплив автомобільної дороги	
рослинний і тваринний світ, заповідні об'єкти	вирубування 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, що містять нафтопродукти та інші хімічні сполуки, забруднення будівельними відходами			
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			
навколишнє соціальне середовище (населення)	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			
навколишнє техногенне середовище	вплив викидів, вібрації на будівлі та споруди, порушення експлуатаційної надійності елементів техногенного середовища, утворення будівельних та побутових відходів			
				зміни умов міграції диких тварин, вплив на біотопи, біологічні та екологічні системи
				вилучення земель у постійне користування, зміни умов місцевого та транзитного середовища
				можливий вплив викидів, шуму і вібрації на будівлі та споруди, у тому числі
			потенційно-небезпечні техногенні об'єкти	

Рис. 1.4. Впливи на довкілля, внаслідок будівництва та експлуатації автомобільної дороги та штучних споруд
 Джерело: розроблено автором [25]

Таблиця 1.1

Основні впливи автомобільної дороги і штучних споруд на навколишнє середовище

Ґрунти та ландшафт	Водоймища та ґрунтові води	Флора та фауна	Атмосфера	Фізичні	Соціальні
При виконанні будівельних робіт					
Значні зміни ландшафту. Зсуви, осипи, спливи, інші види переміщень земляних мас унаслідок їхнього підрзування. Селі, зсуви, снігові лавини, обвали, розмиви внаслідок порушення покрівель гірських порід на схилах. Активізація ерозії ґрунтів, ріст ярів. Активізація карстових явищ. Порушення родючого шару ґрунту.	Зміни режиму ґрунтових вод, осушення і перезволоження ґрунтів. Зниження водопроникності ґрунтів, заболочування. Зміни умов поверхневого стоку. Збільшення мутності води, замулювання русел водотоків продуктами розмиву місць будівництва, незакріпленого земляного полотна, засмічення водотоків побутовими і будівельними відходами. Порушення гідрологічного режиму боліт	Порушення природних біоценозів і цінних сільгоспугідь. Порушення природних біотопів та умов існування диких тварин. Порушення умов існування риб та ін. водних живих об'єктів при будівництві мостів. Створення умов для розмноження комарів, кліщів. Вирубування зелених насаджень, розчищення земель від чагарників	Забруднення атмосферного повітря викидами відпрацьованих газів будівельних машин і механізмів. Забруднення атмосферного повітря притрасовими підприємствами	Шум та вібрація при роботі будівельних машин і механізмів	Знесення будівель, переселення людей, вилучення земель, пов'язане з будівництвом дороги. Забруднення територій поблизу будівельних організацій відходами (будівельними та побутовими тощо). Погіршення умов руху сільськогосподарської техніки, свійських тварин, гужового транспорту. Руйнування та пошкодження пам'яток історії і культури, включаючи археологічні пам'ятки
Забруднення ґрунтів і водойм паливно-мастильними матеріалами з транспортних засобів, і дорожньо-будівельних машин на будівельних майданчиках.					
При проектуванні автомобільної дороги					
Забруднення ґрунтів внаслідок осідання твердофазних викидів ЗР. Запилення території. Забруднення пришляхової смуги ТПВ	Порушення гідрологічного режиму рік, зміни руслових процесів, переформатування берегів		Забруднення атмосферного повітря	Шум. Вібрація	Погіршення умов та безпеки проїзду при виконанні будівельних робіт. Порушення місцевих шляхів сполучення, розпаювання сільськогосподарських угідь. Створення підвищеної аварійності на дорозі в місцях перетину з іншими дорогами
Забруднення водних об'єктів та ґрунтів стоками дощових і талих вод з автомобільних доріг і мостів. Ерозія земель внаслідок концентрації тимчасових водних потоків штучними спорудами, трубами кюветами і канавами					

Джерело: розроблено автором [22]

ресурсів для будівництва та ремонту доріг, що формує високий рівень екологічної безпеки.

Відомо, що основними дорожньо-будівельними матеріалами є кам'яні природні матеріали і заповнювачі, органічні і неорганічні в'язучі матеріали, суміші та бетони на їх основі. В залежності від призначення і умов, в яких буде працювати матеріал, використовують дроблені матеріали (щебінь, висівки), колоті (бутовий камінь), штучні різного ступеня обробки (брущатка, бортові та облицювальні камені, блоки). В таблиці 1.2 приведено обсяги виробництва продукції з кам'яних природних матеріалів для дорожнього будівництва за 2017 рік [37].

Таблиця 1.2

Виробництво промислової продукції за 2017 рік

№	Вид виробленої промислової продукції	Обсяг продукції
1	Камінь дроблений (щебінь), який використовується як наповнювач бетону, для дорожнього покриття та подібних цілей (крім гальки, гравію та кремнію), тис т	44649,5
2	Граніт, необроблений або начорно оброблений, тис т	32701,4
3	Галька та гравій як наповнювачі бетону, для дорожнього покриття та подібних цілей; кремній тис т	4978,6
4	Порфір, базальт, туф вулканічний і камінь інший, необроблені або начорно оброблені чи розпиляні на прямокутні або квадратні блоки та плити (крім каменю вапнякового декоративного чи будівельного щільністю 2500 кг/м ³ і більше, граніту та пісковіку), тис т	4021,1
5	Піски будівельні, такі як глинисті, каолінові (крім кременистих та металоносних пісків), тис т	9414,8
7	Вапняк, флюс вапняковий та інший вапняковий камінь для виготовлення вапна й цементу (крім подрібненого вапнякового наповнювача), тис т	7619,6
8	Крихта, гранули та порошок з порфіру, базальту, пісковіку та іншого каменю, тис т	12822,5
9	Мінерали інші, т	958550
10	Графіт, кварц і кварцити природні, т	909475

Джерело: розроблено автором за даними Державної служби статистики України.

У будівництві автомобільних доріг витрати на матеріали перевищують 60 %. Від їх якості багато в чому залежить безпека руху, економічна ефективність автомобільного транспорту, а також споживчі властивості (коефіцієнт зчеплення, рівність та інші) і довговічність споруд.

Динаміка зміни обсягів використання природних матеріалів за 2011 – 2017 р.р. приведена на рис. 1.5.

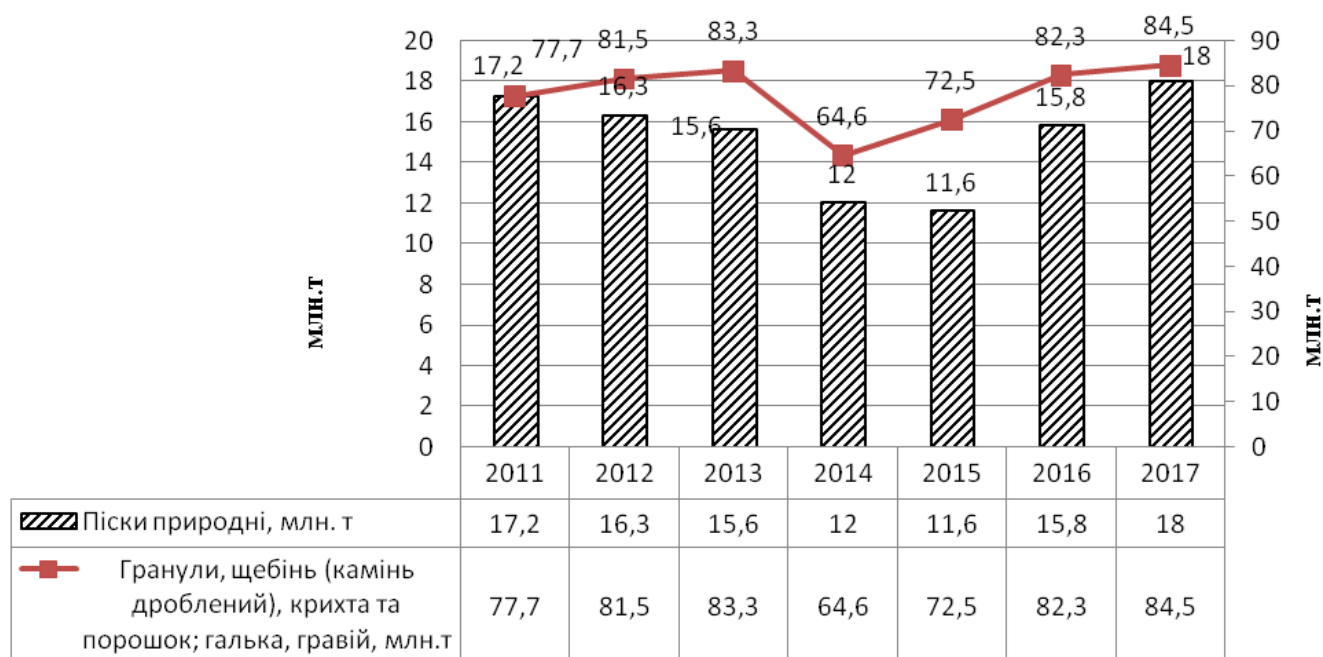


Рис. 1.5. Динаміка зміни обсягів використання природних матеріалів за 2011 – 2017 р.р.

Джерело: розроблено автором за даними Державної служби статистики України.

Забезпечення ресурсозбереження природних матеріалів можливо за рахунок розширення асортименту заповнювачів за рахунок використання нетрадиційних матеріалів (місцевих, штучних, відходів промисловості, укріплених ґрунтів). Поряд з економічним критерієм важливим є чинник екологічної безпеки, що повинен враховуватися при будівництві дорожнього одягу. Інтенсивні темпи дорожнього будівництва потребують пошуку альтернативних замінників природних будівельних матеріалів. Природним є прагнення замінити частину природних матеріалів вторинними продуктами промисловості або відходами виробництва інших галузей.

Таким чином, аналіз стану дорожнього будівництва в сучасних умовах показав, що дорожнє будівництво належить до числа найбільш матеріаломістких галузей промисловості та потребує значної кількості сировинних і енергетичних ресурсів. Перспективою підвищення екологічної безпеки є заміна природних

будівельних матеріалів альтернативними, які мають меншу енергоємність, але водночас відповідають вимогам сучасної будівельної індустрії та забезпечують разом з технічними та економічними перевагами і екологічні – зниження негативних впливів на НС. Сучасні наукові дослідження в галузі технології та організації будівельного виробництва спрямовані на зниження вартості будівельних матеріалів та виробів за рахунок застосування відходів промисловості, наприклад металургійного виробництва, в якості вторинної сировини. Розглянемо відходи металургійного виробництва як забруднювача довкілля.

1.2. Характеристика відходів металургійного виробництва як забруднювача довкілля

Металургійна промисловість, як відомо, поєднує чорну і кольорову металургію, коксове та прокатне виробництво, а також суміжні допоміжні об'єкти і процеси. У рейтингу World Steel Association (WSA) Україна зберігає провідне місце по виробництву металопродукції і наближається до країн, що посідають 11–12 місця в означеному світовому рейтингу [38, 39]. Виробництво металопрокату в Україні сьогодні забезпечує об'єднання підприємств ОП «Укрметалургпром», яке впливає на розвиток гірничо-металургійного комплексу України [40]. До його складу входять: ПАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь», ПАТ «ММК ім. Ілліча, ПАТ «Алчевський металургійний комбінат» (знаходиться на тимчасово непідконтрольній території України), ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат», ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ПАТ «Донецьксталь» – металургійний завод» (знаходиться на тимчасово непідконтрольній території України), ПАТ «Єнакієвський металургійний завод» (знаходиться на тимчасово непідконтрольній території України), ПАТ «Запоріжсталь» та ін.

За оперативними даними ОП «Укрметалургпром» [40] за 12 місяців 2017 р. українськими металургами вироблено 18,44 млн т металопрокату, з яких експортовано 79,1 % або 14,59 млн т. Згідно даних ООО «ЕТР-СПЕКТР» за 6

місяців 2018 року вироблено: чавуну 10,15 млн т, сталі 10,35 млн т, прокату 9,25 млн т.

Металургійна галузь є однією з найбільш забруднюючих галузей господарства, викиди якої від стаціонарних джерел забруднення досягають 38 % загальної кількості забруднюючих речовин. На підприємства чорної металургії припадає близько 15 % всіх промислових викидів в атмосферу пилу, 8–10 % – викидів діоксиду сірки, 10–15 % – загального обсягу споживання води. До цього слід додати величезну кількість твердих відходів (шлаків, шлаків тощо) [41].

Відходи металургійного підприємства, за даними В. А. Носкова, В. Ф. Макогон, розподіляються так [42]: шлаки — 57–63 %; мінеральні відходи (лом вогнетривів та вхідні компоненти) — 4–6 %; металобрухт — 15–17 %; пил, шлам, окалина — 9–13 %; інші — 2–4 %. Основну частину цих відходів складають шлаки, які є багатоконпонентними системами, що складаються з продуктів високотемпературної взаємодії руди, порожньої породи, флюсів, палива та штучних мінералів, містять оксиди (SiO_2 , CaO , FeO , MgO , Al_2O_3 і (рідше) ZnO) змінного складу, є нестійкими у фізико-хімічних умовах земної поверхні. Річне утворення шлаків в середньому становить: 4,4 млн т доменних шлаків, 2,6 млн т сталеплавильних, 0,829 млн т феросплавних.

Хімічний склад металургійних шлаків визначають безпосередньо на підприємстві у лабораторії, за допомогою приладів та обладнання: спектрометр «Спектроскан Макс-GV», скануючі моделі апаратів рентгенівських «Спектроскан МАКС», рентгенівський спектрометр «Спектроскан Макс-GF1E» та рентгенівський спектрометр «Спектроскан Макс-GF1E» (рис.1.6).

Спектрометр «Спектроскан Макс-GV» використовується для визначення вмісту хімічних елементів від кальцію Na-11 до урану U-92 будь-яких речовин (у твердій, порошкової або рідкій формі).

Скануючи моделі апаратів рентгенівських «Спектроскан МАКС» успішно застосовуються для аналізу доменних і сталеплавильних шлаків. Градувальні характеристики по всім елементам як правило лінійні. Пробопідготовка

передбачає подрібнення проби до розміру менше 70 мкм з подальшим пресуванням.



Рис. 1.6. Обладнання для визначення хімічного складу металургійних шлаків

Рентгенівський спектрометр «Спектроскан Макс-GF1E» застосовується для визначення вмісту хімічних елементів від кальцію Ca-20 до урану U-92 будь-яких речовин (у твердій, порошкової або рідкій формі).

Рентгенівський спектрометр «Спектроскан Макс-GF1E» застосовується для визначення вмісту хімічних елементів від кальцію Ca-20 до урану U-92 і одного елемента в проміжку від магнію Mg-12 до урану U-92 в будь-яких речовинах (у твердій, порошкової або рідкій формі).

Рентгенівський спектрометр «Спектроскан Макс-GF2E» застосовується для визначення вмісту хімічних елементів від кальцію Ca-20 до урану U-92 і двох елементів в проміжку від магнію Mg-12 до урану U-92 в будь-яких речовинах (у твердій, порошкової або рідкій формі).

Властивості доменного шлаку у відвалах залежать від властивостей вихідних матеріалів, режиму доменного процесу і від умов його охолодження після зливу. Тому відвальний доменний шлак у відвалах різних заводів, та, навіть, у відвалі одного комбінату, відрізняється за зовнішнім виглядом, складом, будовою, фізичним та механічним властивостями. З часом під дією вологи і вуглекислоти відбуваються більш-менш тривалі фізичні та хімічні процеси вапняного і залізного розпаду. Щільні кам'яноподібні шматки мають міцність

на стиснення 150–600 кг/см² і більше, в той час як пористі різновиди – 50–150 кг/см². Переважаючими за розміром шлаки у відвалах більшості заводів є фракції 5–40 мм. Вони складають до 70 % за вагою. Великі шматки і брили містяться, як правило, в кількості 5–10 %, а дрібні і пил розміром до 5 мм – 25–30 %. Однак гранулометричний склад одержаного ШМ від методу розроблення відвалів. За даними Г. М. Каненко, А. Г. Злобина [43] на металургійних підприємствах України накопичено 240 млн т шлаків, 128 млн т з яких є сталеплавильні.

Шлак є металургійним розплавом (після твердіння – каменеvidна або склоподібна речовина), що покриває поверхню рідкого металу при металургійних процесах – плавці сировини, обробці розплавлених проміжних продуктів і рафінуванні металів. Є сплавом оксидів змінного складу; головні компоненти шлаку – кислотний оксид SiO₂ і основні оксиди CaO, FeO, MgO, а також амфотерні Al₂O₃ і (рідше) ZnO. Залежно від вмісту тих або інших оксидів шлак є кислим або основним. Шлаки грають важливу роль у фізико-хімічних процесах металургійного виробництва: вони очищають метал від небажаних домішок, оберігають метал від шкідливої дії газового середовища печі (тобто від окиснення і газонасичення). Шлак формується з порожньої породи руди (або рудних матеріалів), флюсів, золи палива, продуктів окислення оброблюваних матеріалів, футеровки плавильних агрегатів. У сталеплавильному виробництві шлаки іноді готують в спеціальній печі (т.з. синтетичні шлаки) і потім обробляють ними сталь в процесі випуску її з печі або конвертера в ківш. Заздалегідь підготовлений шлак застосовується при електрошлаковій переплавці металів [44, 45, 46].

При відкритому способі складування відвалів шлак є джерелом забруднення атмосфери через емісію забруднюючих речовин у повітря, об'єкти гідросфери і ґрунт, а через них – на стан флори, фауни і здоров'я людей. Шлаковий відвал піддається впливу атмосфери, що робить шлак чутливим до фізичних та хімічних процесів [47, 48].

Скрізь, де є металургійні шлаки, у водоймах накопичуються води з надзвичайно високою концентрацією сульфідів, які іноді прориваються в струмки і річки, що призводить до сильного забруднення та виникнення техногенних

аварій. Кисень у воді витрачається на окислення сульфідів, вміст кисню в даних сульфідних водоймах стає рівним нулю і це призводить до загибелі живих організмів [49].

«Дерево проблем» впливу відвалів металургійних шлаків на навколишнє середовище приведено на рис.1.7.

Основні види впливу відходів металургійних підприємств на НС приведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Основні впливи шлакових відвалів на довкілля

Ґрунти та ландшафт	Водоймища та ґрунтові води	Атмосфера	Фізичні	Соціальні
Порушення ландшафту, порушення рівноваги геологічного, фізичного та механічного стану	Зміна гідрологічного режиму прилеглих територій	Пило-газове забруднення атмосфери	Шумовий та вібраційний вплив на флору і фауну прилеглих територій	Створення підвищеної небезпеки на здоров'я населення, що проживає в зонах шлакових відвалів
Хімічне і радіаційне забруднення ґрунтів та вод, вимивання та видування шкідливих компонентів				

Джерело: розроблено автором.

Більшість металургійних комбінатів мають відвали, в яких переважно складаються шлаки без спеціальної обробки і спеціалізована шлакова продукція перед відправленням її споживачам. Для складування відходів використовується до 40 % території підприємства. За кількістю накопичених шлаків в Україні лідерами є ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та ПАТ «ММК імені Ілліча».

Наприклад, тільки на ПАТ «Дніпроспецсталь» в процесі виробництва утворюються 46 видів відходів, в тому числі і сталеплавильний шлак, який направляється на полігон промислових відходів у балку Середню [50]. У 2013 році тут було розміщено 148,475 тис. т промислових відходів - електросталеплавильний шлак, вогнетривкий лом, шлами, виробничий сміття, металургійна пил та ін.. Екологічний податок за забруднення навколишнього природного середовища за 2013 рік для ПАТ «Дніпроспецсталь» склав 2982000 грн, в тому числі за розміщення відходів - понад 1854000 грн.

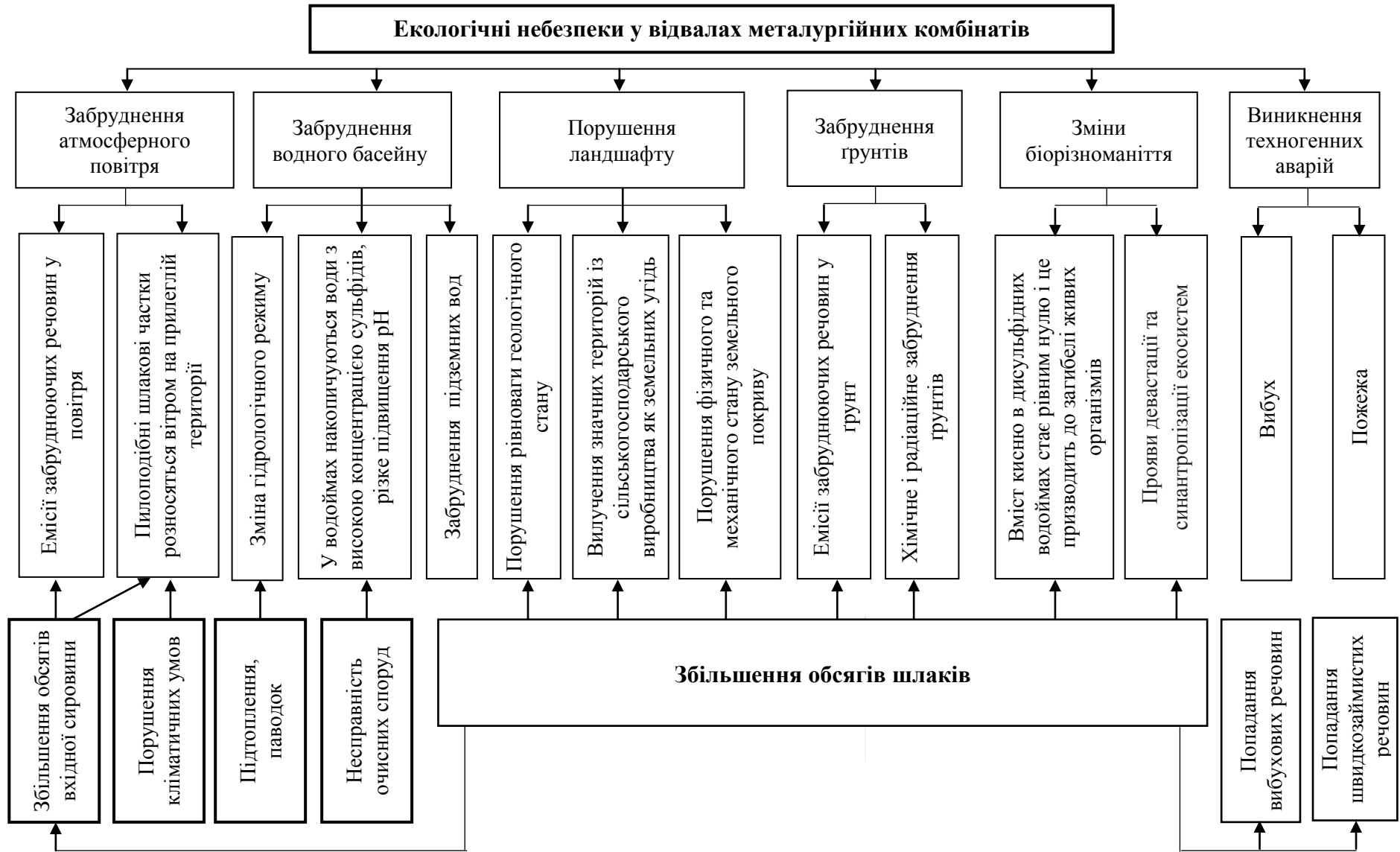


Рис. 1.7. «Дерево проблем» впливу відвалів металургійних шлаків на навколишнє середовище
 Джерело: розроблено автором

На ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» за 2016 рік утворилося близько 200 тис т шлаків. З них 14 тис т (7 % від загального обсягу) повернуто у виробництво; 124 тис т (62 %) перероблено в щебінь різної фракції та щебінь-пісок; 62 тис т шлаків (31 %), які неможливо переробити, відправлені на зберігання в балку Середню. За їх розміщення підприємство заплатило 700 тис грн (з розрахунку 11,25 грн за тону) [51].

Питанню підвищення рівня екологічної безпеки при поводженні з відходами металургійних підприємств присвячено багато наукових досліджень.

Екологічні наслідки впливу шлакових відвалів на довкілля досліджуються в роботах багатьох науковців: В. С. Лесовик, М. С. Агєєва, А. В. Іванов.

Більшість шлаків містять домішки токсичних елементів, таких як As, Pb, Cd, Co, Cr або Ni та ін. Однак, оскільки ці речовини можуть вимиватися зі шлаків, то екологічні ризики не завжди можливо виключити [47].

Ефективні методи управління відходами металургійного виробництва представлено в дослідженнях Т. Г. Данилової [52]. Автором досліджено вплив компонентів шлаку на здоров'я населення, що проживає в зонах шлакових відвалів і працюючих на промислових підприємствах, зайнятих на виробництвах по обслуговуванню відходів металургійного виробництва, систематизовані види захворювань у залежності від впливу компонентів у шлаку. Удосконалена теорія управління екологічним ризиком, яка дозволила виявити граничні умови, де можливо ефективно управління. Здійснено оцінку екологічної безпеки від впровадження природоохоронних заходів.

Корисні властивості металургійних шлаків для їх утилізації в якості технічних матеріалів (компонентів в'язких речовин і сорбентів для очищення промислових стічних вод) проаналізовано в [53]. Авторами обґрунтовано кількісні показники визначення сорбційної і гідравлічної активності відходів.

В роботах [54-56] проаналізовано екологічну небезпеку впливу шлакових відвалів на навколишнє середовище, запропоновано метод переробки, які дають змогу зменшувати нагромадження їх та, відповідно, підвищувати рівень екологічної безпеки об'єкта, регіону.

С. М. Тиришкін [57] досліджував мінералогічний склад сталеплавильного шлаку Криворізького металургійного комбінату, експериментально обґрунтував рекомендації щодо поліпшення технології збагачення й використання шлаку. Автором виявлено техногенні і природні чинники впливу на їх варіативність, внутрішню будову мінералів, морфологію індивідів і агрегатів, конституційні й технологічні властивості, які визначають масштаби поширення хімічних елементів зі шлакових відвалів у НС.

Таким чином, металургійні шлаки завдають серйозної шкоди довкіллю і здоров'ю людини, займають величезні площі, забруднюють токсичними з'єднаннями ґрунти, водний і повітряний басейни, підвищують собівартість готової продукції підприємств із-за значних витрат на їх транспортування, розміщення і зберігання.

Результати дослідження показали, що шлак має певну споживчу цінність і процес його збирання раціонально поєднувати з отриманням продукції необхідних властивостей, в наслідок цього значення шлакопереробки для металургів різко зростає. Продуктами переробки в металургійних відходів є щебінь, гранульований шлак, шлакова пемза, мінеральна вата

За рахунок використання відходів у якості вторинних матеріальних ресурсів можна вирішити ряд таких важливих задач як економія сировини, запобігання забруднення водойм, ґрунту і повітряного басейну, використання відходів для будівництва доріг.

Отже, шлакові матеріали слід розглядати як одні з найбільш технічно та економічно вигідних альтернативними матеріалами для використання в будь-яких будівельно-ремонтних роботах, як сьогодні, так і в майбутньому. Поступове скорочення накопичення відходів металургійної промисловості, розширення можливостей утилізації, знешкодження, екологічно-безпечне їх видалення для повторного використання у дорожньому будівництві дозволить досягнути підвищення рівня екологічної безпеки – звільнення площ з одного боку і заміна природних матеріалів з іншої боку. Розглянемо наявний досвід використання МШ як заміника природних будівельних матеріалів у дорожньому будівництві.

1.3. Аналіз досвіду використання металургійних шлаків як замітника природних будівельних матеріалів у дорожньому будівництві

Дорожнє будівництво належить до числа найбільш матеріаломістких галузей промисловості і потребує значної кількості сировинних та енергетичних ресурсів. Матеріаломісткість визначається відношенням кількості або вартості витрачених на виробництво продукції матеріальних ресурсів до загального обсягу продукції. Згідно стратегії сталого розвитку щодо ресурсозбереження, природні будівельні матеріали необхідно замінювати альтернативними, які мають меншу енергоємність, але водночас відповідають вимогам сучасної будівельної індустрії та забезпечують разом з технічними та економічними перевагами й екологічні – зниження негативних впливів на НС.

Слід відмітити, що в умовах глобальної екологічної кризи у високо розвинутих країнах, таких як США, Японія, Німеччина, Швеція та інших, на першому місці екологічні і соціальні фактори та питання ресурсозбереження. Як правило, ефект впливу забруднювачів на НС виявляється в різних напрямках і чітко розділити чи віднести до конкретної групи буває складно, тому при переробці будь-яких відходів виробництва чи використанні місцевого матеріалу повинен існувати комплексний підхід, що враховує в першу чергу екологічну складову [58].

Застосування МШ як замітника природних будівельних матеріалів у дорожньому будівництві є одним з основних напрямків зниження матеріаломісткості цього масового багатотоннажного виробництва. У той же час зниження обсягів видобування природної сировини та утилізація відходів має істотне економіко-екологічне значення. В табл. 1.4 приведено розподіл традиційних і альтернативних дорожньо-будівельних матеріалів, що можуть широко застосовуватись для ремонту і реконструкції доріг [59].

Таблиця 1.4

Розподіл традиційних і альтернативних дорожньо-будівельних матеріалів

Природні кам'яні дорожньо-будівельні матеріали				Альтернативні дорожньо-будівельні матеріали			
Скельні гірські породи	Уламкові гірські породи			Відходи та побічні продукти промисловості			Штучні матеріали
	Вивержені	Метаморфічні	Осадові	Мінеральні	Органо-мінеральні	Органічні	
піщаник, вапняк, доломіт, ґрунтовий вапняк, ракушняк	граніт, діорити, діабазисієніти.	кристалічні сланці, гнейси, мармур, кварцити	вапняки, пісок, гравій, суглинки, суліски, мергелі	відсів, мінеральна мука, золи і шлаки підприємств енергетики, відходи металургійних підприємств, азбестового виробництва	Відходи вугледобування, вугленасичення, хімічного виробництва	Відходидерево-обробки та лісозаготівельного комплексу, вторинні текстильні матеріали	Дорожній клінкер, керамзит, будівельна цегла, керамдор

Джерело: розроблено автором на основі [59]

Основні напрямки застосування відходів в дорожньому господарстві приведено в табл. 1.5 [60].

Таблиця 1.5

Основні напрямки застосування відходів в дорожньому господарстві

Основні напрямки	Галузі застосування відходів
Асфальтобетон	Кам'яний матеріал як компонент мінеральної частини гарячого, холодного асфальтобетону, сумішей для поверхневих обробок, модифікатор бітуму, мінеральний порошок
Цементобетон	Заповнювач, додатковий компонент змішаного в'язучого або додатковий в'язучий компонент
Основи	
Насипи та заповнення вийомок	Замінювач природних кам'яних матеріалів
Укріплення ґрунтів	Замінювач природних ґрунтів, пуцоланові в'язучі, активатори, самотвердіючі матеріали
Закладочні суміші	Пуцоланові в'язучі, активатори, самотвердіючі матеріали

Джерело: [60]

Відповідно Каталогу місцевих матеріалів та відходів виробництва для дорожнього будівництва [61], найбільш широко застосовуються такі види промислових відходів і вторинних продуктів промисловості – доменні шлаки;

золи виносу; продукти десульфуризації відхідних газів; горілі піски (металургії); пил печей для випалу мінеральних в'язучих; порожні породи; золи і шлаки від спалювання побутових відходів; шлаки кольорової металургії; відходи видобутку кам'яних матеріалів.

Перше місце за обсягом та значенням для дорожньо-будівельної галузі належить доменним шлакам, отриманим як побічний продукт при виплавці чавуну із залізних руд. Його особливістю є неоднорідність за розмірами, по міцності та за фізико-хімічними властивостями, що ще недавно примушувало ставитися з деякою недовірою до цього матеріалу і обмежувало його застосування. На ряді відвалів і в окремих шлак забруднений непридатними домішками.

Хімічний склад металургійних шлаків та їх фізичні властивості дозволяють застосувати шлаки як компонент для виробництва будівельних матеріалів (шлакобетону і цементу) в дорожньому будівництві [62].

Використання шлакових матеріалів є найбільш технічно та економічно вигідними для використання в будь-яких будівельно-ремонтних роботах при будівництві автомобільних доріг. Щебінь та суміші з МШ застосовують в шарах дорожнього одягу, при укріпленні узбіччя, влаштуванні шорстких поверхневих обробок покриттів та приготуванні асфальтобетонних сумішей [63].

Цінність шлаку як дорожньо-будівельного матеріалу і область його використання визначає його гідравлічна активність, яка оцінюється модулем основності M_o , модулем активності M_a і коефіцієнтом якості K [64]:

$$M_o = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3}, \quad (1.1)$$

$$M_a = \frac{Al_2O_3}{SiO_2}, \quad (1.2)$$

$$K = \frac{CaO + Al_2O_3 + MgO}{SiO_2 + TiO_2}, \quad (1.3)$$

$$K = \frac{CaO + Al_2O_3 + 10}{SiO_2 + TiO_2 + (MgO - 10)}. \quad (1.4)$$

За величиною модуля основності шлаки підрозділяють на п'ять груп: високоосновні ($M_o > 2,5$), основні ($M_o = 1,5 - 2,5$), середні ($M_o = 1,0 - 1,5$), кислі ($M_o = 0,5 - 1,0$) і ультракислі ($M_o < 0,5$). Ця важлива характеристика оцінки шлаків.

Активні шлаки мають модуль активності менше 0,25.

Основною фазою доменних шлаків є алюмосилікати (меліт, анортит і т.д.) з певним вмістом SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO . При температурі понад 1300°C оксиди CaO знижують в'язкість розплаву, а при низькій - різко підвищують. На в'язкість шлакового розплаву впливає вміст MgO , MnO , FeO , SO_3 . До збільшення в'язкості підвищують вміст кремнезему вище 40 % та оксиду алюмінію Al_2O_3 . Знижують в'язкість розплаву газові включення [64].

Аналіз міжнародного досвіду використання металургійних шлаків показує, що в країнах з високим рівнем розвитку металургійної промисловості переробляються всі доменні і значна частина сталеплавильних шлаків [65, 66].

В окремих країнах, наприклад, Німеччині металургійні шлаки з категорії відходів переведені в розряд побічних продуктів виробництва на законодавчому рівні [67]. Шлаки застосовуються в трьох основних напрямках: в сільському господарстві – для вапнування ґрунтів, в дорожній галузі – при будівництві доріг, а також в металургії – в якості залізовмісного матеріалу для вторинної переплавки в доменних печах.

Основним напрямком шлакопереробки в США, Англії, Франції, Угорщині є виробництво щебеню з повітряно-охолодженого шлаку в траншеях безпосередньо у доменних печей або за їх межами. Сталеплавильні шлаки в масовому масштабі почали використовуватися з 1967 р. [66 – 68].

Доменні шлаки в більшості країн переробляють переважно на щебінь. У Франції та Чехії шлаки гранулюють. Доменні шлаки США високомагнезійні (до 16% MgO) і малопридатні для виробництва. Шлаки у Франції та Китаї низькоосновні і не схильні до силікатного розпаду. В Англії, Чехії частина шлаків має високу основність і використання їх обмежена [69]. Особливо успішно переробляють і використовують шлаки доменного виробництва Данії виходу та переробки доменних шлаків для деяких країн приведено в табл. 1.6.

Таблиця 1.6

Дані виходу та переробки доменних шлаків деяких країн [69]

Країна	Рік	Вихід шлаку		Продукти переробки(млн т/ % від виходу)			
		кг/т чавуну	млн т	щебінь	гран. шлак	інші види	усього
США	2013	453	27,3	24,4 /84,7	1,8/6,2	0,9/3,1	28,8/99,9
Японія	2012	300	24,2	22,1/91,3	1,6/6,6	0,5/2,1	24,2/100
Німеччина	2013	380	14,3	10,5/73,4	3,5/24,7	-	14,27/100
Франція	2010	736	14,1	5,2/36,9	6,8/48,7	0,08/0,5	12,16/86,6
Англія	2012	653	9,0	6,9/76,6	0,02/0,2	-	7,1/79,0
Польща	2013	709	6,0	2,4/40,0	2,9/48,3	0,2/3,4	5,9/98,4

Для вдосконалення діяльності металургійного підприємства ВАТ «ОЕМК» науковцями Білгородського державного технологічного університету ім. В. Г. Шухова розроблена повітряно-суха технологія переробки шлаків, що дозволяє забезпечити відносну стабільність властивостей отриманої шлакової продукції [68, 70]. Вона забезпечує необхідний для виробництва певних будівельних матеріалів вміст металевого заліза з мінімальними експлуатаційними витратами. Розроблена повітряно-суха технологія переробки електростале-плавильних шлаків дозволяє поліпшити екологічну обстановку та знизити вибухонебезпечність [71 – 74].

Доменні шлаки також використовують для виробництва шлакової вати. З розплавлених металургійних шлаків відливають каміння для бруківки доріг, бордюрний камінь, жаростійкі плитки, труби й інші вироби.

Аналізуючи публікації, присвячені проблемі використання відходів промисловості для дорожнього будівництва [75-83], можна зробити висновок, що дослідження вчених спрямовані на вивчення фізико-хімічних властивостей основних видів відходів різних галузей промисловості; розробку теоретичної бази формування штучних будівельних матеріалів і виробів на основі відходів різних галузей промисловості; розробку нормативно-технічної та інструктивної

документації на виготовлення і використання будівельних матеріалів з відходів промисловості.

Основним споживачем шлаків є цементна промисловість. Європейськими нормами дозволяється вводити в портландцемент до 35 % доменного гранульованого шлаку, а в шлакопортландцемент – до 80 %. Введення доменних шлаків в сировинну суміш збільшує продуктивність печей і знижує витрату палива на 15 %, а собівартість – на 25-30 %. Крім того, шлак як активна добавка значно покращує ряд будівельно-технічних властивостей цементу [84].

Використання промислових відходів у будівництві досліджено Т. С. Кравчуновською [85]. Автором у результаті економіко-статистичного моделювання отримані багатофакторні моделі, що дозволяють оцінити вплив різноманітних комбінацій організаційно-технологічних та економічних факторів на вартість одиниці продукції, виготовленої з застосуванням відходів.

Як показали попередні дослідження, металургійні шлаки всіх металургійних комбінатів України придатні для дорожнього будівництва. Важливим є питання, для яких доріг і в яких конструктивних шарах дорожнього одягу їх застосовувати. На думку А. Я. Тулаєва, щебінь з доменних шлаків заводів України мають подрібнюваність 20-40 % і зношування в поличному барабані 30-55 %. При таких показниках механічних властивостей шлаки південних заводів найчастіше не можуть бути використані у верхніх шарах дорожних покриттів. Але, в той же час, вони відносяться до категорії шлаків з високою активністю (4-8 МПа). У зв'язку із цим використання їх в'язучих властивостей при будівництві основ дорожнього одягу дає можливість одержувати більш економічні й довговічні конструкції [64].

В роботі І. В. Іваниця [86] досліджувались властивості гранітного щебеню та доведено, що при його використанні в шарі основи дорожнього одягу з часом відбувається явище зношування, яке негативно впливає на стійкість і міцність конструкції в цілому. Альтернативою гранітному щебеню може бути щебінь з шлаку металургійного, який на відміну від гранітного з часом набирає міцність. Результати досліджень показали, що пікове значення міцності шлаку в

конструктивному шарі дорожнього одягу досягається на 5-й рік експлуатації автомобільної дороги.

Основні функціональні, технологічні та еколого-економічні критерії властивостей дорожнього одягу з альтернативних дорожньо-будівельних матеріалів та методика їх визначення розроблено в роботі Р. Кині [87].

На думку А. К. Славуцького, для більшості промислових відходів відсутні достатньо обґрунтовані і перевірені на практиці методи оцінки їх якості, тому і виникають сумніви в надійності споруджених із них конструктивних шарів. Тому при використанні різних за якістю і властивостями промислових відходів слід враховувати різні складні фізико-хімічні процеси, які відбуваються в дорожньому одязі в період його експлуатації (водонасичення, зміна температури, коливання навантажень та деформацій та ін.) [88].

Дослідження С. В. Арестова, Т. П. Галушкина показують, що шлаковий щебінь в 1,5 – 2 рази дешевше природного і потребує в 4,5 рази менше питомих капітальних вкладень. Авторами розраховано нормативно-технічні характеристики для основних українських шлаків, які для доменних і гранульованих доменних в 1,5 – 2,0 рази вищі за нормативні показники на продукцію із природних кам'яних матеріалів. Важливим фактором, який стимулює використання шлаків, є постійне загострення енергетичної кризи, так як виробництво продукції із вторинних матеріалів потребує в 2-4 рази менше енергії, ніж для виробництва рівноцінної продукції із природної сировини [89].

Дослідженню композиційних матеріалів для поверхневої обробки покриття автомобільних доріг на основі металургійних шлаків з модифікованими бітумами і бітумполімерними в'язучими присвячено дослідження С. О. Мясникової [90]. Автором розроблено та досліджено композиційні матеріали на основі металургійних шлаків в поєднанні з ефективними бітумполімерними в'язучими. Результати досліджень свідчать, доменні і сталеплавильні шлаки повністю задовольняють вимогам і можуть бути використані в якості кам'яних матеріалів для поверхневої обробки автомобільних доріг.

М. І. Ігнатенко розроблено безпечний ресурсозберігаючий технологічний процес використання техногенної сировини у виробництві будівельних матеріалів з урахуванням радіаційної безпеки одержуваного продукту, що забезпечує раціональне використання природних ресурсів, додержання нормативів шкідливих впливів на довкілля [91].

Досвід використання відвального шлаку представлено у дослідженнях ТОВ «НВП Укрметпром» [92]. Фахівцями розроблено технологію з дроблення відвального шлаку сумарним подаванням 300 т в зміну. Отриманий матеріал має ряд переваг при використанні в ремонті дорожнього покриття і основи.

За результатами досліджень [93] визначено, що використання шлаку навіть без попередньої обробки дає приріст у розмірі 10 центів за тону, а за умови переробки в високоякісні продукти, наприклад пемзу – 1 долар за тону.

Шлаки кольорової металургії мають відмінності від шлаків чорної металургії. У дорожньому будівництві близько 70 % використовують в основному для виробництва щебневих основ і приготування асфальтобетонних сумішей на основі щебеню і піску з шлаків мідно-нікелевого виробництва [94].

Багаторічний досвід дорожніх організацій показує, що вся продукція шлакопереробки економічно вигідна. Важливим фактором, який стимулює використання шлаків, є постійне загострення енергетичної кризи, так як виробництво продукції із вторинних матеріалів потребує в 2-4 рази менше енергії, ніж для виробництва рівноцінної продукції із природної сировини [95].

Таким чином, проведений аналіз свідчить, що МШ металургійних комбінатів України придатні для дорожнього будівництва і вся продукція шлакопереробки економічно вигідна. Будівництво і реконструкція автомобільних доріг та штучних споруд вимагає великих обсягів матеріалів, отже дорожнє господарство є перспективним споживачем великотоннажних відходів. Отже, використання МШ як альтернативних матеріалів в дорожньому будівництві дозволить зменшити антропогенний вплив на НС та підвищити рівень екологічної безпеки. Для кількісної оцінки змін в навколишньому природному середовищі

проведемо аналіз існуючих методів оцінювання рівня екологічної безпеки при використанні альтернативних матеріалів в дорожньому будівництві.

1.4. Аналіз методів оцінювання рівня екологічної безпеки при використанні альтернативних матеріалів в дорожньому будівництві

1.4.1. Загальні методи оцінки рівня екологічної безпеки

Загальна оцінка рівня екологічної безпеки є досить складною, оскільки включає в себе багато аспектів, які важко виразити єдиним показником. Дослідники застосовують систему показників, яка характеризує певну кількість аспектів (компонентів НС), що формують остаточний показник [96].

Найчастіше в основі оцінки рівня екологічної безпеки лежать еколого-економічна оцінка діяльності підприємства. Дослідження, проведені Б. Данілішиним [97], М. Долішній [98], Б. Буркинський [99] в області еколого-економічної безпеки, дозволили обґрунтувати основні поняття, механізм функціонування та особливості в цій сфері. І. Синякевич [100], С. Пілієв [101] запропонували різні економічні інструменти для управління в сфері екологічної безпеки. Однак розвиток методів оцінювання рівня екологічної безпеки потребує подальшого дослідження.

Як свідчать дослідження І. А. Олександрова, Н. С. Красовської, А. В. Половян [102] об'єктом економічних оцінок можуть бути всі види наслідків господарської діяльності (екологічні, соціальні, господарські). Серед різних видів економічних оцінок стану НС найчастіше використовується оцінка екологічних витрат, яка є сукупністю економічних витрат суспільства, які спричинені наявним рівнем екологічних впливів.

Основним завданням оцінки рівня екологічної безпеки є визначення впливу виробничої діяльності на стан довкілля, аналіз ефективності роботи виробничих систем, обладнання, співставлення фактичних показників їх потужності з проектними, технічними і санітарно-гігієнічними вимогами.

Найбільш розвинутими методами оцінки впливу підприємства на НС є: економічний аналіз природоохоронної діяльності; еколого-економічні методи досліджень; оцінка технологічних змін у виробництві; аналіз альтернативної вартості природоохоронних заходів; витрати, що пов'язані з вартістю відновлення здоров'я та лікування. Вибір методу оцінки екологічної безпеки діяльності підприємства залежить від багатьох факторів. Найпростішим є метод з урахуванням змін у продуктивності: він застосовується, коли виявлено вплив проекту на НС і, як наслідок, вплив на продуктивність працівників. Також і методи з урахуванням альтернативної вартості і превентивних витрат є життєздатними, тому що вони базуються на фактичних відрахуваннях витрат для визначення цінностей. Оцінка деяких з методів, що застосовуються на підприємствах для еколого-економічної оцінки, приведено в табл. 1.7. [102].

Оцінку екологічного ризику вважають найбільш ефективним підходом до оцінювання ступеню екологічної безпеки території. Концепція оцінки екологічного ризику практично у всіх країнах світу і міжнародних організаціях розглядається як головний механізм розробки та прийняття управлінських рішень з охорони навколишнього природного середовища [103 – 107].

При розрахунках ризиків звичайно виходять з припущення, що токсичність забруднюючих речовин при низьких рівнях концентрації прямо пропорційна цій концентрації, а також, що ймовірність токсичної дії (токсичного ефекту) на живі організми та навколишнє природне середовище тим більше, чим довший час контакту. На основі цього розрахунок екологічного ризику виконується за формулою [108]:

$$Risk = 1 - e^{-URC} , \quad (1.5)$$

де *Risk* – ймовірність (у долях одиниці) виникнення ефекту від дії забруднюючої речовини при заданих початкових умовах, *C* – концентрація речовини в організмі або у навколишньому природному середовищі, мг/м³; *UR* – одиниця ризику, що визначається як фактор пропорції росту ризику в залежності від дози м³/мг.

Таблиця 1.7

Оцінка деяких з методів, що застосовуються на підприємствах для оцінки рівня екологічної безпеки

Методи	Оцінка методу	
	Переваги	Недоліки
Метод «витрати - ефективність»	Розрахунок прямих витрат на природоохоронні заходи	Реалізація природоохоронних заходів тільки за наявності вигод від їхнього впровадження
Методи з урахуванням змін у виробництві	Економічний і технічний аналіз природоохоронної діяльності	Відсутність аналізу організаційної й управлінської діяльності підприємства
Метод оцінки вартості збитків, що пов'язані з вартістю лікування	Облік оцінки здоров'я персоналу і оточуючих. Оцінка стану НС за всіма сферами: земля, повітря тощо	Недостатньо досліджені превентивні заходи охорони навколишнього середовища
Підхід альтернативних вартостей природоохоронних заходів	Облік витрат і вигод від ресурсів, що споживаються. Оцінка за доходом, не отриманим від інших видів користування, що заміщають дані ресурси	Відсутність виміру прямих вигод, одержуваних від збереження ресурсів, і вигод від превентивних заходів. Не враховує організаційні фактори
Метод вартості відтворення	Кількісно вимірне витрати, пов'язані з відтворенням природного середовища, що постраждало від господарської діяльності	Відсутність урахування витрат на підтримку екологічного балансу, превентивних витрат

Критерії «екологічного ризику» оцінюють екологічну безпеку через ймовірність виникнення аварії і величину збитку. Для кількісного аналізу виникнення ризику екологічної небезпеки можна використати «Методику визначення ризиків і їх прийнятих рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки» [109], яка визначає порядок проведення аналізу небезпеки та оцінки ризику об'єктів підвищеної небезпеки, яка здійснюється через визначення ймовірності небажаних наслідків аварій на основі сценаріїв їх виникнення та розвитку.

Оцінка ризику здійснюється за формулою 1.6.

$$R = S \cdot E \cdot P, \quad (1.6)$$

де R – ризик; S – очікувана шкода; E – час дії, експозиція небезпеки; P – ймовірність дії небезпеки.

Відповідно цієї методики територіальний ризик у k -тій точці простору у джерелі небезпеки дорівнює:

$$R_{ijmf}^k = P_{bij} \cdot P_{um} \cdot P_{af} \cdot P_{ck} \quad (1.7)$$

де R_{ijmf}^k – територіальний ризик k -тої точки простору від небезпеки на i -тому джерелі при реалізації j -тої події; P_{bij} – ймовірність виникнення небезпеки на i -тому джерелі при реалізації j -тої події; P_{um} – умовна ймовірність одного з можливих наслідків аварії; P_{ck} – умовна ймовірність смертельного результату в k -тій точці простору; P_{af} – умовна ймовірність реалізації одного з можливих видів аварії (пожежі, вибуху, розсіювання шкідливих домішок та ін.).

Оцінка ризику може виконуватися побудовою та аналізом логіко-ймовірносної схеми виникнення небезпеки у вигляді «дерева відмов», яке є формою упорядкованого графічного зображення логіко-ймовірносного зв'язку випадкових подій, що призводять до реалізації небажаного кінцевого результату. Базисні події поєднуються між собою логічними елементами, які інформують про результат події. «І» – вихідна подія відбувається, якщо всі вхідні події трапляються одночасно. «АБО» - вихідна подія відбувається, якщо трапляється будь-яка з вхідних подій. Вираз для визначення ймовірності настання головної події в разі логічного символу «І» має вигляд:

$$P_I = P_{II} \cdot P_{III} \quad (1.8)$$

Якщо вхідні події поєднуються знаком «АБО», то результуюча подія можлива, коли відбудеться хоча б одна (будь-яка) з вхідних подій. Вираз для визначення ймовірності настання головної події в разі логічного символу «АБО»:

$$P_1 = 1 - (1 - P_{II}) \cdot (1 - P_{III}). \quad (1.9)$$

Ряд вчених пропонують додаткові критерії: стан фауни та зміни генофонду тварин як індикатор екологічного стану території [110], показник якості екологічного управління, екологічна освіченість персоналу, критерії засновані на специфіці виробництва, рівень здоров'я населення [111].

Найбільш повно аналіз та систематизація існуючих методів оцінювання ступеня екологічної небезпеки проведено М. С. Мальований, В. М. Шмандій, О. В. Харламова в роботі [112]. Авторами проаналізовано існуючі способи оцінки ступеня екологічної небезпеки. Розроблена класифікація методів оцінки стану екологічної небезпеки на основі інтегральних і диференціальних підходів. Встановлено, що інтегральні методи мають обмежену сферу застосування, оскільки вони не корелюють між собою і не можуть бути основою для розробки стратегії управління екологічною безпекою. Обґрунтовано перспективу застосування біоіндикації для оцінки екологічної небезпеки.

Аналіз методів оцінки рівня екологічної небезпеки регіонів України приведено в дослідженнях Г. О. Обиход і Т.Л. Омеляненко [111]. В роботі [113] запропоновано методіку ранжирування за рівнем екологічної безпеки універсальна і гранично лаконічна, в основу якої покладено універсальні критерії: критерій оцінки рівня стійкості компонентів довкілля K_1 ; критерій оцінки рівня саморегуляції компонентів довкілля K_2 ; критерій оцінки рівня впливу проектованого господарського об'єкту на здоров'я населення K_3 ; критерій оцінки рівня екологічності технічних і технологічних рішень господарського об'єкту K_4 ; критерій оцінки рівня якості середовища в районі робіт K_5 .

Авторами запропоновано математичну залежність рівня екологічної безпеки як сума балів по кожному окремому критерію, а також коефіцієнт інформаційного забезпечення, значення якого залежить від кількості встановлених значущих первинних показників екологічної безпеки.

Ряд наукових досліджень присвячено оцінці рівня екологічної безпеки окремих технологічних процесів або забруднень.

Визначенню рівня екологічної небезпеки, присвячено дослідження В. М. Шмандія, В. В. Климця, В. С. Бахарєва [114].

Оцінка ризику для здоров'я людини при забрудненні НС викидами під час процесів очищення металевих поверхонь деталей від забруднення та корозії проведена Є. О. Бовсуновським [115]. Автором встановлено, що значення рівня екологічного ризику технології в основному залежить від рівня екологічного ризику очищаючого розчину, суміші або речовини.

В роботі Коцюби І. Г. [116] виявлено залежність накопичення твердих побутових відходів від впливу основних соціальних, екологічних та економічних факторів, які б давали можливість прогнозувати їх динаміку як основу ефективних управлінських рішень у сфері екологічної безпеки регіону.

В. С. Бахарєв провів дослідження техногенного пилового забруднення атмосферного повітря з метою оцінки умов формування та проявів небезпеки [117], Експрес-оцінка внеску джерел забруднення повітря у формування рівня техногенної небезпеки проведена на основі чисельних значень показника T :

$$T = K_T \cdot K_{KM} \cdot K_p \cdot \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N K_{ui} \cdot \alpha_i \cdot M_i}{N} \right\}, \quad (1.10)$$

де T – показник техногенної небезпеки, сформованої чинниками пилового забруднення атмосферного повітря; K_T – регіональний коефіцієнт господарської диференціації території; K_{KM} – коефіцієнт, що залежить від чисельності мешканців, які піддаються впливу проявів техногенної небезпеки; K_p – коефіцієнт, що враховує рельєф місцевості; K_{ui} – коефіцієнт, який залежить від характеристик джерел викидів; α_i – показник, що відображає ступінь негативного впливу одиниці маси визначеного інгредієнта, що міститься у викидах в атмосферу, на навколишнє середовище; M_i – річна маса інгредієнтів, що містяться у викидах в атмосферу, т/рік; N – кількість інгредієнтів.

Аналіз методів та методик оцінки рівня екологічної безпеки показує, що існуючі способи дозволяють:

- кількісно оцінити техногенне навантаження на НС;
- визначити ефективність роботи технічних виробничих систем;
- порівняти фактичні показники діяльності підприємства з проектними технічними і санітарно-гігієнічними вимогами; встановити критичні екологічні показники виробничої діяльності та вплив на НС;
- виявити відхилення від нормативних показників рівня забруднення довкілля;
- виявити нанесений збиток для здоров'я людини;
- провести економічний аналіз природоохоронної діяльності;
- виявити співвідношення рівня забруднення зі ступенем впливу на здоров'я людини.

Недолік існуючих методів полягає у наявності переважно технічної або економічної сфери оцінки, у відсутності галузевої спрямованості досліджень, відсутність інтегрованих оцінок для поєднання декількох різних виробництв. Крім того більшість загальних методів спрямована на зниження наявного негативного впливу, а не на його запобігання, відсутність комплексної оцінки екологічної безпеки діяльності підприємства.

1.4.2. Методи оцінки рівня екологічної безпеки поводження з відходами

Підвищення екологічної безпеки при поводженні з відходами металургійного виробництва розглянуто Т. Г. Даниловою [118]. Автором розроблена методика оцінки екологічної безпеки при мінімізації утворення відходів, яка впроваджена в на металургійних виробництвах. Екологічна небезпека діяльності підприємства характеризується ступенем забруднення довкілля. Ризик від забруднень визначається як імовірнісна характеристика виникнення небажаних подій і визначається формулою:

$$R = \sum_{i=1}^I P_i Q_i, \quad (1.11)$$

де P_i – імовірність настання i – ї ризикової події ($i = \bar{1}, I$);

Q_i – величина втрат від i – ї ризикової події.

За критерій екологічної ефективності прийнято зниження ризику, пов'язаного з досягнутим мінімумом відходоутворення [118]:

$$\Delta R = P(\Delta\Pi + \Delta\Psi), \quad (1.12)$$

де $\Delta\Pi = \Delta m \sum_{i=1,1,I} \mu_i c_i$ – зниження матеріальних витрат через зменшення відходів на

Δm в частках одиниці μ_i за класифікацією витрат на обслуговування відходу з урахуванням собівартості робіт c_i ;

$\Delta\Psi$ – зниження втрат від зменшення відходів, яке відноситься до збитку, що наноситься здоров'ю людей у районі зберігання відходів.

Закономірності відходоутворення дозволили визначити мінімально допустимий рівень відходів виробництва та встановити мінімально допустимий ризик R_{\min} , обумовлений конкретним рівнем відходоутворення:

$$R_{\min} = P(m_{\min} \sum_{i=1,1,I} \mu_i c_i + \Psi_{\min}) \quad (1.13)$$

Роботи інших науковців присвячено розробці методів оцінювання рівня екологічної безпеки при поводженні з різними видами відходів.

О. В. Луньовой [119] проведено аналіз екологічних наслідків впливу елементів системи «господарство–довкілля» в Житомирській області при поводженні з відходами біологічного походження. Визначені екологічні критерії дозволять розглядати ці території як антропогенну систему з урахуванням оцінки

впливу об'єктів поводження з біологічними відходами на екосистеми. Запропоновано структурно-функціональну схему управління екологічною безпекою прилеглих територій до місць розміщення відходів зазначеної категорії, розробка загального алгоритму управління екологічною безпекою при поводженні з відходами біологічного походження.

В. Ю. Старостіна, О. В. Уланова [120] розглядали існуючі методи оцінки впливу на навколишнє середовище, з точки зору можливості їх використання для аналізу різних систем і методів управління відходами.

Таким чином, існує безліч методів оцінки екологічної безпеки, які можна розділити умовно на 3 підходи: оцінка екологічної безпеки методом нормування, методом екологічного ризику і методом інтегрального показника. Важливо відзначити, що незалежно від обраного методу оцінки екологічної безпеки для її оцінки дуже важливі вихідні критерії, за якими буде проходити така оцінка. Розроблено різні підходи для визначення рівня екологічної безпеки будівництва, реконструкції та експлуатації автомобільних доріг.

1.4.3. Методи оцінки рівня екологічної безпеки будівництва та експлуатації автомобільних доріг

Для оцінювання рівня екологічної безпеки будівництва та експлуатації автомобільних доріг існує ряд галузевих вимог і стандартів.

Оцінка екологічної придатності дорожньо-будівельних матеріалів здійснюється відповідно Стандарту Укравтодору СОУ 45.2-00018112-002:2006 «Захист довкілля. Оцінювання екологічної придатності місцевих дорожньо-будівельних матеріалів для будівництва та ремонту автомобільних доріг» [121]. За екологічною придатністю місцеві дорожньо-будівельні матеріали поділяються на класи: екологічно безпечні, умовно екологічно безпечні, екологічно небезпечні, які зазначені в таблиці 1.8. [121].

Таблиця 1.8

Клас екологічної придатності місцевих дорожньо-будівельних матеріалів

Клас екологічної придатності місцевих дорожньо-будівельних матеріалів	Клас радіоактивності згідно з ДБН В.1.4 – 1.01-97	Ступінь впливу на довкілля					Застосування
		Забруднення повітря		Забруднення водного середовища, К	Забруднення ґрунту		
		Робочої зони α , ($\alpha_{од}$)	Атмосферного β ($\beta_{сум}$, $\beta_{кд}$)		K_H	Z_C	
Екологічно безпечні	1	$\leq 0,3$	$\leq 0,7$	$\leq 0,3$	$< 1,0$	≤ 16	Без обмежень
Умовно екологічно безпечні	2	0,3...1,0	0,7...1,0	0,3...1,0	1,0	16...32	Відповідно до технічних умов
Екологічно небезпечні	3	$> 1,0$	$> 1,0$	$> 1,0$	$> 1,0$	> 32	Обмежене

Примітка. 1 клас: $A_{ef} \leq 370 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$; 2 клас: $A_{ef} \leq 740 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$; 3 клас: $A_{ef} \leq 1350 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$

Екологічно безпечний стан автомобільної дороги і придорожньої території оцінюється за допомогою екологічно значимих показників і вимірників впливу дороги на навколишнє середовище відповідно методиці [122].

Методика визначає вимоги екологічної безпеки автомобільних доріг загального користування, які будуються і експлуатуються та оцінки вимірювання цих вимог.

В роботі Г. Р. Фоменко, Н. О. Нечитайло [123] розглянуто питання удосконаленого підходу до екологізації методологічних принципів та практичних результатів проектів реконструкції в дорожній галузі.

Таким чином, існує достатня кількість методів, методик, наукових підходів, які дозволяють визначити рівень екологічної безпеки під час реконструкції та експлуатації автомобільної дороги.

Висновки до розділу, мета та завдання дослідження

1. Аналіз стану дорожнього будівництва в сучасних умовах показав, що воно належить до числа найбільш матеріаломістких галузей промисловості і

потребує значної кількості сировинних та енергетичних ресурсів. Незадовільний стан автомобільних доріг України вимагає значного використання будівельних матеріалів.

2. Промислові відходи чорної і кольорової металургії є фактором екологічної небезпеки, завдають серйозної шкоди довкіллю і здоров'ю людини, займають величезні площі, забруднюють токсичними з'єднаннями ґрунти, водний і повітряний басейни, підвищують собівартість готової продукції підприємств із за значних витрат на їх транспортування, розміщення і зберігання. Виникають порушення ландшафту, рівноваги геологічного, фізичного та механічного стану; хімічне і радіаційне забруднення ґрунтів та вод, вимивання та видування шкідливих компонентів

3. Багаторічний досвід дорожніх організацій показує, що вся продукція шлакопереробки економічно вигідна. Розрахункові нормативно-технічні характеристики для основних українських шлаків, а особливо доменних і гранульованих доменних в 1,5-2,0 рази вищі за нормативні показники на продукцію із природних кам'яних матеріалів. Важливим фактором, який стимулює використання шлаків, є постійне загострення енергетичної кризи, так як виробництво продукції із вторинних матеріалів потребує в 2-4 рази менше енергії, ніж для виробництва рівноцінної продукції із природної сировини.

4. Існує велика кількість методів оцінки екологічної безпеки, які можна розділити умовно на 3 підходи: оцінка екологічної безпеки методом нормування, методом екологічного ризику і методом інтегрального показника. Розроблено різні підходи для визначення рівня екологічної безпеки будівництва, реконструкції та експлуатації автомобільних доріг. Аналіз методів оцінювання підвищення рівня екологічної безпеки при використанні альтернативних матеріалів в дорожньому будівництві показав, що існуючі методики не враховують всіх аспектів екологічної безпеки при використанні будівельних матеріалів з шлаків металургійних.

Таким чином, підвищення рівня екологічної безпеки можливо шляхом використання металургійних відходів у дорожньому будівництві, яке потребує

пошуку альтернативних замінників природних будівельних матеріалів. Металургійні шлаки як дорожньо-будівельні матеріали в 1,5-2 рази дешевші від аналогічних природних кам'яних матеріалів і потребують значно менших питомих капітальних вкладень. Водночас це є одним із ефективних і економічно обґрунтованих способів утилізації відходів металургійного виробництва.

Відсутність науково-обґрунтованого підходу до вирішення зазначеної проблеми обумовлює актуальність теми дослідження та є передумовою постановки його мети та завдань.

Тому **метою** дослідження є підвищення рівня екологічної безпеки в дорожньому будівництві шляхом використання МШ для зменшення шкідливого впливу шлакових відвалів на НС та збереження природних кам'яних матеріалів за умови забезпечення заданих міцнісних характеристик КДО.

Для досягнення мети було поставлено **завдання**:

- обґрунтувати можливості підвищення рівня екологічної безпеки в дорожньому будівництві за рахунок використання відходів металургійних виробництв як альтернативних ДБМ;
- розробити методику оцінювання екологічної безпеки використання МШ як замінника природного матеріалу в дорожньому будівництві;
- провести експериментальні дослідження якісних характеристик МШ в окремих фазах життєвого циклу для визначення вимог до шлаків як ДБМ та вимог до КДО на основі шлаків;
- визначити можливі обсяги заміни природних матеріалів металургійними шлаками з урахуванням особливостей КДО доріг різної категорії;
- провести порівняльне оцінювання техніко-експлуатаційних властивостей КДО різних категорій доріг з використанням природних та альтернативних матеріалів;
- провести оцінювання рівня екологічної безпеки та еколого-економічної ефективності за різних сценаріїв використання МШ як ДБМ.

Матеріали розділу представлені в роботах [2, 5, 8, 124-129].

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ У ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ

2.1. Структура методики оцінювання рівня екологічної безпеки при використанні металургійних шлаків як альтернативного дорожньо-будівельного матеріалу

Методика оцінювання рівня екологічної безпеки при використанні металургійних шлаків як альтернативного дорожньо-будівельного матеріалу (АДБМ) дозволить підприємствам дорожньої галузі проводити комплексну оцінку рівня екологічної безпеки на стадії проектування автомобільних доріг та обґрунтовувати вибір конструкції дорожнього одягу із забезпеченням необхідних показників якості дорожнього одягу.

Основою методики є проведені теоретичні дослідження підвищення рівня екологічної безпеки у дорожньому будівництві та можливостей застосування металургійних шлаків як АДБМ. Результати аналізу міжнародного та вітчизняного досвіду (розділ 1 п. 1.3 – 1.4) дозволили запропонувати алгоритм оцінки рівня екологічної безпеки при застосуванні АДБМ. Схема оцінювання приведена на рис. 2.1.

На першому етапі необхідно обґрунтувати доцільність використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві.

Методологічною основою оцінювання рівня екологічної безпеки при використанні в конструкції дорожнього одягу металургійних шлаків є системний підхід, який широко використовується при проведенні досліджень на стадіях проектування, будівництва, ремонту та експлуатації автомобільних доріг.

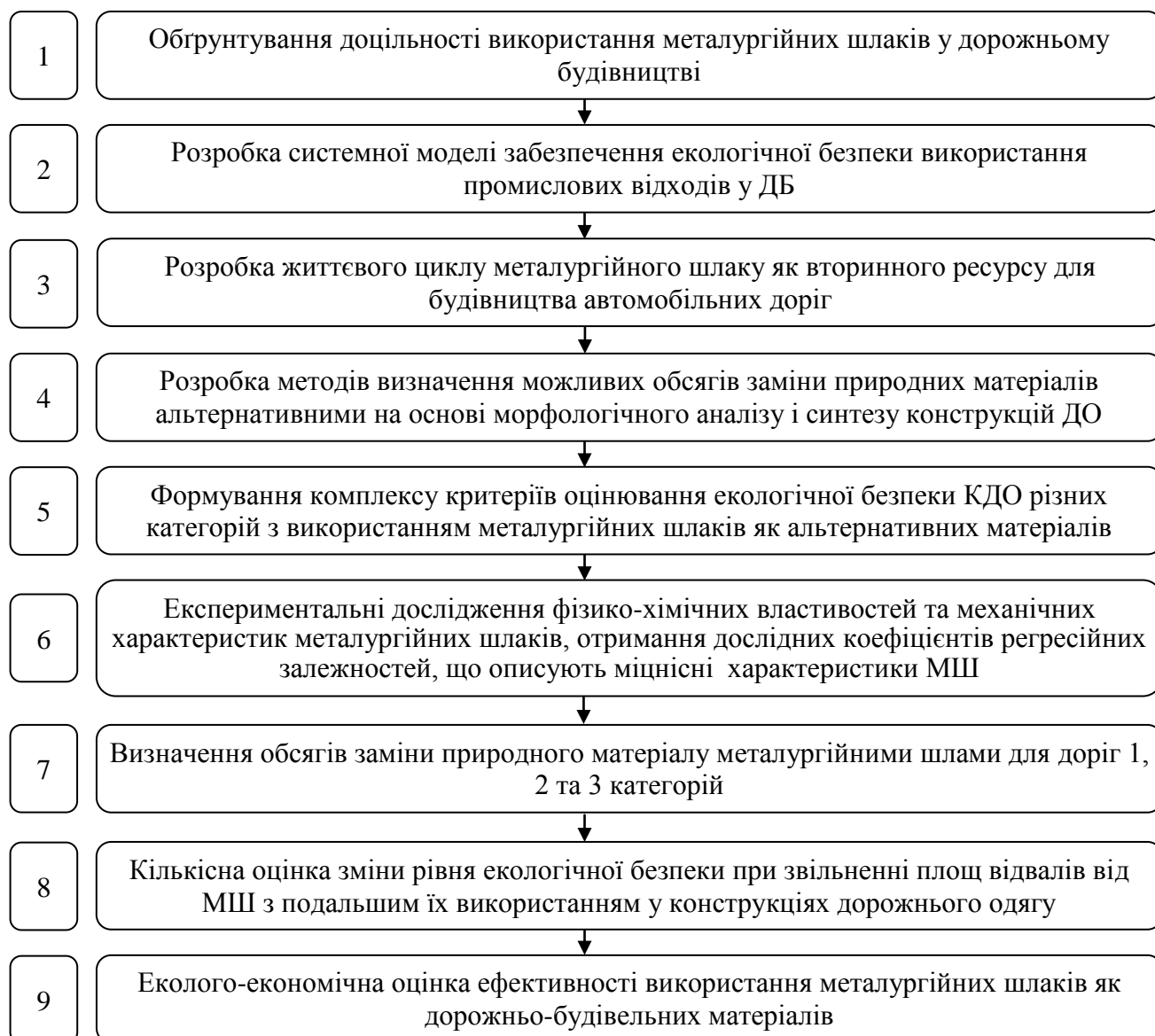


Рис. 2.1. Схема методики оцінки рівня екологічної безпеки у дорожньому будівництві при використанні металургійних шлаків як альтернативного дорожньо-будівельного матеріалу

Отже, наступним етапом оцінювання рівня екологічної безпеки є формування системної моделі забезпечення екологічної безпеки використання промислових відходів у дорожньому будівництві (етап 2). Модель дозволяє інтегрувати методи і методики оцінки екологічної безпеки при поводженні з промисловими відходами в процеси, які визначені вимогами до альтернативних матеріалів під час будівництва доріг. Вхідним параметром цієї моделі є кількість

природного матеріалу та металургійного шлаку. Забезпечення екологічної безпеки при використанні МШ як заміника природного матеріалу в дорожньому будівництві формується в двох підсистемах: забезпечення екологічної безпеки при поводженні з промисловими відходами та будівництва доріг. Вихідними параметрами є показники рівня екологічної безпеки, які характеризуються обсягами використаного шлаку та збереженого природного матеріалу, що показують зменшення негативного впливу промислових відходів на довкілля за рахунок використання їх як альтернативного дорожньо-будівельного матеріалу та дозволяють підвищити рівень ресурсозбереження природних матеріалів при будівництві доріг.

Аналіз підсистеми поводження з промисловими відходами дозволяє розробити модель життєвого циклу металургійного шлаку як вторинного ресурсу для будівництва автомобільних доріг (етап 3), що забезпечує управління якістю сировини і матеріалу та визначає основні зв'язки з НС. Модель дозволяє визначати вимоги до шлаку як будівельного матеріалу.

На етапі 4 для визначення можливих обсягів заміни природних матеріалів металургійними шлаками на основі систематизації КДО за функціональними елементами пропонується застосувати метод морфологічного аналізу і синтезу. Систематизація КДО за морфологічними ознаками основних функціональних елементів (підстилаючий шар, основа і покриття) проводиться в такій послідовності: будується структурний граф дорожнього одягу, формується морфологічна матриця КДО за основними функціональними елементами та проводиться систематизація КДО за морфологічними ознаками матеріалів. На основі морфологічного аналізу розробляється конструкція дорожнього одягу.

Комплекс критеріїв оцінювання рівня екологічної безпеки в окремих фазах життєвого циклу металургійних шлаків в ланцюзі «відходи металургійного виробництва – сировина – матеріал – елементи КДО» формується на основі визначення можливих обсягів заміни природних матеріалів на МШ з врахуванням якісних показників шлаків, які визначені в технічних умовах на шлак та матеріал,

а також ДСТУ, ГБН та інших нормативно-правових актах дорожньо-будівельної галузі (етап 5).

Для визначення рівня екологічної безпеки в обох підсистемах необхідно провести експериментальні дослідження окремих фаз життєвого циклу МШ різних комбінатів та теоретично обґрунтувати закономірності впливу їх хімічного складу на активність шлаку як його основної механічної характеристики, що впливає на критерії якості дорожнього одягу та його екологічну безпеку (етап 6).

Під час виплавляння руди відбуваються окисно-відновні хімічні реакції, що сприяють утворенню продуктів: сталь або чавун (в залежності від процесу виплавляння) та відходів – металургійних шлаків у розплавленому стані. До складу МШ, як багатокомпонентної системи, входять оксиди SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , MgO , FeO , MnO . Активність шлаків залежить від хімічного складу і для різних металургійних комбінатів є різною. Хімічний склад та властивості доменних шлаків залежать від складу залізної руди, властивостей флюсів, палива та режиму плавлення. Керуючись цим фактом можна зазначити, що шлаки різних металургійних підприємств мають різний хімічний склад, структуру та властивості.

Обробка експериментальних досліджень формує базові значення товщини шару дорожнього покриття з використанням природних матеріалів та металургійних шлаків, що відповідають необхідному модулю пружності КДО (етап 7). Це дозволяє визначити обсяги заміни природного матеріалу МШ для різних категорій доріг.

Кількісна оцінка рівня екологічної небезпеки встановлює на скільки знизиться рівень екологічного ризику при звільненні площ відвалів від металургійних шлаків з подальшим їх використанням у дорожньому будівництві буде сприяти підвищенню рівня екологічної безпеки (етап 8).

Визначена оцінка екологічної безпеки, яка враховує критерії якості та екологічної безпеки дорожнього одягу при використанні в конструкції альтернативних матеріалів та дозволяє виконувати порівняльну оцінку КДО з

традиційних та альтернативних дорожньо-будівельних матеріалів для доріг різної категорії

Еколого-економічна оцінка ефективності використання металургійних шлаків у конструкціях дорожнього одягу різних категорій, дозволяє не тільки провести порівняльну оцінку комплексних критеріїв екологічної безпеки дорожнього одягу при використанні шлаків у дорожньому будівництві, але дозволяє визначити доцільність використання МШ у дорожньому будівництві (етап 9).

Таким чином, запропонована методика дозволяє провести оцінку екологічної безпеки у дорожньому будівництві при використанні металургійних шлаків як альтернативного дорожньо-будівельного матеріалу. Для її реалізації проведемо системний аналіз забезпечення екологічної безпеки при використанні промислових відходів як дорожньо-будівельного матеріалу.

2.2. Розробка системної моделі екологічної безпеки використання промислових відходів у дорожньому будівництві

Системний аналіз дозволяє досліджувати різноманітні складні системи або ситуації при нечітко поставлених цілях (критеріях). Важливо виділити досліджувану систему як сукупність елементів, що утворюють цілісність і визначеним способом пов'язані між собою, виявити зв'язки і відношення, які є як всередині системи, так і в її взаємовідношеннях із зовнішнім оточенням [130]. Складність і велика кількість елементів, зав'язків і відношень обумовлює ієрархічну будову системи – упорядковану послідовність її різних компонентів і рівнів взаємозв'язку між ними. Система має визначену ієрархічну структуру і складається з підсистем, при цьому основною ознакою виділення підсистеми є її цільове призначення. У підсистеми повинні бути цілі функціонування, що впливають із загальних цілей функціонування системи. Підсистеми можуть розглядатися як системи, що, в свою чергу, складаються з підсистем.

Ідеї системного підходу успішно застосовували в дослідженнях об'єктів дорожнього будівництва такі вчені, як С. В. Гавриленко [131], Ю. Д. Проник [132], О. Бабенко [133], І. І. Франчук [134], Т. О. Халай [135].

Застосування системного аналізу для дослідження використання техногенних відходів у будівництві дозволило Т. О. Кравчуновській обґрунтувати доцільність використання промислових відходів на доінвестиційній стадії проекту, яка дозволяє кількісно оцінити фінансову реалізованість проекту використання відходів промисловості [136].

Ефективність системного підходу для управління проектами і програмами поводження з відходами доведена в роботах В. О. Хрутьби [137]. Автором розроблено системні моделі досліджуваної системи в системних об'єктах, виділено основні процеси системи, визначенні функціональні елементи, зворотні зв'язки управління процесами та зв'язки з середовищем.

Використання АДБМ потребує розробки системних моделей, які дозволять забезпечити найбільш ефективно використання металургійного шлаку як заміника традиційних дорожньо-будівельних кам'яних матеріалів.

Отже, об'єктом системного аналізу є процес забезпечення екологічної безпеки при інтеграції двох взаємозалежних процесів – поводження з промисловими відходами та будівництва доріг [138].

Результати проведеного в Розділі 1 аналізу досліджень про стан системи використання промислових відходів як заміника природного матеріалу в дорожньому будівництві дозволили представити модель забезпечення екологічної безпекою у вигляді моделі «чорної скриньки» (рис. 2.2), яка є сукупністю процесів, що змінюють стан системи від початкового до бажаного.

Мета функціонування системи забезпечення екологічної безпеки – зменшення обсягів використання природних матеріалів заміною їх МШ як альтернативними дорожньо-будівельними матеріалами, тим самим підвищити рівень ресурсозбереження при будівництві автомобільних доріг. Функцією входу є забезпечення системи матеріалом, енергією та інформацією, які поступають в

процес. Вихід є результатом процесу і може бути визначений як призначення, для досягнення якого системні об'єкти об'єднані разом.

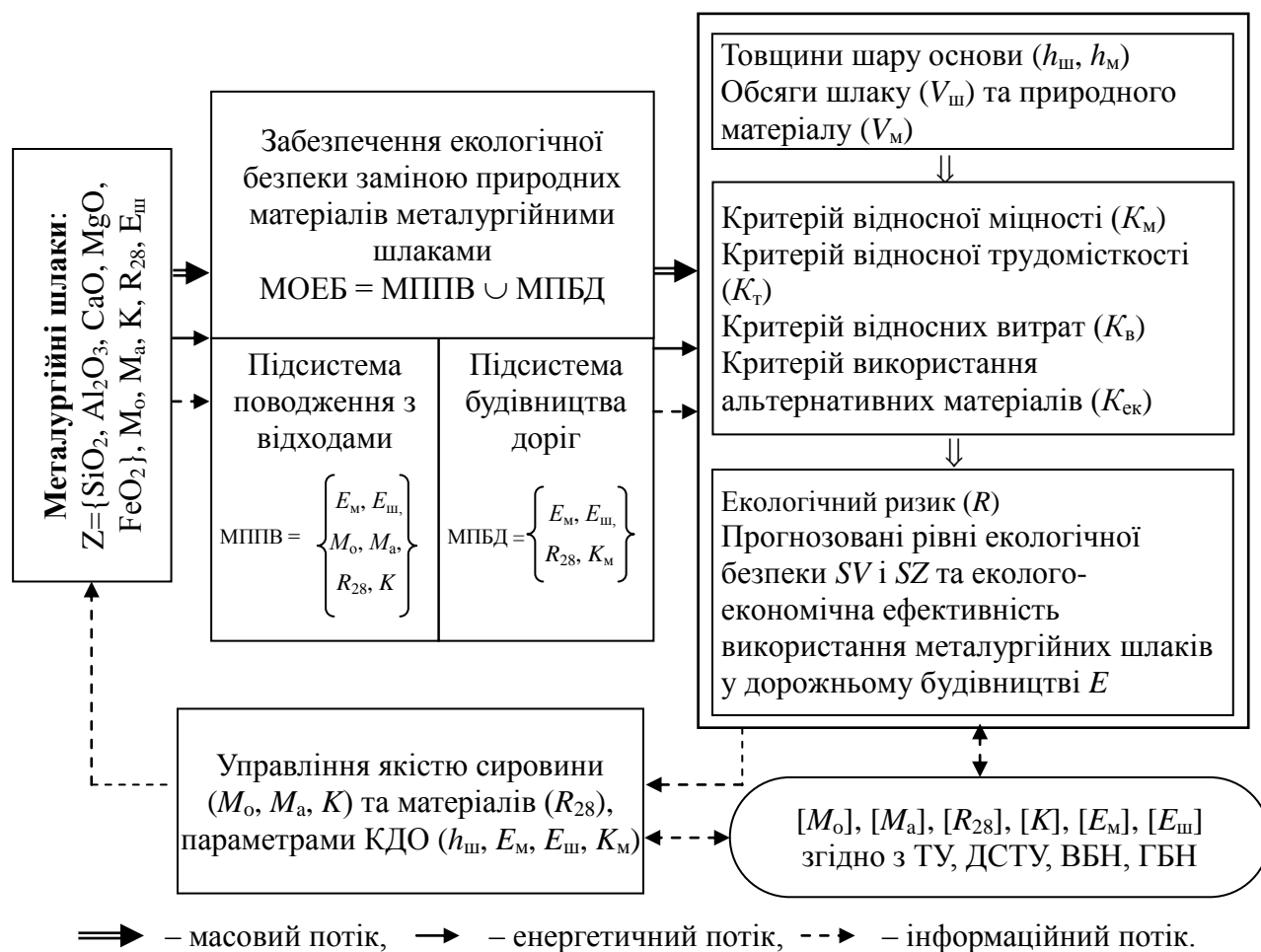


Рис. 2.2. Системна модель забезпечення екологічної безпеки в дорожньому будівництві

Процес забезпечення екологічної безпеки використання промислових відходів в дорожньому будівництві включає два послідовні процеси - процес поводження з промисловими відходами і процес будівництва та реконструкції автомобільних доріг. Управління рівнем екологічної безпеки обох процесів здійснює керуюча система «управління якістю сировини, матеріалів, конструкцією дорожнього одягу», яка визначає тип управління, що подається на вхід керованої системи.

Системна модель оцінювання екологічної безпеки (МОЕБ) використання металургійних шлаків як заміника природного матеріалу в дорожньому

будівництві, яка включає модель підсистеми поводження з відходами (МППВ), що описує екологічну безпеку процесу поводження з промисловими відходами, і модель підсистеми будівництва доріг (МПБД), що описує процес проектування КДО з визначеними обсягами заміни природних матеріалів металургійними шлаками та заданими властивостями якості:

$$МОЕБ = МППВ \cup МПБД \quad (2.1)$$

Отже, системна модель екологічної безпеки використання промислових відходів як заміника природного матеріалу в дорожньому будівництві є об'єднанням моделі підсистеми поводження з промисловими відходами та підсистеми будівництва та реконструкції автомобільних доріг.

Таким чином, розроблена системна модель спрямована на зменшення обсягів металургійних шлаків та підвищення рівня ресурсозбереження природних матеріалів. Її застосування сприяє поліпшенню стану довкілля за рахунок зменшення кількості промислових відходів і площі зон їх зберігання та збереження природних матеріалів, які при будівництві та реконструкції доріг можуть замінюватися альтернативними.

Реалізація моделі передбачає інтеграцію методів і методик забезпечення екологічної безпеки при поводженні з промисловими відходами з процесами, визначеними вимогами до альтернативних матеріалів при будівництві та реконструкції доріг. Тому для цього доцільно провести формування та аналіз фаз життєвого циклу відходів як матеріалу дорожнього одягу та забезпечує перехід відповідно ланцюга – відходи, сировина, матеріал, продукт. Розглянемо життєвий цикл металургійного шлаку як АДБМ.

2.3. Формування моделі життєвого циклу металургійного шлаку в ланцюзі «відходи – сировина – матеріал – елемент конструкції»

Основою для аналізу рівня екологічної безпеки при використанні промислових відходів як заміника природного матеріалу в дорожньому будівництві є оцінювання життєвого циклу продукту. Концепція оцінки життєвого циклу продукту (*Life cycle assessment*) з точки зору його впливу на довкілля визначена міжнародними стандартами серії ISO 14040.

Згідно стандарту ДСТУ ISO 14040:2013 [139] життєвий цикл (life cycle) визначається як послідовні та пов'язані між собою ступені системи продукту — від придбання сировини або добування природних ресурсів до остаточного видалення. Оцінка життєвого циклу продукції є методом оцінювання ефектів, які продукт здійснює на НС протягом всього життя, таким чином, підвищуючи ефективність використання ресурсів і знижуючи шкідливість продукції, що випускається.

Як визначено в стандарті ДСТУ ISO 14040:2013, оцінювання життєвого циклу є об'єднанням та оцінюванням входів, виходів та потенційних екологічних впливів системи продукту протягом її життєвого циклу. Результатом аналізу є представлення життєвого циклу, як фази оцінювання життєвого циклу, в якій дані аналізу впливу поєднуються відповідно до визначеної мети та сфери застосування, щоб отримати висновки і рекомендації.

Розглянемо технологічні процеси формування КДО та проведемо аналіз життєвого циклу ДБМ від сировини до використання в КДО. Модель життєвого циклу матеріалу дорожнього одягу на основі природного щебеню має чотири фази: I фаза – порода в кар'єрі, II фаза – сировина, III фаза – матеріал, IV фаза – продукт.

Розробка породи в кар'єрі найчастіше відбувається відкритим способом. Будівельні матеріали, вугілля, руди чорних та кольорових матеріалів відбираються з надр та транспортуються до місця переробки. Процес здійснює вплив на надра, ґрунт, атмосферу, утворюється велика кількість відходів. На

другій стадії відбувається переробка сировини (дробіння, промивання, збагачення, сортування), що дозволяє надати сировині властивості матеріалу (стадія III). Впливи на довкілля визначаються особливостями окремих виробничих процесів.

Використання природного матеріалу при будівництві дорожнього одягу перетворює його на продукт, який застосовується для конкретної КДО (стадія IV).

Життєвий цикл металургійного шлаку як матеріалу складається з чотирьох фаз, що відповідають етапам поводження з відходами згідно Закону України «Про відходи» [140], а саме:

- утворення відходів під час та по закінченню виробничих процесів;
- підготовка сировини реалізується у ході переробки відходів;
- виготовлення матеріалу здійснюється при переробці сировини;
- споживання продукту – це застосування матеріалу.

Таким чином, МШ як АДБМ має також чотири фази життєвого циклу: I фаза – відходи, II фаза – сировина, III фаза – матеріал, IV фаза – продукт. На відміну від попередньої моделі фаза «порода у кар'єрі» замінена на фазу «відходи у відвалі».

Модель життєвого циклу металургійного шлаку як дорожньо-будівельного матеріалу представлена на рис. 2.3 [1, 2].

Аналіз структури продукційної системи перетворення металургійних відходів в дорожньо-будівельні матеріали показує, що утворення відходів (I фаза) є вхідною фазою моделі, яка включає в себе процес завантаження вихідних матеріалів та процес плавлення – це може бути доменний, сталеплавильний або процес виплавляння кольорових металів.

Підготовка сировини (II фаза) починається з процесу охолодження шлакового розплаву або грануляції із застосуванням води та повітря. Після охолодження доменного шлаку відбувається його подрібнення, вилучення металу за допомогою магнітної шайби та транспортування у відвал.

Під час охолодження відбувається виділення в атмосферу шкідливих забруднюючих з'єднань з парами води та скид оборотних вод з вмістом вапна, сірководню, аміаку та ін. (зв'язок ІНС).

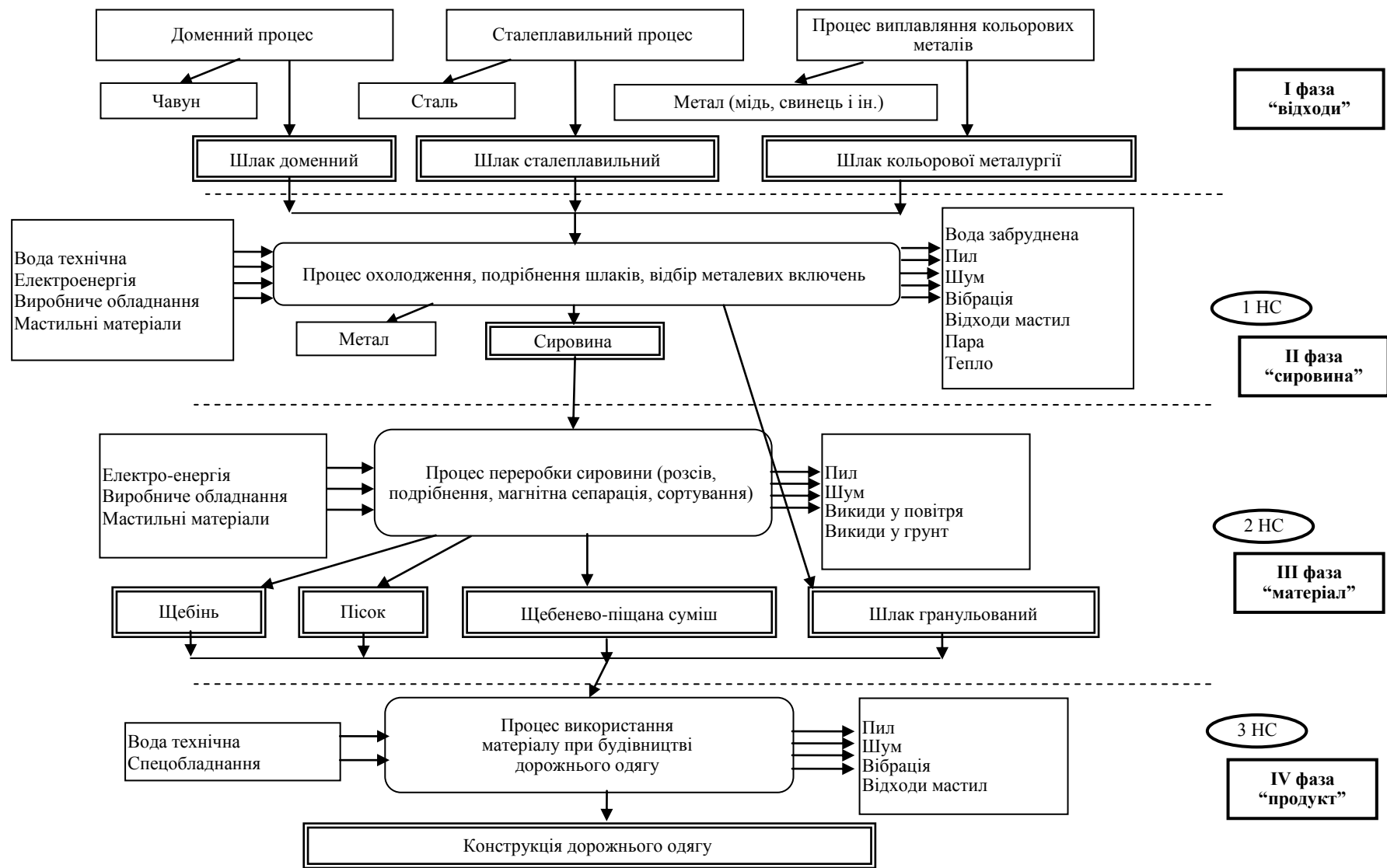


Рис. 2.3. Структура продукційної системи перетворення металургійних відходів в дорожньо-будівельні матеріали (розробка автора)

Виготовлення матеріалу (III фаза), тобто щебеню та щебенево-піщаної суміші, починається із завантаження сировини в дробильно-сортувальну установку, де відбуваються процеси подрібнення, магнітної сепарації із вилученням металу (скрапу) та подальшим розсіванням на фракції. При подрібненні та сортуванні сировини відбувається виділення значної кількості пилу в атмосферне середовище (зв'язок 2НС).

Споживання продукту (IV фаза) є заключною фазою моделі, на початку якої вирішується питання сфери застосування матеріалів в дорожньому будівництві (товщина шару дорожнього одягу, категорія дороги тощо). В процесі влаштування шару КДО із застосуванням шлакового щебеню або щебенево-піщаної суміші існує ймовірність виділення пилу (зв'язок з НС).

При реалізації кожної фази життєвого циклу МШ як АДБМ надзвичайно важливо визначити зворотні зв'язки, які забезпечують управління якістю виходів на кожній із фаз, тому модель життєвого циклу доцільно представити в системних об'єктах: вхід, процес, вихід, зворотні зв'язки, обмеження [1].

В роботах автора [3, 141-144] для оцінки впливу альтернативних матеріалів на техніко-експлуатаційні показники дорожнього одягу запропоновано досліджувати систему «альтернативний дорожньо-будівельний матеріал – елемент дорожнього одягу – конструкція дорожнього одягу» в системних об'єктах. Такий підхід є доцільним тому, що система представляє життєвий цикл альтернативного матеріалу (отримання, переробка, використання). Причому всі стадії життєвого циклу МШ як АДБМ можуть розглядатись як окрема стадія його утилізації. Одержані результати дозволили розробити структуру моделі в системних об'єктах (рис. 2.4).

Функцією входу I фази життєвого циклу і системи загалом є відходи металургійного виробництва, які при охолодженні перетворюються у сировину, яка, в свою чергу, є входом процесу її переробки у матеріал.

Для управління процесом переробки служить зворотній зв'язок III фази, що забезпечує управління якістю сировини згідно з нормативними документами ТУ, ДСТУ, які є обмеженнями на даному етапі.

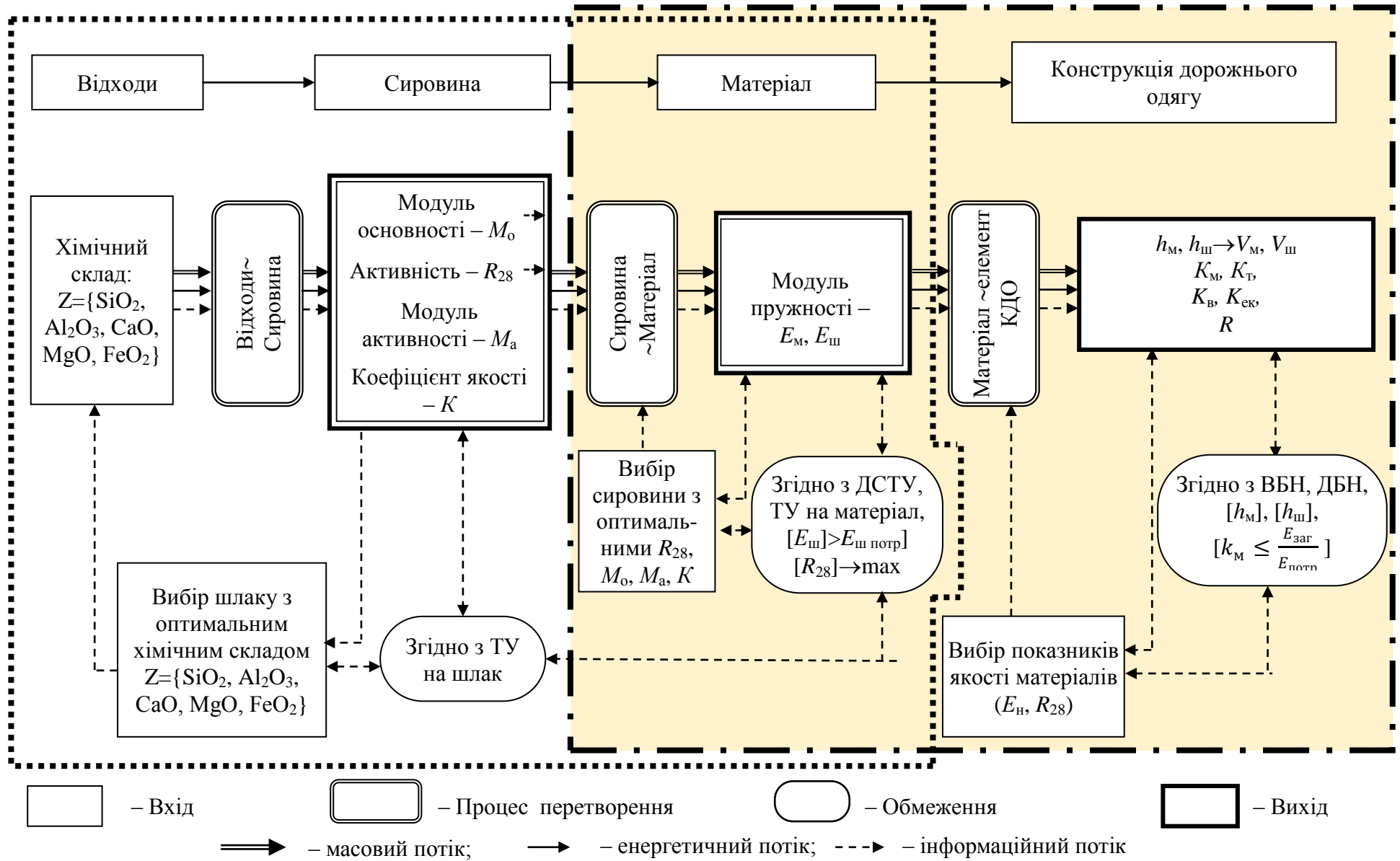


Рис. 2.4. Життєвий цикл МШ в системних об'єктах.

Перед виготовленням матеріалу вихідну сировину піддають перевірці на відповідність показникам якості: активності, стійкості структури проти розпадів, наявності домішок (глина в грудках, метал, сторонні забруднювачі), величини ефективної сумарної питомої активності природних радіонуклідів, що сприяє забезпеченню якості сировини при виготовленні щебеню, піску та щебенево-піщаної суміші методом подрібнення і розсіву на певні фракції.

Матеріал є входом для процесу його використання при будівництві дорожнього одягу, виходом з якого є елемент конструкції або продукт.

Для управління цього процесу, служить зворотній зв'язок IV фази, який забезпечує управління якістю матеріалу у відповідності до обмежень (ТУ, ДСТУ, ДБН, ВБН, ГОСТ), які регламентують вимоги до матеріалів: зерновий склад, міцність, вміст слабких зерен, стиранистість, вміст глини в грудках, наявність домішок металу та сторонніх домішок, стійкість структури проти розпадів, насипна густина, клас за величиною ефективної сумарної питомої активності природних радіонуклідів, морозостійкість тощо. Всі процеси даної моделі пов'язані з перетворенням матеріалу (масовий потік), з використанням енергії (енергетичний потік) та інформації (інформаційний потік).

Таким чином, застосування системного підходу з використанням системних об'єктів дозволило побудувати модель життєвого циклу металургійного шлаку як вторинного ресурсу для будівництва автомобільних доріг. В моделі виділені основні процеси системи, які мають вхідні та вихідні енергетичні, масові, інформаційні потоки та зворотні зв'язки, що забезпечують управління якістю сировини і матеріалу, а також основні зв'язки з НС.

Використання такого підходу сприяє якісному забезпеченню сировиною технологічного процесу виготовлення щебеню, піску і щебенево-піщаної суміші та використанню в КДО матеріалів з металургійних шлаків, які б відповідали нормативним вимогам.

Для управління екологічною безпекою системи використання відходів як АДБМ на всіх фазах життєвого циклу металургійного шлаку необхідно визначити

вимоги до металургійних шлаків як ДБМ та характеристики їх механічних властивостей в залежності від хімічного складу.

2.4. Моделювання властивостей металургійних шлаків на стадії «Сировина-Матеріал»

Випробування металургійних шлаків для дорожнього будівництва полягає у визначенні активності, насипної щільності, вологості, вмісту металевих включень (скрапу), золи, горілих порід, ґрунту, сміття згідно з ДСТУ Б В.2.7-71-98 [144].

Шлаки призначені для влаштування нижніх шарів основ дорожнього одягу автомобільних доріг I категорії повинні відповідати вимогам згідно з ВБН В.2.3-218-186-2004 [145] в V-I...V-IV дорожньо-кліматичних зонах за ДБН В.2.3-4:2015 Використовують тільки ті, які знаходяться у відвалах від 8 до 15 років після завершення остаточної стабілізації їх властивостей згідно з [146].

Єдність випробувань металургійних шлаків для дорожнього будівництва забезпечується вимогами [144, 147] і передбачають:

- визначення активності шлаків,
- визначення насипної щільності,
- визначення вологості,
- визначення вмісту металевих включень (скрапу), золи, горілих порід, ґрунту, сміття,
- визначення стійкості структури шлаків проти розпадів.

Модуль пружності МШ залежить від величини активності:

$$E_{ш} = f(R_{28}) \quad (2.2)$$

Коефіцієнт якості шлаків повинен бути не менше ніж 1,65 і розраховується при вмісті оксиду магнію до 10 % за формулою (1.3), при вмісті оксиду магнію більше 10 % за формулою (1.4).

В свою чергу на активність МШ впливає їх хімічний склад, що дозволяє в подальшому прогнозувати механічні властивості МШ як дорожньо-будівельного матеріалу. Тому для розробки математичної моделі активності МШ в залежності від хімічного складу використовувалися методи кореляційно-регресійного аналізу результатів експериментальних досліджень активності шлаків від хімічного складу для шести металургійних комбінатів дозволяє одержати регресійні моделі-залежність активності МШ від його хімічного складу.

Основною фазою доменних шлаків є алюмосилікати (меліт, анортит і т.д.) з певним вмістом SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO . При температурі понад $1300\text{ }^\circ\text{C}$ оксиди CaO знижують в'язкість розплаву, а при низькій - різко підвищують. На в'язкість шлакового розплаву впливає вміст MgO , MnO , FeO , SO_3 . До збільшення в'язкості підвищують вміст кремнезему вище 40% та оксиду алюмінію Al_2O_3 . Знижують в'язкість розплаву газові включення [148].

Хімічний склад шлаку повинен відповідати таким значенням: оксиду алюмінію (Al_2O_3) не менше 8,0 %, оксиду магнію (MgO) не більше 15,0 %, двооксиду титану (TiO_2) не більше 4,0 %, оксиду марганцю (MnO) не більше 2,0 %.

Найбільший вплив на якість МШ мають такі елементи хімічного складу як SiO_2 , Al_2O_3 та CaO , так як за цими показниками визначаються модуль основності (ф. 1.1), модуль активності (ф. 1.2), коефіцієнт якості (k) та активність сировини.

Таким чином, було обрано лише 3 оксиди з врахуванням яких проведено багатофакторний аналіз.

При плануванні експерименту здійснюється послідовне зміна кожного фактору до певного приватного максимуму при достовірному значенні всіх інших факторів. Для повного з'ясування впливу різних факторів та визначення параметрів оптимальних умов технологічного процесу (де найбільша кількість впливають на процес факторів), необхідно поставити велику кількість дослідів. Якщо досліджується вплив п'яти факторів, тобто п'яти змінних, то при чотирьох значеннях кожного перманентного (або при чотирьох рівнях) число комбінацій

складе $4^5 = 1024$. Практично такої кількості дослідів не проводять, бо це вимагає великої витрати часу і коштів.

Методи планування активного експерименту знайшли широке застосування з метою побудови математичної моделі технологічних процесів. При підготовці активного експерименту намічено певний план його реалізації, при якому цілеспрямовано, змінюються входні змінні $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, які є факторами процесу. В даному випадку факторами є вміст оксидів, рівень яких впливає на активність матеріалу. Статистичні характеристики об'єкта дослідження за результатами аналізу факторного планування експерименту визначаються при меншому обсязі розрахунків порівняно з методами регресійного аналізу.

Вихідна величина об'єкту при планованому факторному експерименті є функцією відгуку (цільовою функцією) або параметром (критерієм) оптимізації.

Зазвичай намагаються досягти екстремального значення параметра оптимізації. Цей екстремум може бути умовним. У випадку визначення максимальної цінності цільової функції без будь-яких додаткових обмежень, використовують екстремальний момент функції. При наявності обмежень певного фактору фактично шукають умовний екстремум.

Методи планування активних експериментів засновані на одночасній зміні багатьох факторів, причому ці плани допускають таку подальшу обробку даних, яка дозволяє виділити вплив кожного окремого фактору та їх взаємодії на зміну вихідних параметрів процесу, тобто отримати математичну модель у заданій області експериментування.

Методи активного експерименту дозволяють при значному скороченні дослідів отримати великий обсяг інформації, яку легко представити у вигляді рівнянь регресії, що можна аналізувати та інтерпретувати геометрично.

Для побудови багатфакторної моделі необхідно виконати наступні умови:

1. Відгук Y повинен бути випадковою величиною, розподіленою за нормальним законом. Гіпотезу про нормальність розподілу у можна перевірити стандартними методами.

2. Дисперсія величин y не повинна залежати від абсолютної величини y . Ця умова перевіряється за допомогою критеріїв однорідності дисперсії в різних точках факторного простору.

3. Значення факторів не повинні бути випадковими величинами. Ця умова означає, що фіксація і підтримку кожного фактору на заданому рівні здійснюється з точністю менше помилки відтворюваності результатів.

Моделі доцільно використовувати при дослідженні впливу хімічного складу шлаку на його міцнісні характеристики. У загальному випадку така модель має вигляд:

$$Y = f(x) + \varepsilon, \quad (2.3)$$

де f - шукана функція, ε - випадкова складова.

Вплив випадкових чинників і недостатня вивченість, відсутність відомостей про фізико-хімічну сутність явищ не дозволяють використати детермінований підхід при розробці математичного описання процесу в цілому.

Отже, математична модель є функцією чи системою функцій, що описують кореляційно-регресійний зв'язок між технологічними показниками, один чи кілька з яких є залежною змінною, а решта – незалежними. У загальному вигляді вона модель має вигляд:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_m, e), \quad (2.4)$$

де Y – залежна змінна; $x_j, (j = 1, \dots, m)$ – незалежні змінні, e – стохастична складова.

Виходячи із існуючих технологічних даних приймаємо за множину незалежних змінних $x_j, (j = 1, \dots, m)$ - складові хімічного складу металургійного шлаку, а саме вмісту оксидів, які впливають на його міцнісні характеристики

($X_i = \{SiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO, FeO_2 \text{ тощо}\}$). Вихідною величиною Y є активність R_{28} , МПа.

Отже, вхідними параметрами математичних моделей є активність (R_{28}) металургійних шлаків таких комбінатів, як ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат», ПАТ Маріупольський МК ім. Ілліча, ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь», ПАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь», ПАТ «Єнакієвський металургійний завод».

Загальний вигляд багатофакторної моделі (Y) залежності активності металургійного шлаку (R_{28}) від його хімічного складу:

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cdot x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{i,j} \cdot x_i \cdot x_j \quad (2.5)$$

де n – кількість складових хімічного складу МШ, $a_0, a_i, \dots, a_n, a_{i,j}, \dots, a_{n,n}$ – коефіцієнти рівняння регресії, x_i, \dots, x_n – незалежні змінні (складові хімічного складу МШ – $Z = \{SiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO, FeO_2 \text{ тощо}\}, R_{28} \forall Z$), що визначають умови існування дослідної системи.

В процесі математичного моделювання отримані залежності для визначення активності металургійних шлаків загального вигляду:

$$R_{28} = a_1 \cdot K_1 + a_2 \cdot K_2 + a_3 \cdot K_3 + a_{12} \cdot K_1 \cdot K_2 + a_2 \cdot K_1 \cdot K_3 + a_{23} \cdot K_2 \cdot K_3 + a_{11} \cdot (K_1)^2 + a_{22} \cdot (K_2)^2 + a_{33} \cdot (K_3)^2, \quad (2.6)$$

де K_1, K_2, K_3 – незалежні змінні (вміст хімічних складових металургійного шлаку SiO_2, Al_2O_3, CaO), %.

$a_1, a_2, a_3, a_{12}, a_{13}, a_{23}, a_{11}, a_{22}, a_{33}$ – емпіричні коефіцієнти.

Одним з основних методів визначення параметрів регресійних рівнянь є метод найменших квадратів та його модифікації.

Сутність даного методу полягає в знаходженні параметрів моделі, при яких сума квадратів відхилень емпіричних (фактичних) значень результуючого ознаки від теоретичних, отриманих за обраним рівнянням регресії, тобто:

$$S = \sum_{i=1}^n (Y_i^p - Y_i)^2 = \sum_i (Y_i^p - a_0 - a_1 x)^2 \rightarrow \min \quad (2.7)$$

де Y_i^p – значення, обчислене за рівнянням регресії; $(Y_i^p - Y_i)$ – відхиленняє (похибка, залишок); n – кількість пар вихідних даних.

Розрахунок коефіцієнтів багатofакторної поліноміальної моделі за методом найменших квадратів у матричному вигляді проводиться за формулою [149]:

$$B = (X^T X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y \quad (2.8)$$

де B – вектор стовпець значень коефіцієнтів багатofакторної поліноміальної моделі; X – матриця плану експерименту; X^T – транспонована матриця плану експерименту; Y – вектор стовпець значень функції відгуку, що є значеннями активності шлаків (R_{28}).

Обернена матриця $(X^T X)^{-1}$ є матрицею помилок коефіцієнтів (варіаційно-коваріаційна матриця), в якій елементи, що розміщені на діагональні – це дисперсії коефіцієнтів, а інші елементи – коваріації, що визначають статистичну залежність між коефіцієнтами полінома.

Матриця плану експерименту для побудови математичної моделі активності металургійних шлаків ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» представлено в табл. 2.1.

В результаті обробки даних були отримані коефіцієнти математичних моделей:

$$R_{28} = 7,847 \cdot K_1 - 11,268 \cdot K_2 - 3,622 \cdot K_3 + 0,446 \cdot K_1 \cdot K_2 + 0,083 \cdot K_1 \cdot K_3 + 0,004 \cdot K_2 \cdot K_3 - 0,214 \cdot (K_1)^2 - 0,297 \cdot (K_2)^2 + 0,005 \cdot (K_3)^2 \quad (2.9)$$

Таблиця 2.1

**Матриця плану експерименту (шлаки доменні відвальні
ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»)**

№	K_1 (SiO ₂)	K_2 (Al ₂ O ₃)	K_3 (CaO)	$K_1 \cdot K_2$	$K_1 \cdot K_3$	$K_2 \cdot K_3$	$(K_1)^2$	$(K_2)^2$	$(K_3)^2$
1	37,00	9,10	51,80	336,70	1916,60	471,38	1369,00	82,81	2683,24
2	36,75	9,00	51,70	330,75	1899,98	465,30	1350,56	81,00	2672,89
3	36,70	8,78	51,90	322,23	1904,73	455,68	1346,89	77,09	2693,61
4	36,50	8,70	50,80	317,55	1854,20	441,96	1332,25	75,69	2580,64
5	36,30	8,69	50,30	315,45	1825,89	437,11	1317,69	75,52	2530,09
6	36,40	8,10	50,90	294,84	1852,76	412,29	1324,96	65,61	2590,81
7	36,00	7,87	50,10	283,32	1803,60	394,29	1296,00	61,94	2510,01
8	35,90	7,75	50,70	278,23	1820,13	392,93	1288,81	60,06	2570,49
9	35,80	7,80	50,90	279,24	1822,22	397,02	1281,64	60,84	2590,81
10	35,00	7,39	50,50	258,65	1767,50	373,20	1225,00	54,61	2550,25

В результаті досліджень було отримано результати залежності впливу активності на модуль пружності фракційного доменного шлаку фр. 20-40 та фр. 0-40.

Як було визначено раніше, якість матеріалів для дорожнього будівництва визначається модулем пружності, який залежить від величини активності (2.2). Отже, вихідною величиною в математичній моделі є модуль пружності шлаку $E_{ш}$. Аналіз апіорної інформації щодо досліджуваного процесу дозволив вибрати рівняння регресії загального вигляду:

$$E_{ш} = \sum_{i=0}^n b_i \cdot R_{28}^i \quad (2.10)$$

$$E_{ш} = b_0 + b_1 \cdot R_{28} + b_2 \cdot R_{28}^2 + b_3 \cdot R_{28}^3 + b_4 \cdot R_{28}^4 + b_5 \cdot R_{28}^5 \quad (2.11)$$

Графічна інтерпретація обчислювального експерименту приведена на рис. 2.5.

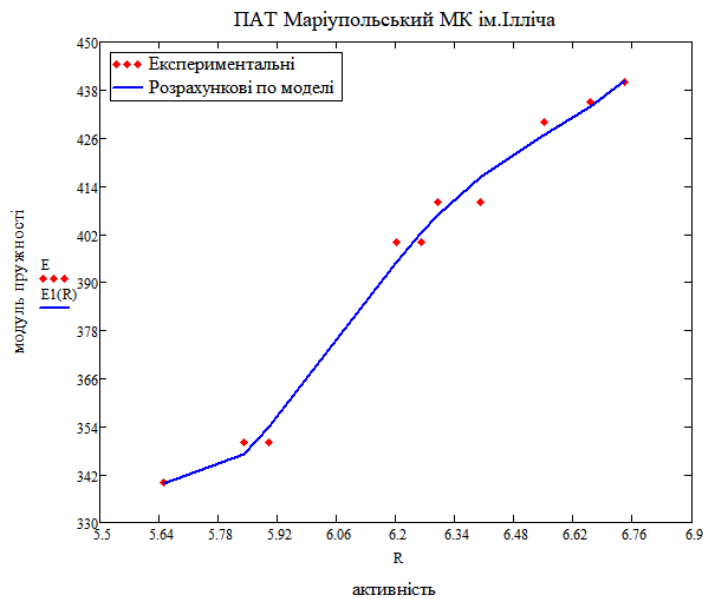


Рис. 2.5. Експериментальні дані та графік зміни $E_{ш}$ за моделлю

Перевірка адекватності отриманих моделей проводяться за F-критерієм Фішера, яка складається з певних етапів:

1. На першому етапі розраховуємо величину, так зване F -відношення:

$$F_{(k-1, n-k)} = \frac{MSR}{MSE} = \frac{\frac{1}{k-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\frac{1}{n-k} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (2.12)$$

де MSR – середньо квадратичне відхилення; MSE – середній квадрат помилок; $k-1$, $n-k$ – ступені вільності, відповідно пов'язані з MSR і MSE , k – кількість коефіцієнтів у регресійній моделі.

2. На другому етапі задаємо рівень значимості α або $\alpha \cdot 100$ %, який може становити 0,05 (або 5 %). Тобто, ми можемо помилитися не більш ніж у 5 % випадків, а в 95% (або в 100 (1- α) %) наші висновки будуть правильними.

3. На третьому етапі за статистичними таблицями F-розподілу Фішера з $k-1$, $n-k$ ступенями вільності та рівним значущості 100 (1- α) % знаходимо критичне значення ($F_{кр}$), яке дорівнює квантилю (1- α) розподілу Фішера з ($k-1$, n -

k) ступенями вільності, тобто такому значенню випадкової величини, яке є коренем інтегрального рівняння.

$$\int_0^{F_{кр}} f(x)dx = (1-\alpha) \quad (2.13)$$

та відповідає межі інтервалу, для якого ймовірність влучення випадкової величини підпорядкована закону розподілу Фішера $(1-\alpha)$.

4. Якщо розраховане нами значення $F > F_{кр}$, то можна довіряти моделі більш ніж на $(1-\alpha)$, тому відкидаємо гіпотезу H_0 , що $\beta_l = 0$ (або що $\hat{Y}_i = \bar{Y}$), з ризиком помилки не більше ніж 5 %.

Отже, якщо $F > F_{кр}$, то побудована нами регресійна модель адекватна реальній дійсності.

Таким чином, для моделювання властивостей металургійних шлаків на стадії «Сировина – Матеріал» було запропоновано використовувати методи активного експерименту, обробка результатів яких дозволяє будувати математичні моделі у вигляді багатofакторної моделі залежності активності металургійного шлаку (R_{28}) від його хімічного складу та залежності модуля пружності дорожньо-будівельного матеріалу від активності металургійного шлаку. Одержані математичні моделі дозволяють прогнозувати придатність металургійного шлаку як дорожньо-будівельного матеріалу з заданими властивостями при використанні його в конструкціях дорожнього одягу.

2.5. Розробка методу систематизації конструкцій дорожнього одягу за функціональними елементами для визначення обсягів заміни природних матеріалів АДБМ

Розроблена системна модель забезпечення екологічної безпеки при використанні промислових відходів як дорожньо-будівельного матеріалу (рис. 2.2) об'єднує дві підсистеми. Одна підсистема забезпечення екологічної безпеки при поводженні з промисловими відходами, друга – підсистема

забезпечення екологічної безпеки при проектуванні конструкції дорожнього одягу з альтернативними матеріалами. Зменшення негативного впливу промислових відходів на довкілля та здоров'я населення відбувається за рахунок використання їх як АДБМ, що дозволяє підвищити рівень ресурсозбереження природних матеріалів. Для визначення можливих обсягів заміни природних матеріалів альтернативними проведемо параметричний аналіз обох підсистем.

В результаті параметричного аналізу підсистем поводження з промисловими відходами і проектування дорожнього одягу з заданими властивостями визначено їх склад, особливості і цілі їх функціонування та параметри кожної підсистеми. В табл. 2.2 наведено результати аналізу системи забезпечення екологічної безпеки використання промислових відходів як альтернативного дорожньо-будівельного матеріалу.

За результатами параметричного аналізу визначено, що основний вихідний показник – обсяг використаного металургійного шлаку (підсистема переробка відходів) і обсяг збереженого природного матеріалу (підсистема визначення конструктивних шарів ДО) може бути визначений внаслідок вибору КДО з найбільшим вмістом АДБМ.

Отже, доцільно розробити метод систематизації конструкцій дорожнього одягу за функціональними елементами. Для цього застосовуємо метод морфологічного (структурного) аналізу.

Суть методу полягає в тому, що в даній технічній системі виділяють декілька характерних для її основних функціональних елементів морфологічних ознак, за кожною з яких складають максимально повний перелік різних конкретних варіантів (альтернатив) технічного вираження цих ознак. Кожна ознака характеризує особливості конструкції, спосіб утворення, функцію, режим роботи технічної системи, форму взаємодії елементів, від яких залежить вирішення завдання і досягнення основної мети функціонування системи.

Ознаки та їх альтернативи розташовують у вигляді таблиці, яка називається морфологічною матрицею.

Таблиця 2.2

**Параметричний аналіз системи забезпечення екологічної безпеки
використання металургійних відходів як АДБМ**

Підсистема	Функціонування підсистеми	Цілі функціонування підсистем	Параметри підсистеми
Підсистема забезпечення екологічної безпеки поводження з металургійними шлаками			
Утворення відходів	Діяльність, пов'язана з накопиченням і відвантаження відходів у спеціальні транспортні засоби	Забезпечення повного збирання і своєчасного завантаження для транспортування	Обсяг використання води, землі та вапна для збирання відходів. Спеціальне виробниче обладнання та транспортні засоби
Перевезення відходів	Транспортування відходів від місць утворення до цеху шлакопереробки для охолодження та подрібнення	Забезпечення транспортування від місць утворення до цеху шлакопереробки	Кількість транспортних засобів для перевезення шлаку. Кількість енергії. Викиди в атмосферу
Розвантаження та охолодження відходів	Тимчасове їх розміщення у спеціально відведених місцях чи об'єктах, охолодження та подрібнення	Забезпечення безпечного розміщення у спеціально відведених місцях чи об'єктах, охолодження та подрібнення	Показники екологічного стану довкілля. Обсяг використання води та землі. Токсичність. Спеціальне виробниче обладнання
Транспортування та складування відходів	Технологічні операції, пов'язані зі зміною фізичних, хімічних властивостей відходів	Підготовка відходів до перевезення, зберігання, утилізації.	Кількість відходів, що оброблюються. Використані технології. Показники стану довкілля
Переробка відходів	Використання відходів як вторинних чи енергетичних ресурсів	Сприяння утилізації відходів шляхом повторного чи альтернативного використання ресурсно-цінних відходів	Обсяг утилізованих відходів. Звільнення місця на полігонах. Показники забруднення атмосфери, ґрунту, підземних та поверхневих вод.
Підсистема забезпечення екологічної безпеки при проектуванні конструкції дорожнього одягу з альтернативними матеріалами			
Збір інформації про дану місцевість	Дотримання нормативів впливу на довкілля при дослідженні місцевості. Визначення площ територій, які відведені під будівництво	Порушення гідрологічного режиму рік, зміни руслових процесів, деформування берегів	Ліміти використання води, землі, викидів забруднення. Показники збирання інформації про дану місцевість
Визначення категорії дороги	Відповідність вимогам нормативно-правових актів у галузі охорони довкілля та екологічної безпеки	Збереження історико-культурних пам'яток, територій та об'єктів природно-заповідного фонду	Вимоги до захисту від фізичних факторів впливу. Вимоги до захисту геологічного середовища, води, ґрунтів, повітря, рослинного та тваринного світу
Визначення конструктивних параметрів ДО	Розробка конструкції дорожнього одягу з АДБМ	Вибір дорожньо-будівельних матеріалів з урахування екологічних вимог та нормативів	Обсяг збереженого природного матеріалу. Рациональне використання природних ресурсів

Морфологічний опис передбачає перехід до визначення поелементного складу, побудови об'єкту та взаємовідношень параметрів, які виявлені під час параметричного опису системи.

Результатом аналізу є побудова структурного графу. Вершини графа символічно зображують керуючі та виконавчі елементи системи, а ребра – ті види відношень, що існують між цими елементами.

Отже, для систематизації КДО за морфологічними ознаками основних функціональних елементів (підстилаючий шар, основа, і покриття) потрібно:

- побудувати структурний граф дорожнього одягу;
- сформувати морфологічну матрицю конструкцій дорожнього одягу за основними функціональними елементами;
- провести систематизацію конструкцій дорожнього одягу за морфологічними ознаками матеріалів (традиційних та альтернативних) основи.

Для систематизації було побудовано та виділено основні функціональні елементи дорожнього одягу: покриття, основа та підстилаючий ґрунт [9].

З використанням методу морфологічного аналізу було сформовано морфологічну матрицю конструкції дорожнього одягу (табл. 2.3).

Для кожного з функціональних елементів виділено основні морфологічні ознаки, від яких залежать властивості дорожнього одягу.

Для функціонального елемента «підстилаючий шар» основною морфологічною ознакою є вид матеріалу - 1. Найбільш важливими морфологічними ознаками функціонального елемента «основа» є: 2, 4, 6 – вид основного матеріалу; 3, 5, 7 – товщина (см). Для функціонального елемента «покриття» виділені аналогічні морфологічні ознаки, що і для елемента «основа»: 8, 10, 12 – вид основного матеріалу; 9, 11, 13 – товщина (см). Для кожної з 13 морфологічних ознак дорожнього одягу вибрано основні варіанти їх реалізації (від 3 до 13).

Морфологічна матриця дозволяє здійснити прогнозування властивостей конструкцій дорожнього одягу, який ґрунтується аналізі структури КДО й оцінці

можливих значень її елементів з наступним пошуком і оцінкою варіантів поєднань цих значень.

Систематизацію конструкцій дорожнього одягу різних категорій доріг проводимо з використанням морфологічної матриці (табл.2.3).

Якщо умовно позначити варіант 1.1 через x_{11} , варіант 1.2 через x_{12} і т.д., тоді матрицю можна представити у вигляді морфологічної множини, а конструкцію дорожнього одягу у вигляді морфологічної формули.

Так конструкція дорожнього одягу автомобільної дороги I технічної категорії з використанням природних матеріалів (щебінь гравійний) в нижньому шарі основи включає такі сполучення ознак [9]:

$$x_{1.9} \cup [(x_{2.9}; x_{3.2}) \wedge (x_{4.7}; x_{5.3}) \wedge (x_{6.11}; x_{7.3})] \cup [(x_{8.3}; x_{9.3}) \wedge (x_{10.3}; x_{11.1}) \wedge (x_{12.1}; x_{13.1})], \quad (2.14)$$

тобто це КДО з підстилаючим шаром із супіску важкого ($x_{1.9}$); нижнім шаром основи із ґрунту, який оброблений неорганічним в'язучим ($x_{2.9}$) товщиною від 12 см ($x_{3.2}$); щебенем шлаковим ($x_{4.7}$) товщиною від 15 см ($x_{5.3}$); верхнім шаром – із гравійно-піщаної суміші ($x_{6.11}$) товщиною від 8 см ($x_{7.3}$). У структурі покриття є нижній шар з асфальтобетону пористого ($x_{8.3}$) товщиною понад 8 см ($x_{9.3}$); середній шар з асфальтобетону пористого ($x_{10.3}$) товщиною понад 3 см ($x_{11.1}$) та верхній шар з асфальтобетону дрібнозернистого ($x_{12.2}$) товщиною шару понад 3 см ($x_{13.1}$). Таким чином, розроблений метод систематизації конструкцій дорожнього одягу за функціональними елементами на основі морфологічної матриці дозволяє здійснити перебір всіх можливих альтернатив формування КДО для вибору, яка буде відповідати всім вимогам якості та екологічної безпеки. Однією з основних переваг методу є те, що він дозволяє розглядати не тільки існуючі КДО, але й за рахунок комбінування їх ознак створювати нові, гіпотетично можливі. За результатами такого підбору можна здійснювати заміну одного матеріалу шару дорожнього одягу (наприклад, природного щебеню) на інший (металургійний шлак) і визначати обсяги заміни природних матеріалів АДБМ.

Таблиця 2.3

Морфологічна матриця конструкцій дорожнього одягу

Підстилаючий шар	Основа						Покриття					
	I шар		II шар		III шар		I шар		II шар		III шар	
I ґрунт	2. матеріал	3. товщина см	4. матеріал	5. товщина, см	6. матеріал	7. товщина, см	8. матеріал	9. товщина, см	10. матеріал	11. товщина, см	12. матеріал	13. товщина, см
1.1. Пісок крупний	2.1.Щебінь, оброблений органічним в'язучим	3.1. понад 8	4.1. Щебінь, оброблений органічним в'язучим	5.1. понад 8	6.1. Щебінь, оброблений органічним в'язучим	7.1. понад 8	8.1. А/б піщаний (щільний)	9.1. понад 3	10.1. А/б піщаний (щільний)	11.1. понад 3	12.1. А/б піщаний (щільний)	13.1. понад 3
1.2. Пісок середньої крупності	2.2. Щебінь зміцнений цементом або комплексним в'язучим		4.2. Щебінь зміцнений цементом або комплексним в'язучим		6.2. Щебінь зміцнений цементом або комплексним в'язучим		8.2. А/б дрібнозернистий		10.2. А/б дрібнозернистий		12.2. А/б дрібнозернистий	
1.3. Пісок мілкий	2.3. Гравій, зміцнений цементом		4.3. Гравій, зміцнений цементом		6.3. Гравій, зміцнений цементом		8.3. А/б пористий	9.2. понад 8	10.3. А/б пористий	11.2. понад 8	12.3. А/б пористий	13.2. понад 8
1.4. Пісок пилуватий	2.4. Чорний щебінь	3.2. понад 12	4.4. Чорний щебінь	5.2. понад 12	6.4. Чорний щебінь	7.2. понад 12	8.4. Кам'яні матеріали оброблені в'язучими матеріалами	9.3. понад 10	10.4. Кам'яні матеріали оброблені в'язучими матеріалами	11.3. понад 10	12.4. Кам'яні матеріали оброблені в'язучими матеріалами	13.3. понад 10
	2.5. Щебеневогравійна суміш		4.5. Щебеневогравійна суміш		6.5. Щебеневогравійна суміш							
1.5. Супісок легкий пилуватий	2.6. Гравій	3.3. понад 15	4.6. Гравій	5.3. понад 15	6.6. Гравій	7.3. понад 15	8.5. А/б крупнозернистий	9.4. понад 12	10.5. А/б крупнозернистий	11.4. понад 12	12.5. А/б крупнозернистий	13.4. понад 12
	2.7. Щебінь шлаковий		4.7. Щебінь шлаковий		6.7. Щебінь шлаковий							
1.6. Супісок важкий	2.8. Ґрунт, зміцнений органічним (в'язучим)		4.8. Ґрунт, зміцнений органічним в'язучим		6.8. Ґрунт, зміцнений органічним в'язучим		8.6. Ґрунти оброблені в'язучими матеріалами	10.6. Ґрунти оброблені в'язучими матеріалами	12.6. Ґрунти оброблені в'язучими матеріалами			
1.7. Супісок крупний	2.9. Ґрунт, зміцнений неорганічним в'язучим		4.9. Ґрунт, зміцнений неорганічним в'язучим		6.9. Ґрунт, зміцнений неорганічним в'язучим		8.7. Щебінь шлаковий	9.5. понад 15	10.7. Щебінь шлаковий	11.5. понад 15	12.7. Щебінь шлаковий	13.5. понад 15
1.8. Суглинок легкий	2.10. Щебеневопіщана суміш	3.3. понад 15	4.10. Щебеневопіщана суміш	5.3. понад 15	6.10. Щебеневопіщана суміш	7.3. понад 15	8.8. Кам'яні матеріали оброблені в'язучим на піщаній основі	9.5. понад 15	10.8. Кам'яні матеріали оброблені в'язучим на піщаній основі	11.5. понад 15	12.8. Кам'яні матеріали оброблені в'язучим на піщаній основі	13.5. понад 15
1.9. Суглинок важкий	2.11. Гравійнопіщана суміш		4.11. Гравійнопіщана суміш		6.11. Гравійнопіщана суміш							
1.10. Суглинок легкий пилуватий	2.12. Пісок		4.12. Пісок		6.12. Пісок							
	2.13. Штучний матеріал		4.13. Штучний матеріал		6.13. Штучний матеріал							

2.6. Визначення можливих обсягів металургійних шлаків як заміника природних матеріалів в дорожньому будівництві

Для визначення можливих обсягів заміни природних матеріалів альтернативними доцільно провести морфологічний аналіз і синтезу КДО. Після вибору конструкції запроектувати КДО.

Проектування дорожнього одягу нежорсткого типу являє собою єдиний процес конструювання й розрахунку дорожньої конструкції (системи дорожній одяг плюс робочий шар земляного полотна) на міцність, морозостійкість і осушення з техніко-економічним обґрунтуванням варіантів з метою вибору найбільш економічного за даних умов.

Задачі конструювання дорожнього одягу нежорсткого типу:

- вибір типу покриття;
- призначення кількості конструктивних шарів основи (додаткової основи;
- розміщення шарів у конструкції і попереднє призначення їх товщини;
- попередня оцінка необхідності призначення додаткових морозозахисних заходів з урахуванням дорожньо-кліматичної зони, типу ґрунту робочого шару земляного полотна та схеми зволоження робочого шару на різних ділянках;
- попередня оцінка необхідності призначення заходів для осушення конструкції, а також для підвищення тріщиностійкості конструкції;
- оцінка доцільності зміцнення чи поліпшення верхньої частини робочого шару земляного полотна;

Дорожній одяг за допустимим пружним прогином (потрібним модулем пружності) розраховується у наступному порядку:

- визначається мінімальне значення коефіцієнта міцності $K_{\text{мц}}$;
- по сумарній інтенсивності навантаження на одну смугу з урахуванням капітальності одягу визначається потрібний модуль пружності $E_{\text{потр}}$ конструкції;
- визначається загальний модуль пружності: $E_{\text{заг}} = K_{\text{мц}} \cdot E_{\text{потр}}$;

- попередньо призначається товщина верхніх шарів з матеріалів, що містять органічне в'язуче;
- призначається модуль пружності ґрунту активної зони земляного полотна, а також модулі пружності матеріалів окремих шарів (для матеріалів, що містять органічне в'язуче, при температурі 10 °С);
- виконуючи розрахунок «зверху вниз», визначається модуль пружності на поверхні основи;
- якщо основа одношарова, то за модулями пружності на поверхні основи, матеріалу основи і ґрунту земляного полотна визначається товщина основи;
- якщо з конструктивних чи технологічних міркувань, а також умов осушення чи забезпечення необхідної морозостійкості передбачена основа з декількох шарів, то попередньо призначаються товщини додаткових шарів, а потім пошарово «знизу вгору» визначається модуль пружності на поверхні додаткового шару (морозозахисного, теплоізоляційного, дренажного чи іншого додаткового шару), після чого аналогічно викладеному визначається товщина іншої частини основи;
- можна вести розрахунок «знизу вгору» з послідовним визначенням модулів пружності на поверхні конструктивних шарів.

Відповідно до принципів розрахунку дорожніх одягів за трьома граничними станами критеріями міцності дорожніх одягів прийняті [145]:

- а) опір пружному прогину всієї конструкції (за допустимим прогином або допустимим модулем пружності);
- б) опір зсуву в ґрунтах і шарах з малоз'язних матеріалів (за допустимими напруженнями зсуву);
- в) опір шарів з монолітних матеріалів розтягу.

Для визначення прогнозованих обсягів заміни природних матеріалів металургійними шлаками розрахуємо конструкцію дорожнього одягу ділянки:

$$E_{заг}^i = \frac{\left[1,05 - 0,1 \frac{h_i}{D} \left(1 - \sqrt[3]{\frac{E_{заг}^{(i+1)}}{E_i}} \right) \right] E_i}{0,71 \sqrt[3]{\frac{E_{заг}^{(i+1)}}{E_i}} \operatorname{arctg} \left(\frac{1,35 h_{екв}}{D} \right) + \frac{E_i}{E_{заг}^{(i+1)}} \cdot \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{D}{h_{екв}}} \quad (2.15)$$

$$\frac{h_{екв}}{D} = \frac{2h_i}{D} \sqrt[3]{\frac{E_i}{6E_{заг}^{(i+1)}}} \quad (2.16)$$

Для визначення товщини шару

$$h_{екв} = 2h_i \cdot \sqrt[3]{\frac{E_i}{E_{заг}^{i+1}}} \quad (2.17)$$

Згідно з ВБН В.2.3-218-186-2004 [145]:

- значення розрахункового модуля пружності щебеню приймають від 150 МПа до 200 МПа, сумішей – від 200 МПа до 300 МПа (більші значення для стійкої структури проти розпадів) із шлаків нейтральних або кислих, слабоактивних та неактивних видів
- значення розрахункового модуля пружності сумішей (як матеріалів, що повільно твердіють) приймають від 350 МПа до 450 МПа (більші значення для стійкої структури проти розпадів) із шлаків основних, нейтральних, високоактивних та активних видів.

Враховуючи вище зазначене, можна отримати діапазон товщини шару з металургійних шлаків, що дозволить визначити обсяги використаних матеріалів (рис. 2.6).

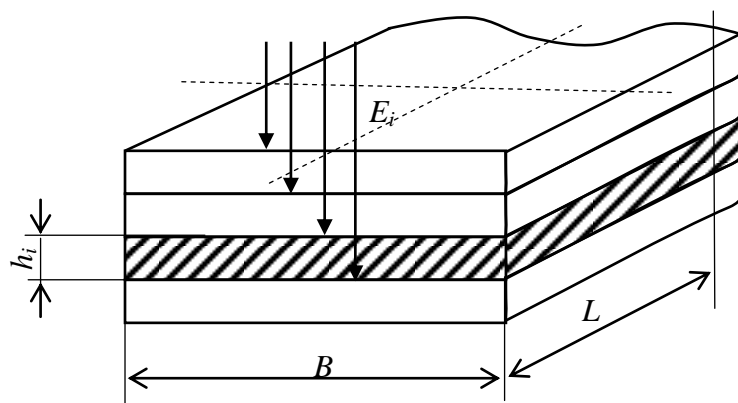


Рис. 2.6. Схема конструкції дорожнього одягу: h_i – товщина i -го шару дорожнього одягу, м; E_i – модуль пружності на поверхні i -го шару, МПа; B – ширина проїзної частини, м; L – довжина проекрованої ділянки дороги.

Отже,

$$h_m \cdot E_m = h_{ш} \cdot E_{ш} \Rightarrow h_{ш} = \frac{h_m \cdot E_m}{E_{ш}} \quad (2.18)$$

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

E_m – модуль пружності шару з природнього матеріалу, МПа;

$h_{ш}$, h_m – товщина шару з МШ та природнього матеріалу, м.

Обсяги V_m , $V_{ш}$ визначаються з врахуванням конструктивних особливостей доріг різних категорій, сформованих морфологічних структур КДО:

$$V_m = h_m \cdot B \cdot L \text{ та } V_{ш} = h_{ш} \cdot B \cdot L, \quad (2.19)$$

де B – ширина проїзної частини, м;

L – довжина проекрованої ділянки дороги, м.

Таким чином, розроблено метод визначення можливих обсягів заміни природних матеріалів металургійними шлаками на основі формування морфологічних структур дорожнього одягу з використанням металургійних

шлаків для доріг різних категорій із заданими техніко-експлуатаційними характеристиками. Для вибору оптимальної конструкції дорожнього одягу необхідно визначити комплекс критеріїв оцінювання екологічної безпеки використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві.

2.7. Формування комплексу критеріїв оцінювання екологічної безпеки використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві

Комплекс критеріїв оцінювання екологічної безпеки використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві доцільно формувати із врахуванням можливих обсягів заміни природних кам'яних матеріалів металургійними шлаками.

2.7.1. Визначення критеріїв ефективності використання металургійних шлаків в КДО

Серед показників властивостей дорожнього одягу є такі, що мають тенденцію монотонної зміни чи тенденцію підтримання на певному рівні при досягненні своєї межі. За цими показниками можна визначити міру досконалості і прогресивності, тому їх називають критеріями оцінювання ефективності від використання металургійних шлаків в КДО і визначають одночасно як критерії розвитку і критерії якості.

При виборі критеріїв ефективності основним завданням є забезпечення необхідних показників якості дорожнього одягу, що характеризуються функціональними та технологічними критеріями, а також економічними і екологічними.

До функціональних критеріїв відносять міцнісні характеристики дорожньо-будівельного матеріалу, а саме активність (границя міцності при стиску зразків у водонасиченому стані у віці 28 діб, МПа) і стійкість структури до розпаду, а також критерій довговічності. При будівництві автомобільних доріг найбільш доцільне використання матеріалу з високими міцнісними характеристиками,

оскільки міцність шлаків регламентує ту чи іншу КДО. Стабілізація міцнісних властивостей відвальних шлаків металургійних виробництв в значній мірі визначаються терміном перебування шлаків у відвалі. Найнижчі показники міцності має щебінь із шлаків поточного виходу. Тому при оцінці екологічної безпеки КДО доцільно виділити функціональний, а зокрема критерій міцності.

З технологічних критеріїв можна виділити: технологічних можливостей та трудомісткості. Критерій технологічних можливостей характеризує простоту і принципову можливість конструювання та будівництва дорожнього одягу. Критерій трудомісткості забезпечує економію праці при будівництві дорожнього одягу і підготовці його до експлуатації, що є актуальним та в більшій мірі характеризує екологічну безпеку КДО.

До еколого-економічних критеріїв відносяться собівартість переробки сировини в матеріал, вартість доставки матеріалу, обсяги матеріалу та ін.

До економічних критеріїв відносяться критерії: витрат матеріалів, витрат енергії, збереження природних ресурсів та критерій використання альтернативних матеріалів. Так як в роботі визначається можливість використання металургійних шлаків як заміника природних матеріалів, то доцільно розглядати критерій економії вартості матеріалів.

Екологічний критерій – це критерій використання альтернативних матеріалів, який характеризує заміну природних ДБМ на матеріали з відходів промисловості. Тому доцільно розглянути цей критерій у роботі.

Таким чином, для оцінювання рівня екологічної безпеки КДО обираємо такі критерії: функціональні, технологічні, економічні та екологічні [4].

Критерій міцності дорожнього одягу $K_{\text{мц}}$ розраховується за формулою:

$$K_{\text{мц}} = \frac{h_{\text{м}} \cdot E_{\text{м}}}{h_{\text{е}} \cdot E_{\text{заг}}} \leq 1, \quad (2.20)$$

де $E_{\text{м}}$ – розрахунковий модуль пружності шару основи ДО, МПа;

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

h_m – товщина шару з кам’яними матеріалами КДО, см;

h_e – загальна товщина КДО, см.

Міцність дорожнього одягу оцінюється за такими критеріями: на пружний прогин; на зсувостійкість; на згин монолітних шарів.

Зокрема, за допустимим пружним прогином виконується попереднє конструювання дорожнього одягу, який потім розраховують за критеріями міцності. Конструкція дорожнього одягу вважається міцною, якщо коефіцієнт міцності за кожним з критеріїв більший чи дорівнює $K_{мц}$, знайденого з урахуванням необхідного рівня надійності проектного дорожнього одягу.

Конструкція дорожнього одягу відповідає вимогам міцності за критерієм пружного прогину, якщо виконується умова $K_{мц ш} \approx K_{мц м}$.

Таким чином, сформовано критерій відносної міцності:

$$K_{мц} = \frac{E_m}{E_{ш}}. \quad (2.21)$$

На даний час розроблено і розвинуто багато способів, методів і прийомів вимірювання, оцінки і дослідження міцності ДО, які описані в технічній літературі. При цьому передбачається формування вимог до міцності, її моделювання на основі сучасних методів, інженерний розрахунок, випробування на міцність і експериментальні дослідження міцності, напрацювання рекомендацій щодо підвищення міцності дорожнього одягу

Критерій відносної трудомісткості дорожнього одягу K_T визначається за формулою (2.22):

$$K_T = \frac{m_{ш}}{m_m}, \quad (2.22)$$

де m_m та $m_{ш}$ – маса природного матеріалу та шлакового матеріалу (т), які визначаються відповідно за формулами 2.23 та 2.24:

$$m_M = V_M \cdot \rho_M, \quad (2.23)$$

$$m_{ш} = V_{ш} \cdot \rho_{ш}, \quad (2.24)$$

де V_M та $V_{ш}$ – визначені обсяги природних та шлакових матеріалів (м^3);
 ρ_M та $\rho_{ш}$ – насипна щільність природних та шлакових матеріалів, $\text{т}/\text{м}^3$.

Критерій відносних витрат K_B дорівнює відношенню вартості матеріалу шару основи дорожнього одягу з МШ ($C_{ш}$, грн.) до вартості матеріалу шару з природних матеріалів (C_M , грн.) та визначається за формулою:

$$K_B = \frac{m_{ш} \cdot C_{ш}}{m_M \cdot C_M}, \quad (2.25)$$

де $C_{ш}$, C_M – вартість металургійний шлаків та природних матеріалів на 1 км дорожнього одягу (грн/т).

Критерій використання шлакових матеріалів $K_{ек}$ в конструкції дорожнього одягу визначається за формулою:

$$K_{ек} = \frac{m_{ш}}{m_{заг.КДО}}, \quad (2.26)$$

де $m_{ш}$ – маса шару основи КДО з шлаку металургійного, м^3 ;
 $m_{заг.КДО}$ – загальна маса ДБМ для всієї КДО, м^3 .

Таким чином, порівняльний аналіз окремих критеріїв показує перевагу або недоліки заміни природних матеріалів металургійними шлаками в конструкціях дорожнього одягу.

2.7.2. Оцінка рівня екологічної безпеки при використанні металургійних шлаків в дорожньому будівництві

Обсяги дорожнього будівництва в нашій країні з кожним роком збільшуються – тільки протягом 2018 року планується побудувати і ввести в експлуатацію після реконструкції та капітального ремонту 3000 км загальної довжини автомобільних доріг [150].

Реалізація цих завдань потребує заготівлі, переробки та перевезень до місця будівництва великих об'ємів міцного кам'яного матеріалу, що, в свою чергу, потребує розробки нових кар'єрів і додаткових капітальних витрат.

Родовища міцних кам'яних матеріалів розміщені нерівномірно, а в східній частині України їх взагалі обмаль. Перевезення кам'яного матеріалу залізничним транспортом сприяє підвищенню вартості дорожнього будівництва і при цьому стримує його масштаби. Якщо великі темпи будівництва автомобільних доріг за вказаними причинами не можуть забезпечуватись тільки за рахунок привозних кам'яних матеріалів, то потрібно широко використовувати різні види місцевих дорожньо-будівельних матеріалів. В деяких областях такими матеріалами можуть бути металургійні шлаки. За своїм складом та властивостями їх відносять до відходів, що можуть замінити певну повноцінну сировину й матеріали та бути реалізовані споживачам як конденційна сировина, але з поправкою на якість і з урахуванням витрат на підготовку до подальшого використання.

Тому виникає потреба у проведенні оцінки рівня екологічної безпеки при використанні металургійних шлаків у дорожньому будівництві.

Рівень екологічної безпеки використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві можна оцінити за двома критеріями:

1) за ступенем заміни річної потреби природних матеріалів при заданих обсягах дорожнього будівництва:

$$SZ = \frac{M_3}{M_{II}}, \quad (2.27)$$

де M_3 – маса природного матеріалу, який може бути замінено МШ, т;

$M_{\text{п}}$ – річна потреба природних матеріалів при заданих обсягах дорожнього будівництва, т;

Інтенсивність будівництва доріг охоплює різні категорії доріг, тому виникає необхідність визначення частки кожної категорії доріг побудованих за рік. Аналіз статистичної інформації Укравтодору [151] показав, що за рік було побудовано 20% доріг I технічної категорії, II категорії – 50%, III категорії – 30% із загального обсягу φ_{ki} . Таким чином, маса потрібного матеріалу $M_{\text{потр}}$ визначається за формулою:

$$M_{\text{номп.}} = \sum_{i=1}^n \varphi_{ki} \cdot m_{\text{номп.}i}, \quad (2.28)$$

де φ_{ki} - частка доріг відповідної категорії;

m_n - маса потрібного матеріалу, т, визначається за формулою:

$$m_{\text{номп.}i} = V_i \cdot \rho, \quad (2.29)$$

де ρ - насипна щільність, т/м³;

V_i – обсяг матеріалу визначається за формулою:

$$V_i = h_i \cdot b_i \cdot k_i \cdot L_i, \quad (2.30)$$

де h_i - товщина i -го шару КДО з природних ДБМ, м;

b_i - ширина смуги руху i -ї категорії дороги, м;

k_i – кількість смуг руху i -ї категорії дороги, шт.;

L_i – довжина ділянки i -ї категорії дороги, м.

2) за ступенем використання річного обсягу утворення МШ:

$$SV = \frac{M_{\text{в}}}{M_{\text{у}}}, \quad (2.31)$$

де M_B – маса МШ, який потрібно для заміни прогнозованого обсягу природних матеріалів, т;

M_y – річний обсяг утворення МШ, т.

Ступінь використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві, т., визначається за формулою:

$$M_{ш_викор.} = M_{збер.} \cdot \frac{m_{ш}}{m_{пр.}} \quad (2.32)$$

Таким чином, вирішення проблеми використання відходів як матеріалу дорожнього одягу вимагає системного підходу, що враховує сучасні екологічні вимоги, соціальні задачі, технічний і технологічний аспекти, а також економічні можливості. Оцінювання рівня екологічної безпеки використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві здійснюється на основі комплексу критеріїв еколого-економічної ефективності від збереження природних матеріалів, який включає функціональні, технологічні, економічні та екологічні критерії. Додатковим критерієм, що визначає зниження рівня екологічної небезпеки є ризик шкідливого впливу відходів металургійних шлаків на довкілля, персонал і населення з урахуванням довгострокових гігієнічних, соціальних, економічних, екологічних та психологічних наслідків. Визначення еколого-економічної ефективності використання альтернативних матеріалів у КДО є не від'ємною частиною оцінки рівня екологічної безпеки у дорожньому будівництві.

2.7.3. Визначення критерію оцінки ризику впливу на довкілля металургійних шлаків

Додатковим фактором зниження рівня екологічної небезпеки є зменшення обсягів шлакових матеріалів у відвалах металургійних комбінатів, що дозволяє зменшити ризик їх шкідливого впливу на довкілля, персонал і населення з урахуванням довгострокових гігієнічних, соціальних, економічних, екологічних

та психологічних наслідків. Критерії оцінки ризику впливу на довкілля оцінюють ступінь небезпеки відходів, що залежить від класу і концентрації токсичних речовин, які містяться у відходах та від їх здатності мігрувати в довкілля, потрапляючи з твердих відходів у повітря та воду.

Оскільки сучасна ситуація у відвалах металургійних комбінатів нестабільна і постійно змінюється, то для оцінки ризику доцільно побудувати логіко-ймовірнісну схему виникнення небезпеки у вигляді «дерева відмов» та провести її аналіз. «Дерево відмов» є складною графологічною структурою, що знаходиться в основі словесно графічного методу аналізу виникнення надзвичайних ситуацій.

Основою побудови «дерева відмов» для відвалів металургійних комбінатів є «дерево проблем» впливу відвалів металургійних шлаків на навколишнє середовище (рис. 1.7). Така схема дозволяє оцінити очікуваний ризик за умови, що відповідне «дерево подій» або відмов доповнено статистичними даними.

Після побудови «дерева відмов» для відвалу конкретного металургійного комбінату визначають ймовірність реалізації головної події (рівень його екологічної небезпеки). Для цього складають логічне вираження, що пов'язує ймовірність головної події з ймовірностями основних подій. З цією метою використовують залежності (1.8 – 1.9).

2.8. Методика еколого-економічної оцінки ефективності використання металургійних шлаків як дорожньо-будівельних матеріалів

Економічне цілеспрямованість застосування металургійних шлаків обумовлена високою цінністю традиційного природного матеріалу, у зв'язку з великими витратами на їх видобування. Крім того, вдосконалені фізико-механічні характеристики дорожньої конструкції з використанням МШ дозволяють прогнозувати збільшені міжремонтні терміни, а, отже, знижують витрати на будівництво та ремонт автомобільних доріг.

Еколого-економічна оцінка використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві потрібно проводити за попередженими екологічними

збитками навколишнього середовища через зменшення впливу шлаків на довкілля і економії природних матеріалів.

$$\Delta E_p = \Delta \Pi_{pv} + \Pi_{zn}, \quad (2.33)$$

де $\Delta \Pi_{pv}$ – це сума податку, який справляється за розміщення відходів, обчислюються платниками самостійно щокварталу виходячи з фактичних обсягів розміщення відходів, ставок податку та коригуючих коефіцієнтів за формулою:

$$\Delta \Pi_{pv} = \sum_{i=1}^n (H_{ni} \cdot M_{li} \cdot K_m \cdot K_o), \quad (2.34)$$

де H_{ni} – ставки податку в поточному році за тонну i -того виду відходів, грн;

M_{li} – обсяг відходів i -того виду, т;

K_m – коригуючий коефіцієнт, що дорівнює 1, який враховує розташування місця розміщення відходів і який наведено у пункті 246.5 статті 246 Податкового Кодексу України [152];

K_o – коригуючий коефіцієнт, що дорівнює 3 і застосовується у разі розміщення відходів на звалищах, які не забезпечують повного виключення забруднення атмосферного повітря або водних об'єктів.

Π_{zn} – податкові зобов'язання з рентної плати за користування надрами для відповідного виду товарної продукції гірничого підприємства - видобутої корисної копалини (мінеральної сировини) в межах однієї ділянки надр за податковий (звітний) період обчислюються за такою формулою:

$$\Pi_{zn} = V_{\phi} \cdot B_{kk} \cdot C_{внз} \cdot K_{пт}, \quad (2.35)$$

де V_{ϕ} – обсяг (кількість) відповідного виду товарної продукції гірничого підприємства – видобутої корисної копалини (мінеральної сировини) у податковому (звітному) періоді, т;

$B_{\text{кк}}$ – вартість одиниці відповідного виду товарної продукції гірничого підприємства - видобутої корисної копалини (мінеральної сировини), обчислена згідно з пунктами 252.7 - 252.17 [152], грн;

$C_{\text{внз}}$ – величина ставки рентної плати за користування надрами для видобування корисних копалин (у відсотках), встановлена у пункті 252.20 [152], грн.;

$K_{\text{пп}}$ - коригуючий коефіцієнт, встановлений у пункті 252.22 [152]. Таким чином, проведення еколого-економічної оцінки використання альтернативних матеріалів в дорожньо-будівельній галузі визначити ефективність заміни ними природних кам'яних матеріалів.

Висновки до розділу 2

Розроблено методику оцінювання рівня екологічної безпеки в дорожньому будівництві під час заміни природних кам'яних матеріалів металургійними шлаками, в рамках якої:

– сформовано системну модель забезпечення екологічної безпеки використання металургійних відходів як заміника природного матеріалу в дорожньому будівництві, яка включає моделі підсистем поводження з відходами та будівництва і реконструкції доріг, описує основні процеси життєвого циклу перетворення металургійних шлаків в елементи конструкцій дорожнього одягу у ланцюгу «відходи – сировина – матеріал – елемент конструкції», вхідні і вихідні параметри процесів та зворотні зв'язки, які дозволяють реалізувати усі фази життєвого циклу металургійного шлаку та визначити основні вимоги до нього як дорожньо-будівельного матеріалу;

– розроблено метод визначення можливих обсягів заміни природних матеріалів металургійними шлаками на основі формування морфологічних структур дорожнього одягу з використанням металургійних шлаків для доріг різних категорій із заданими техніко-експлуатаційними характеристиками;

– запропоновано комплекс критеріїв оцінювання техніко-експлуатаційних властивостей дорожнього одягу з використанням металургійних шлаків, а також критеріїв прогнозування рівня екологічної безпеки за різних сценаріїв використання металургійних шлаків в дорожньому будівництві;

– розроблено методику еколого-економічної оцінки використання МШ у дорожньому будівництві, яка проводиться за попередженими екологічними збитками НС, вираженими податковими платами, які стягуються за розміщення МШ як відходів, та зменшеними податковими зобов'язаннями з рентної плати за користування надрами через заміну необхідних природних матеріалів МШ.

Матеріали розділу представлені в роботах [1-3, 9, 11-13, 164- 167].

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ НА ОКРЕМИХ ЕТАПАХ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

3.1. Мета і програма експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень є визначення дослідних даних для побудови та перевірки адекватності математичних моделей, що описують властивості металургійного шлаку як матеріалу для дорожнього одягу, а саме дослідження його впливу хімічного складу та механічних властивостей.

У відповідності до поставленої мети програма експериментальних досліджень та обчислювального експерименту на основі математичних моделей включала:

- провести дослідження ризику небезпеки від збереження шлаків у відвалах металургійних комбінатів;
- провести дослідження з аналізу хімічного складу шлаків окремих металургійних комбінатів як сировини для дорожнього будівництва;
- провести вимірювання активності відібраних проб;
- провести дослідження модулю пружності металургійного шлаку як елементу конструкції дорожнього одягу;
- провести кореляційно-регресійний аналіз та побудувати адекватні математичні моделі для прогнозування впливу хімічного складу шлаків окремих металургійних комбінатів на їх активність;
- побудувати математичні моделі залежності модуля пружності шлаку від його активності;
- провести обчислювальний експеримент та здійснити прогнозування властивостей металургійного шлаку як елементу конструкції дорожнього одягу;

- сформувати морфологічні структури конструкцій дорожнього одягу різних категорій доріг;
- провести розрахунок з визначення обсягів заміни природних кам'яних матеріалів на металургійні шлаки.

Для виконання цих задач було визначено об'єкти та проведений комплекс експериментальних досліджень.

3.2. Визначення ризику небезпеки збереження шлаків у відвалах металургійних комбінатів

На сьогоднішній день важливим питанням є визначення ризику небезпеки збереження шлаків у відвалах металургійних комбінатів. Визначення рівня впливу відходів та їх небезпечний вплив на довкілля дозволяє зазначити важливість використання відходів як системного об'єкту.

Як було визначено в п.1.2 Розділу 1, в процесі діяльності металургійних комбінатів утворюються різноманітні багатотоннажні промислові відходи, які зберігаються у відвалах, і є джерелами техногенного впливу постійної та пролонгованої дії, що значно змінюють параметри середовища, створюють ризику небезпеки для здоров'я людей та довкілля.

Аналіз побудованого «дерева проблем» впливу відвалів металургійних шлаків на навколишнє середовище (рис. 1.7) дозволив визначити, що основною причиною високого рівня екологічної небезпеки та виникнення небезпечних ситуацій є великі обсяги металургійних відходів, що зберігаються на території відвалів. Для оцінки очікуваного ризику буде використаний фрагмент розробленого «дерева подій», на основі якого буде сформовано «дерево відмов» та визначені локальні ризику на основі статистичних даних.

Розрахунок ризику небезпеки збереження шлаків на основі «дерева відмов» проводимо для відвалів поблизу металургійних комбінатів м. Маріуполя.

За даними департаменту екології та природних ресурсів Донецької обласної державної адміністрації [153, 154] об'єктами екологічної небезпеки в

м. Маріуполь, які, загрожують національній безпеці, економіці, здоров'ю або безпеці життєдіяльності населення визнано ПАТ «Металургійний комбінат Азовсталь» та ПАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча». Ці підприємства є основними накопичувачами промислових відходів.

Основні види відходів ПАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» – шлаки доменні гранульовані, шлаки сталеплавильні; шлаки ливарні (вагранковий шлак); шлами металургійного виробництва доменні та ін.

Станом на 31.12.2017 р. загальний обсяг накопичених відходів ПАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» складає 35856,73 тис т 39 % всіх відходів підприємства займають шлаки доменні, з яких 3864,81 тис т зберігається на підприємстві, а 14069,48 тис т у місцях зберігання відходів.

Основні види відходів ПАТ «Металургійний комбінат Азовсталь» – шлаки доменні (не гранульовані) рядові для дорожнього будівництва; шлаки плавки сталі інші; шлаки сталеплавильні конверторні (що не містять ванадій) та інші.

Станом на 31.12.2017 р. загальний обсяг накопичених відходів ПАТ «Металургійний комбінат Азовсталь» складає 45722,64 тис т. Шлаки доменні (не гранульовані) складють 64 % всіх відходів підприємства, а саме 29317,82 тис т, які зберігається у місцях видалення відходів.

Таким чином, загальна кількість фактично накопичених відходів станом на 01.01.2018 р. від діяльності ПАТ «Металургійний комбінат Азовсталь» та ПАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» становить 91142,1 тис т. Ці відходи займають площу 281,39 га. Отже, на 1 га знаходиться 323,9 тис т відходів. Рівень утилізації відходів за 2017 рік складає 22,4 % від утворених.

Загальна кількість доменних шлаків 43387,3 тис т, що складає 47,6 % від загальної кількості відходів. Шлаки доменні займають площу 134 га.

Відвали відходів комбінатів ПАТ «Металургійний комбінат Азовсталь» та ПАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» розташовані поблизу зон проживання населення м. Маріуполя (0,5 км від житлового масиву

«Найденівка»). Відстань до Азовського моря від місць видалення відходів – 0,04–0,6 км. До гирла р. Кальміус – 1,0–1,5 км. До р. Кальчик – 0,17 км.

Річки та озера, які знаходяться поблизу шлакосховищ, забруднені і перетворені в сховища із забрудненою водою, в якій концентрація сульфідів досягає 1 г/л. При аварійних проривах часто відбувається потрапляння забруднених вод у р. Кальчик, що призводить до загибелі живої речовини.

Все це створює значні ризики для безпеки для здоров'я людей та довкілля. Для кількісної оцінки ризику складаємо логічний вираз у вигляді «дерева відмов», що пов'язує ймовірність головної події з ймовірностями основних подій (рис. 3.1).

Позначимо головну подію, яка характеризує рівень екологічної безпеки від відвалів металургійних комбінатів для регіону, як P_1 . Подіями другого рівня є незворотні зміни в екосистемах і втрата екофонду (P_2^1) та погіршення стану здоров'я населення, що проживає в регіоні (P_2^2). Небезпека наявна від кожної з цих подій. Отже, в логічній схемі використовується оператор «АБО».

Ймовірність виникнення подій третього рівня позначаємо, як $P_3^1 - P_3^9$. Кожна з цих подій може викликати одну з подій другого рівня.

Позначимо події четвертого рівня як 4.1–4.18. П'ятого рівня – 5.1–5.20.

Для розрахунку ймовірності виникнення головної події – небезпечної ситуації з високим рівнем екологічної безпеки у відвалах металургійних комбінатів використовуємо залежності (1.8 – 1.9).

Для початкових подій п'ятого рівня необхідно визначити ймовірність їх реалізації. Тому використовуємо інформацію, що міститься в технічній документації та базах даних комбінатів ПАТ «Металургійний комбінат Азовсталь» та ПАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча», у довідковій чи нормативній літературі та статистичних даних Управління з питань екології, енергоменеджменту та охорони праці Маріупольської міської ради та Департаменту екології та природних ресурсів Донецької обласної державної адміністрації.

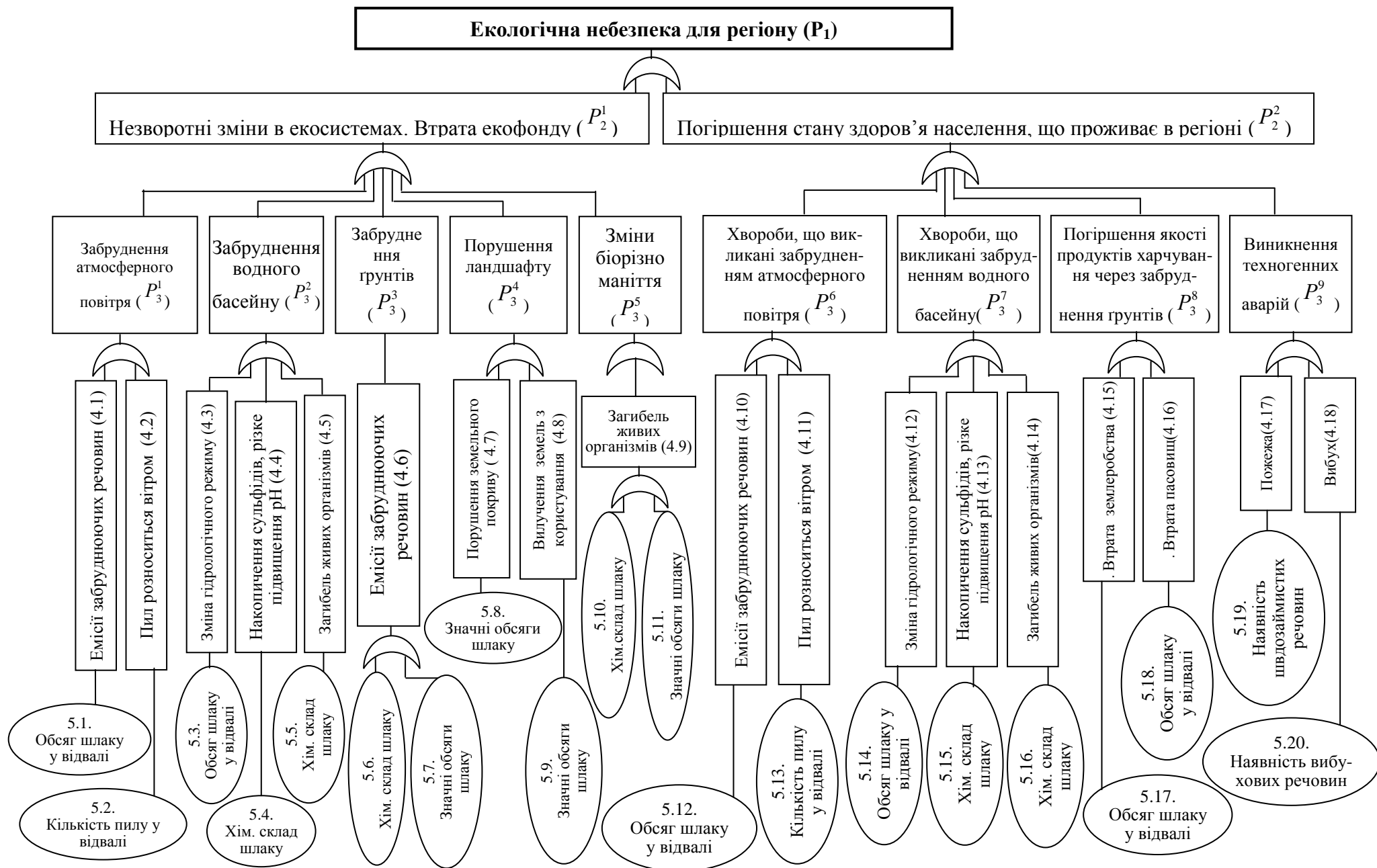


Рис. 3.1. Логічний вираз «дерева відмов» для визначення рівня екологічного ризику

$$\left\{ \begin{array}{l} P_4^1 = P_5^1 = 0,06 \\ P_4^2 = P_5^2 = 0,089 \\ P_4^3 = P_5^3 = 0,025 \\ P_4^4 = P_5^4 = 0,035 \\ P_4^5 = P_5^5 = 0,105 \\ P_4^6 = 1 - (1 - P_5^6) \cdot (1 - P_5^7) = 1 - (1 - 0,084) \cdot (1 - 0,042) = 0,122 \\ P_4^7 = P_5^8 = 0,051 \\ P_4^8 = P_5^9 = 0,042 \\ P_4^9 = 1 - (1 - P_5^{10}) \cdot (1 - P_5^{11}) = 1 - (1 - 0,072) \cdot (1 - 0,098) = 0,163 \end{array} \right. \cup \left\{ \begin{array}{l} P_4^{10} = P_5^{12} = 0,074 \\ P_4^{11} = P_5^{13} = 0,008 \\ P_4^{12} = P_5^{14} = 0,006 \\ P_4^{13} = P_5^{15} = 0,035 \\ P_4^{14} = P_5^{16} = 0,036 \Rightarrow . \quad (3.1) \\ P_4^{15} = P_5^{17} = 0,027 \\ P_4^{16} = P_5^{18} = 0,045 \\ P_4^{17} = P_5^{19} = 0,036 \\ P_4^{18} = P_5^{20} = 0,030 \end{array} \right.$$

Визначаємо вірогідність подій третього рівня:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_3^1 = 1 - (1 - P_4^1) \cdot (1 - P_4^2) = 1 - (1 - 0,006) \cdot (1 - 0,089) = 0,144 \\ P_3^2 = 1 - (1 - P_4^3) \cdot (1 - P_4^4) \cdot (1 - P_4^5) = 1 - (1 - 0,025) \cdot (1 - 0,035) \cdot (1 - 0,105) = 0,158 \\ P_3^3 = P_4^6 = 0,122 \\ P_3^4 = 1 - (1 - P_4^7) \cdot (1 - P_4^8) = 1 - (1 - 0,051) \cdot (1 - 0,042) = 0,091 \\ P_3^5 = P_4^9 = 0,163 \Rightarrow . \quad (3.2) \\ P_3^6 = 1 - (1 - P_4^{10}) \cdot (1 - P_4^{11}) = 1 - (1 - 0,074) \cdot (1 - 0,008) = 0,081 \\ P_3^7 = 1 - (1 - P_4^{12}) \cdot (1 - P_4^{13}) \cdot (1 - P_4^{14}) = 1 - (1 - 0,006) \cdot (1 - 0,035) \cdot (1 - 0,036) = 0,075 \\ P_3^8 = 1 - (1 - P_4^{15}) \cdot (1 - P_4^{16}) = 1 - (1 - 0,027) \cdot (1 - 0,045) = 0,071 \\ P_3^9 = 1 - (1 - P_4^{17}) \cdot (1 - P_4^{18}) = 1 - (1 - 0,036) \cdot (1 - 0,03) = 0,065 \end{array} \right.$$

Визначаємо вірогідність подій другого рівня:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_2^1 = 1 - (1 - P_3^1) \cdot (1 - P_3^2) \cdot (1 - P_3^3) \cdot (1 - P_3^4) \cdot (1 - P_3^5) = \\ = 1 - (1 - 0,144) \cdot (1 - 0,158) \cdot (1 - 0,122) \cdot (1 - 0,091) \cdot (1 - 0,163) = 0,518 \\ P_2^2 = 1 - (1 - P_3^6) \cdot (1 - P_3^7) \cdot (1 - P_3^8) \cdot (1 - P_3^9) = \\ = 1 - (1 - 0,081) \cdot (1 - 0,075) \cdot (1 - 0,071) \cdot (1 - 0,065) = 0,262 \end{array} \right. \Rightarrow . \quad (3.3)$$

Визначаємо вірогідність головної подій:

$$P_1 = 1 - (1 - P_2^1) \cdot (1 - P_2^2) = 1 - (1 - 0,518) \cdot (1 - 0,262) = 0,645 \quad . \quad (3.4)$$

Отже, в 645 випадках з 1000 може виникнути екологічна небезпека регіону при накопиченні МШ у відвалах.

В таблиці 3.1 представлено структура кількісної оцінки виникнення небезпечної ситуації у відвалах металургійних комбінатів. Логіка всіх подій передбачає використання в логічній схемі оператора «АБО».

Таблиця 3.1

Кількісна оцінка виникнення небезпечної ситуації у відвалах

Ймовірність виникнення події									
головної		другого рівня		третього рівня		четвертого рівня		п'ятого рівня	
подія	ймовірність виникнення	подія	ймовірність виникнення	подія	ймовірність виникнення	подія	ймовірність виникнення	подія	ймовірність виникнення
P_1	0,645	P_2^1	0,518	P_3^1	0,144	P_4^1	0,06	P_5^1	0,06
						P_4^2	0,089	P_5^2	0,089
				P_3^2	0,158	P_4^3	0,025	P_5^3	0,025
						P_4^4	0,035	P_5^4	0,035
						P_4^5	0,105	P_5^5	0,105
				P_3^3	0,122	P_4^6	0,122	P_5^6	0,084
								P_5^7	0,042
				P_3^4	0,091	P_4^7	0,051	P_5^8	0,051
						P_4^8	0,042	P_5^9	0,042
				P_3^5	0,163	P_4^9	0,163	P_5^{10}	0,072
		P_5^{11}	0,098						
		P_2^2	0,262	P_3^6	0,081	P_4^{10}	0,074	P_5^{12}	0,074
						P_4^{11}	0,008	P_5^{13}	0,008
				P_3^7	0,075	P_4^{12}	0,006	P_5^{14}	0,006
						P_4^{13}	0,035	P_5^{15}	0,035
						P_4^{14}	0,036	P_5^{16}	0,036
				P_3^8	0,071	P_4^{15}	0,027	P_5^{17}	0,027
						P_4^{16}	0,045	P_5^{18}	0,045
				P_3^9	0,065	P_4^{17}	0,036	P_5^{19}	0,036
		P_4^{18}	0,03			P_5^{20}	0,03		

На основі зібраних даних про імовірність реалізації елементарних подій у «дереві відмов» для логіко-ймовірнісної моделі відмов, отриманої в процесі аналізу, розраховується ймовірність виникнення екологічно-небезпечної ситуації або аварії, пов'язаною з місцями зберігання шлаків металургійних ПАТ «Металургійний комбінат Азовсталь» та ПАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча». Отже, ймовірність виникнення головної події – небезпечної ситуації у відвалах металургійних комбінатів дорівнює 0,645. Основними факторами, що створюють екологічну небезпеку є наявний обсяг шлаків та шлакового пилу на території відвалу. Ризик незворотних змін в екосистемах та повної втрати екофонду складає 0,518. Основними факторами екологічної небезпеки для довкілля визначено забруднення повітря ($P_3^1=0,144$), забруднення водного басейну ($P_3^2=0,158$) і забруднення ґрунтів ($P_3^3=0,122$). Ймовірність виникнення небезпеки внаслідок забруднення атмосфери, впливу на гідросферу та забруднення ґрунтів можна знизити зменшенням обсягу промислових відходів за рахунок використання їх для дорожнього будівництва.

На діаграмі (рис. 3.2) представлено розподіл вірогідності за елементарними

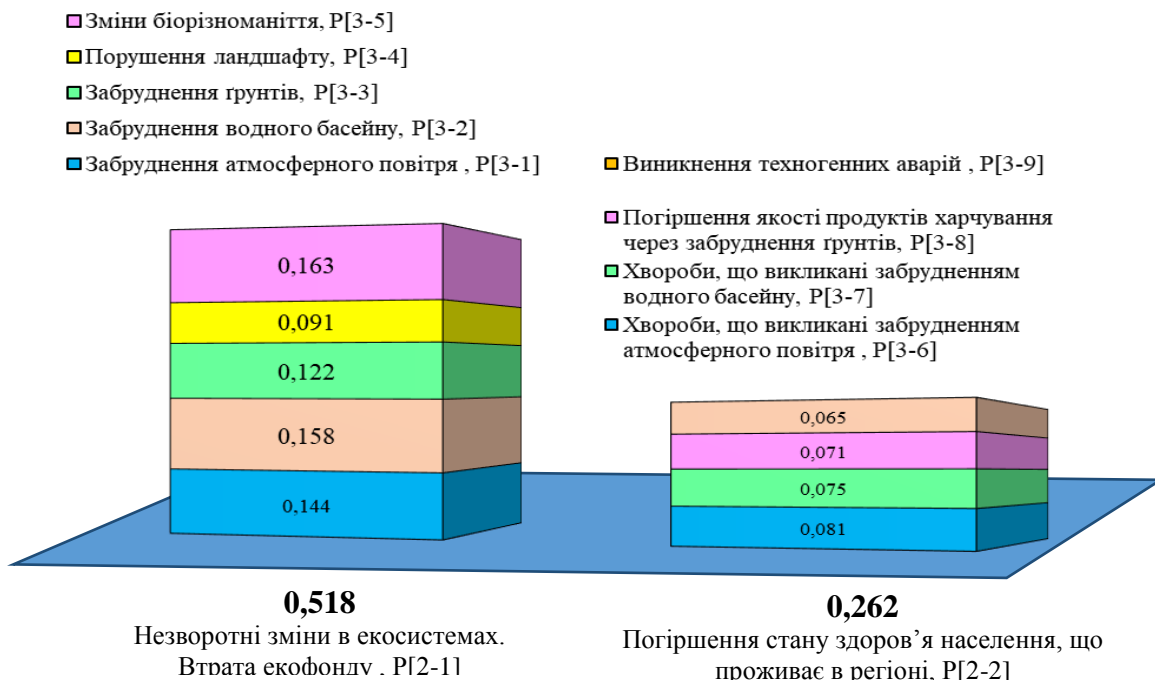


Рис. 3.2. Вірогідність виникнення небезпечних ситуацій на 2-му та 3-му рівнях реалізації подій у «дереві відмов» для логіко-ймовірнісної моделі відмов

подіями другого та третього рівнів реалізації елементарних подій у «дереві відмов» для логіко-ймовірнісної моделі відмов.

Таким чином, основними факторами екологічної небезпеки для довкілля визначено забруднення повітря ($P_3^1=0,144$), забруднення водного басейну ($P_3^2=0,158$) і забруднення ґрунтів ($P_3^3=0,122$). Ймовірність виникнення небезпеки внаслідок забруднення атмосфери, впливу на гідросферу та забруднення ґрунтів можна знизити зменшенням обсягу промислових відходів в місцях видалення відходів за рахунок використання їх для дорожнього будівництва.

3.3. Результати експериментальних досліджень характеристик металургійних шлаків на окремих етапах життєвого циклу

3.3.1. Об'єкти експериментальних досліджень

Згідно системної моделі наступним етапом є дослідження елементів ланцюга «відходи – сировина». Відходи накопичуються в місцях діяльності металургійних комбінатів України. Визначення можливості використання металургійних шлаків в якості матеріалів для дорожнього будівництва дозволить забезпечити зниження обсягів відвалів, що призведе до поліпшення екологічної ситуації регіонів.

Об'єктом дослідження в роботі є шлаки доменні відвальні таких металургійних підприємств, як:

ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»,

ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат»,

ПАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім.Ілліча»,

ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь»,

ПАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь»,

ПАТ «Єнакієвський металургійний завод» (знаходиться на тимчасово непідконтрольній території України.

Коротка характеристика досліджуваних комбінатів приведена в п. 1.2 розділу 1.

Для цих комбінатів проведено хімічний аналіз шлаків на вміст в них: SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , FeO_2 та визначено їх активність R_{28} , МПа.

Таким чином, метою експериментальних досліджень є аналіз властивостей металургійного шлаку як матеріалу дорожнього одягу, а саме дослідження впливу хімічного складу та механічних властивостей металургійного шлаку на його міцнісні характеристики.

Наведемо характеристику приладів, обладнання та методів для проведення експериментальних досліджень та математичного моделювання властивостей металургійних шлаків.

3.3.2. Визначення активності металургійних шлаків як сировини для дорожньо-будівельних матеріалів

Відбір проб шлаку з відвалів металургійних комбінатів здійснюють перед їх аналізом. При обстеженні відвалів проби відбирають на відстані 100 м один від одного при однорідних за властивостями шлаках і 50 м – при неоднорідних. Однорідність визначають візуально. Відбір проб здійснюють з кожного шару, якщо товщина шару не перевищує 3 м та відбирають кілька проб, якщо товщина більше.

Металургійні підприємства для хімічного аналізу шлаків і визначення вмісту SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , FeO_2 використовують таке обладнання: спектрометр «Спектроскан Макс-GV», скануючі моделі апаратів рентгенівських «Спектроскан МАКС», рентгенівський спектрометр «Спектроскан Макс-GF1E» та рентгенівський спектрометр «Спектроскан Макс-GF1E».

Результати досліджень хімічного складу шлаків по кожному з підприємств було взято з паспорту відходу (Додаток Ж).

Для кожної відібраної проби визначалось значення активності шлаку, як основний показник міцності шлаку як дорожньо-будівельного матеріалу. Вона вимірюється в мегапаскалях і визначається як границя міцності при стиску зразків. Визначають за результатами випробувань на міцність при стисненні після 28 діб водонасичених зразків, виготовлених з тонкоподрібненого шлаку. При

проведенні випробування застосовують методику визначення активності, яка наведена в Додатку Е.

Таким чином, на активність шлаків доменних відвальних впливають: процентний вміст оксидів кремнію, алюмінію, кальцію, магнію, заліза. Оптимальна наявність вказаних оксидів є основою при впровадженні технологій будівництва та реконструкції автомобільних доріг з використанням шлаків, оскільки міцність шлаків регламентує ту чи іншу конструкцію дорожнього одягу. Менше значення активності зумовлює меншу міцність шлаків і вимагає забезпечення конструктивного шару більшої товщини і, навпаки, більша активність вказує на їх більшу міцність і потребує конструктивного шару меншої товщини.

При будівництві автомобільних доріг використовується металургійний шлак з високими міцнісними характеристиками. Одним із основних показників міцності шлаків як дорожньо-будівельного матеріалу є активність (гранична міцність при стиску зразків у водонасиченому стані у віці 28 діб, МПа). Цей показник знаходиться в безпосередній залежності від процентного вмісту в шлаках оксидів кремнію, алюмінію, кальцію, магнію, заліза та ін. Оптимальний вміст цих оксидів є основою при впровадженні технологій будівництва та реконструкції автомобільних доріг з використанням шлаків, оскільки міцність шлаків регламентує ту чи іншу конструкцію дорожнього одягу.

В результаті експериментальних досліджень було визначено:

- хімічний склад шлаків на шести металургійних підприємствах України, для проведення аналізу впливу їх на активність;
- активність R_{28} металургійних шлаків як сировини для виготовлення дорожньо-будівельних матеріалів.

Вихідні дані для аналізу та визначення залежностей властивостей шлаків у відвалах окремих металургійних комбінатах України наведено в таблиці 3.2 та в Додатку І.

Таблиця 3.2

Експериментальні дані складу та властивостей шлаків

ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

№ проби	Вміст, %					Активність R_{28} , МПа,	Модуль пружності $E_{ш}$, МПа	Модуль основності, M_o	Модуль активності, M_a	Коефіцієнт якості, K
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO ₂					
1	37	9,1	51,8	5,6	0,47	6,75	450	1,25	0,25	1,80
2	36,75	9	51,7	5,5	0,39	6,65	440	1,25	0,24	1,80
3	36,7	8,78	51,9	5,45	0,47	6,62	440	1,26	0,24	1,80
4	36,5	8,7	50,8	5,2	0,45	6,61	450	1,24	0,24	1,77
5	36,3	8,69	50,3	5,1	0,38	6,58	450	1,23	0,24	1,77
6	36,4	8,1	50,9	4,8	0,36	6,46	440	1,25	0,22	1,75
7	36	7,87	50,1	4,2	0,45	6,42	440	1,24	0,22	1,73
8	35,9	7,75	50,7	4,1	0,45	6,3	430	1,26	0,22	1,74
9	35,8	7,8	50,9	4,16	0,47	6,25	425	1,26	0,22	1,76
10	35	7,39	50,5	4,09	0,42	6	400	1,29	0,21	1,77

Використання багатofакторного кореляційно-регресійного аналізу залежності активності шлаків від їх хімічного складу дозволив визначити міцнісні характеристики шлаків на кожному металургійному комбінаті.

3.3.3. Аналіз впливу хімічного складу металургійних шлаків на показники активності

Структура і мінералогічний склад затверділих шлаків залежать від їх хімічного складу і режиму охолодження. Кислі шлаки мають високу в'язкість, малу кристалізаційну здатність і при затвердінні утворюють більше 50 % склофази. Середні шлаки при швидкому охолодженні твердіють у вигляді склоподібної маси з включенням кристалічних компонентів, а при повільному охолодженні шлак набуває кристалічну структуру. За зерновим складом доменні й сталеплавильні шлаки, що не розпадаються, відносять до великоуламкових ґрунтів з вмістом піщаних і пилюватих часток 8 – 35 %.

Відвали зі шлаків добре проникні: коефіцієнт фільтрації шлаків з малим вмістом піщаних і пилюватих часток ($d_{17} > 2\text{мм}$) досягає 1-20 см/с, у шлаків з високим змістом дрібних часток ($d_{17} < 2\text{мм}$) він змінюється в діапазоні $n \cdot 10^{-2}$ – $n \cdot 10^{-3}$ см/с. Оцінка стійкості шлаків до механічної суфозії показує, що критична швидкість фільтраційного потоку в споруді може виникнути при градієнтах напору, що в кілька разів перевищують ті, які реально спостерігаються в спорудах [64, 155].

Результати досліджень дозволили сформулювати вимоги до шлаків доменних відвальних ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» та ПАТ «ММК імені Ілліча» та розробити технічні умови ТУ У В.2.7-14.2-24432974-004:2005 [156] і ТУ У В.2.7-14.2-00191129-001:2005 [157] для їх використання в дорожньому будівництві. Вимоги до шлаків цих комбінатів визначаються в технічних умовах ТУ У В.2.7-45.2-24432974-003-2004 [158] і ТУ У В.2.7-14.2-00191129-051:2008 [159].

На базі активного експерименту визначався вміст SiO_2 , Al_2O_3 та CaO у металургійних шлаках на дослідних підприємствах за допомогою спектрометру «Спектроскан Макс-GV».

В результаті експерименту для подальшого отримання коефіцієнтів математичних моделей було сформовано матриці розрахунку за методом найменших квадратів ф. 2.5 (табл. 3.4 та Додаток К).

Математична обробка експериментальних даних дозволила одержати коефіцієнти рівняння множинної регресії (ф. 3.5–3.10), які характеризують залежність активності шлаків від їх хімічного складу (табл. 3.3).

В табл. 3.4 та табл. К.2 (Додаток К) приведено значення активності (R_{28}), визначені за результатами активного та обчислювального експерименту, а також розрахована похибка обчислень.

Таблиця 3.3

Математичні моделі за місцем утворення відвалів

№	Місце утворення відвалів	Математична модель	Коефіцієнт детермінації, R^2
1	ПАТ “Арселор-Міттал Кривий Ріг”	$R_{28} = 7,847 \cdot K_1 - 11,268 \cdot K_2 - 3,622 \cdot K_3 + 0,446 \cdot K_1 \cdot K_2 + 0,083 \cdot K_1 \cdot K_3 + 0,004 \cdot K_2 \cdot K_3 - 0,214 \cdot K_1^2 - 0,297 \cdot K_2^2 + 0,005 \cdot K_3^2$ (3.5)	$R^2 = 0,798$ $F_p = 2,118.$
2	ПАТ “Дніпровський металургійний комбінат”	$R_{28} = -244,126 \cdot K_1 + 85,631 \cdot K_2 + 167,950 \cdot K_3 + 0,737 \cdot K_1 \cdot K_2 + 4,313 \cdot K_1 \cdot K_3 - 1,770 \cdot K_2 \cdot K_3 + 0,244 \cdot K_1^2 - 1,288 \cdot K_2^2 - 3,113 \cdot K_3^2$ (3.6)	$R^2 = 0,690$ $F_p = 1,882.$
3	ПАТ Маріупольський МК ім. Ілліча	$R_{28} = 10,643 \cdot K_1 - 7,680 \cdot K_2 - 7,035 \cdot K_3 + 0,802 \cdot K_1 \cdot K_2 - 0,027 \cdot K_1 \cdot K_3 - 0,449 \cdot K_2 \cdot K_3 - 0,212 \cdot K_1^2 + 0,212 \cdot K_2^2 + 0,118 \cdot K_3^2$ (3.7)	$R^2 = 0,780$ $F_p = 2,872.$
4	ПАТ “Металургійний комбінат “Запоріжсталь”	$R_{28} = 24,936 \cdot K_1 + 294,070 \cdot K_2 - 69,054 \cdot K_3 + 0,305 \cdot K_1 \cdot K_2 - 0,343 \cdot K_1 \cdot K_3 - 0,097 \cdot K_2 \cdot K_3 - 0,137 \cdot K_1^2 - 16,910 \cdot K_2^2 + 0,809 \cdot K_3^2$ (3.8)	$R^2 = 0,824$ $F_p = 3,682.$
5	ПАТ “Металургійний комбінат “Азовсталь”	$R_{28} = 219,954 \cdot K_1 - 498,257 \cdot K_2 - 76,153 \cdot K_3 + 1,837 \cdot K_1 \cdot K_2 - 4,311 \cdot K_1 \cdot K_3 + 3,240 \cdot K_2 \cdot K_3 - 0,225 \cdot K_1^2 + 15,096 \cdot K_2^2 + 2,060 \cdot K_3^2$ (3.9)	$R^2 = 0,710$ $F_p = 3,672.$
6	ПАТ “Єнакієвський металургійний завод”	$R_{28} = 87,024 \cdot K_1 + 44,296 \cdot K_2 - 71,395 \cdot K_3 - 9,620 \cdot K_1 \cdot K_2 - 1,012 \cdot K_1 \cdot K_3 + 5,491 \cdot K_2 \cdot K_3 + 0,692 \cdot K_1^2 + 1,829 \cdot K_2^2 + 0,586 \cdot K_3^2$ (3.10)	$R^2 = 0,791$ $F_p = 2,168.$

Таблиця 3.4

Результати математичної обробки експериментальних даних по отриманих моделях (шлаки доменні відвальні ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг»)

№ проби	Вміст, %			Активність R_{28} , МПа		Похибка	
	K_1	K_2	K_3	Експер.	По моделі	Абсолютна	Відносна
1	37,00	9,10	51,80	6,75	6,751	0,0019	0,03%
2	36,75	9,00	51,70	6,65	6,649	0,0019	0,03%
3	36,70	8,78	51,90	6,62	6,621	0,0043	0,06%
4	36,50	8,70	50,80	6,61	6,609	0,0020	0,03%
5	36,30	8,69	50,30	6,58	6,580	0,0003	0,00%
6	36,40	8,10	50,90	6,46	6,461	0,0011	0,02%
7	36,00	7,87	50,10	6,42	6,419	0,0019	0,03%
8	35,90	7,75	50,70	6,3	6,292	0,0083	0,13%
9	35,80	7,80	50,90	6,25	6,257	0,0093	0,15%
10	35,00	7,39	50,50	6	6,001	0,0013	0,02%
F-тест				0,9989			
Коефіцієнт кореляції				0,9899			

Одержані значення коефіцієнтів детермінації (0,798; 0,690; 0,780; 0,824; 0,710; 0,791) показують високий рівень зв'язку між експериментальними значеннями вихідної змінної (активність шлаку) та значеннями одержаними в результаті моделювання системи.

Оцінка адекватності одержаних моделей (табл. 3.3) здійснювалась за критерієм Фішера з ймовірністю помилки $\alpha = 5\%$. Для всіх моделей (табл. 3.3) табличне значення критерію Фішера $F_{\text{табл}}$ (0,95) дорівнює 5,32. Розрахункові значення (F_p) відповідно дорівнюють 2,118; 1,882; 2,872; 3,1682; 3,672; 2,168. Рівняння вважаються адекватними, якщо виконується співвідношення $F_p < F_T$.

Проведений аналіз дозволяє стверджувати, що одержані моделі (табл. 3.3) адекватно описують досліджуваній процес, є вірогідними, тобто підтверджується гіпотеза про те, що кількісна оцінка зв'язку між залежною і незалежними змінними в моделі є істотною. Це дозволяє використати ці моделі для проведення обчислювального експерименту та представити його результати у графічному вигляді. Графічна інтерпретація обчислювального експерименту для шлаків ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» приведена на рис. 3.3 – 3.5.

На рис. 3.3 приведено ізолінії та ізоповерхні активності шлаків в залежності від вмісту SiO_2 і Al_2O_3 при значенні $\text{CaO} = 49\%$.

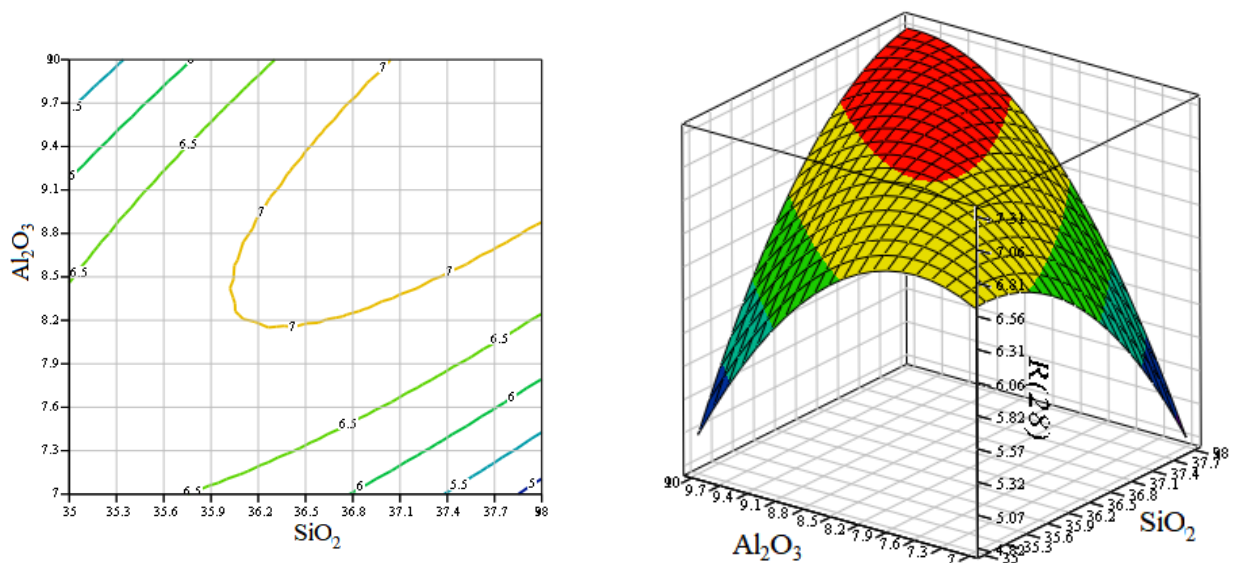


Рис. 3.3. Ізолінії та ізоповерхні значення активності шлаку в залежності від вмісту оксидів SiO_2 і Al_2O_3

На рис. 3.4 приведено ізолінії та ізоповерхні активності шлаків в залежності від вмісту SiO_2 і CaO при значенні $\text{Al}_2\text{O}_3 = 8\%$.

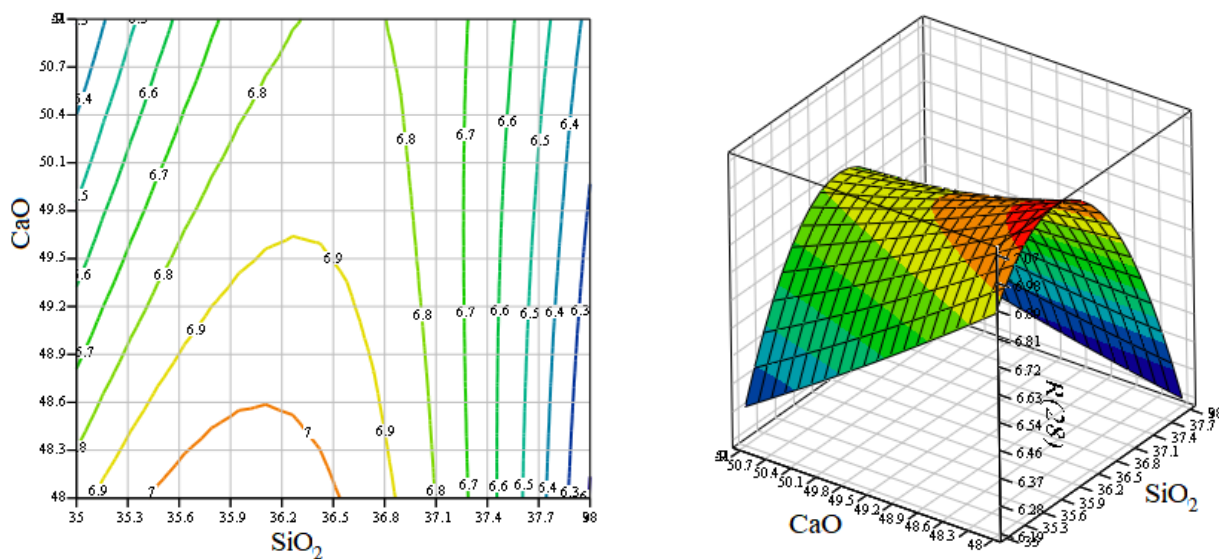


Рис. 3.4. Ізолінії та ізоповерхні значення активності шлаку в залежності від вмісту оксидів SiO_2 і CaO

На рис. 3.5 приведено ізолінії та ізоповерхні активності шлаків в залежності від вмісту Al_2O_3 і CaO при значенні $\text{SiO}_2 = 36\%$

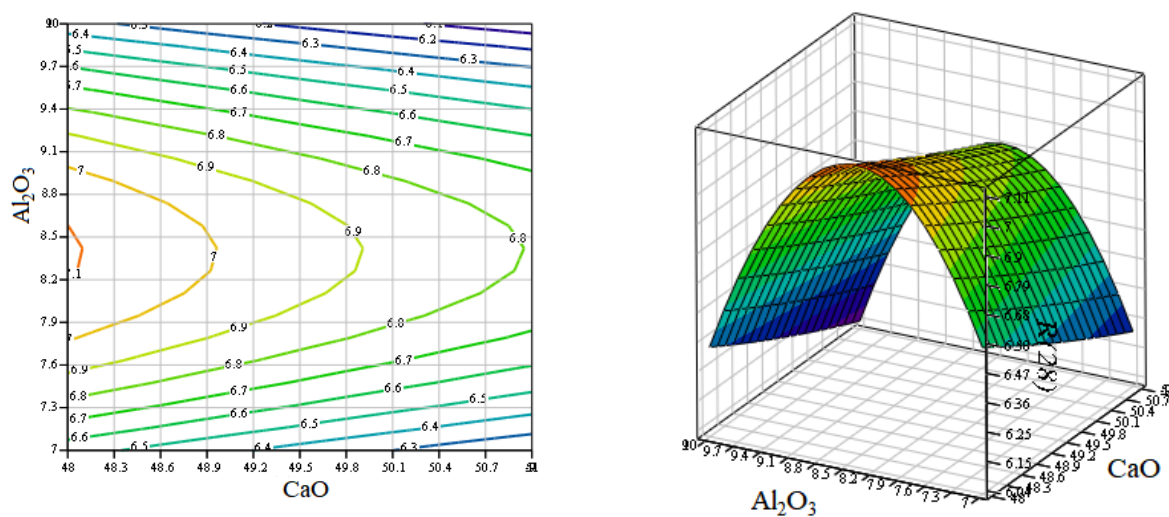


Рис. 3.5. Ізолінії та ізоповерхні значення активності шлаку в залежності від вмісту оксидів Al_2O_3 і CaO

Таким чином, активність відвальних доменних шлаків ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» найбільше залежить від збільшення вмісту Al_2O_3 і SiO_2 . Коефіцієнт детермінації дорівнює $R^2 = 0,9918$.

Визначені значення коефіцієнтів детермінації 0,824 показують високий рівень зв'язку між експериментальними значеннями вихідної змінної (активність шлаку) та значеннями, які отримані в результаті моделювання системи.

Тому, одержані результати дозволяють прогнозувати значення активності шлаків в залежності від хімічного складу для кожного із досліджуваних комбінатів. В ранжованому ряді усереднених значень активності шлаків металургійні комбінати слід розмістити в такій послідовності: ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» ($R_{28} = 6,7$ МПа); ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» ($R_{28} = 6,464$ МПа); ПАТ Маріупольський МК ім. Ілліча ($R_{28} = 6,25$ МПа); ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» ($R_{28} = 5,89$ МПа); ПАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь» ($R_{28} = 5,53$ МПа); ПАТ «Єнакієвський металургійний завод» ($R_{28} = 5,3$ МПа). Всі одержані значення відповідають технологічним вимогам, отже досліджувані шлаки можуть бути сировиною для матеріалу дорожнього одягу.

Таким чином, використання багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу залежності активності шлаків від їх хімічного складу дозволило визначити міцнісні характеристики шлаків на кожному металургійному комбінаті і обґрунтувати доцільність впровадження відвальних шлаків металургійних комбінатів при створенні технології будівництва і реконструкції автомобільних доріг. В подальшому дослідженні визначаємо міцнісні характеристики шлаку як матеріалу дорожнього одягу.

3.3.4. Визначення модуля пружності металургійних шлаків як дорожньо-будівельних матеріалів

Відповідно [145], міцність дорожнього одягу оцінюється коефіцієнтом запасу міцності (K_m), який визначається як відношення фактичного модуля

пружності дорожньої конструкції в розрахунковий період року (E_ϕ) до модуля пружності (E_n), який необхідно мати при існуючому русі на дорозі:

$$K_m = \frac{E_\phi}{E_n}. \quad (3.12)$$

Дорожня конструкція задовольняє вимогам по міцності, якщо $K_m \geq K_{\min}$. Значення K_{\min} для одягів різних типів регламентуються «Технічними правилами ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України», що приведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

**Мінімальні значення коефіцієнту запасу міцності нежорстких
дорожніх одягів**

Тип одягу та покриття	Категорія дороги	Значення
Одяги капітального типу з удосконаленим покриттям	I, II, III	0,95
Одяги полегшеного типу	III, IV	0,90
Одяги перехідного типу	IV	0,80
Одяги нижчого типу	V	0,75

Модуль пружності характеризує здатність ущільненого матеріалу чинити опір деформації під дією навантажень. Модулі пружності є важливим показником в розрахунках на міцність, жорсткість, а також як міра сили міжатомного зв'язку.

Фактичний модуль пружності дорожньої конструкції (E_ϕ) визначають шляхом інструментальних випробувань у розрахунковий період року. Визначення модулів пружності матеріалу шарів дорожнього одягу може здійснюватися трьома способами [145]:

– випробуванням моделей або зразків при розрахунковому стані в лабораторних умовах;

– випробуванням конструктивних шарів і всього дорожнього одягу безпосередньо на дорозі;

– за допомогою таблиць із узагальненим статистичним матеріалом по величинам модулів пружності різних матеріалів в різних умовах їх роботи.

Найбільш точно значення модулів пружності можуть бути отримані при їх визначенні в розрахунковий період роботи безпосередньо на дорозі. У лабораторних умовах визначення модулів пружності здійснюють на моделях або зразках статичним або динамічним способом.

Визначення модулів пружності матеріалу шарів дорожнього одягу із застосуванням доменних шлаків здійснювалось випробування зразків в лабораторних умовах статичним способом в циліндричній металевій формі на гідравлічному пресі. Методика визначення модулю пружності у лабораторних умовах наведена у додатку Д.

В результаті експериментальних досліджень було визначено модулі пружності металургійних шлаків як дорожньо-будівельних матеріалів, які необхідні для розрахунку конструкцій дорожнього одягу та дослідження залежності від їх активності.

Як показують дослідження, залежності модуля пружності від активності залежить від гранулометричного складу матеріалу основи з доменного шлаку.

3.3.5. Визначення механічних властивостей металургійного шлаку

Експериментальне визначення модуля пружності металургійних шлаків таких комбінатів, як ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг», ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат», ПАТ «Маріупольський МК ім. Ілліча», ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь», ПАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь», ПАТ «Єнакієвський металургійний завод» здійснювали на важільному пресі (розділ 3.2).

Узагальнені результати експериментальних досліджень модуля пружності представлено в таблиці 3.2 та в Додатку И.

В результаті досліджень було отримано результати залежності впливу

активності на модуль пружності фракційного доменного шлаку фр. 20-40 та фр. 0-40. Вихідною величиною $E_{ш}$ є модуль пружності. Вхідними параметрами є активність R_{28} металургійних шлаків таких комбінатів, як ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг», ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат», ПАТ Маріупольський МК ім. Ілліча, ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь», ПАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь», ПАТ «Єнакієвський металургійний завод».

Регресійні рівняння, які характеризують залежність фактичного модулю пружності від активності шлаків приведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Рівняння регресії залежності модуля пружності шлакового матеріалу від його активності

№ №	Металургійний комбінат	Регресійне рівняння	Статистична оцінка моделі
1	ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг»	$E_{ш} = 345367,39 - 84913,67 \cdot R_{28}^2 + 26601,21 \cdot R_{28}^3 - 3121,84 \cdot R_{28}^4 + 130,14 \cdot R_{28}^5$ (3.16)	$R^2=0,8074$ $F_p= 2,776.$
2	ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат»	$E_{ш} = 20823,26 - 105275,62 \cdot R_{28} + 58649,63 \cdot R_{28}^2 - 12848,71 \cdot R_{28}^3 + 1265,15 \cdot R_{28}^4 - 46,87 \cdot R_{28}^5$ (3.17)	$R^2=0,8528$ $F_p= 4,225.$
3	ПАТ «Маріупольський МК ім. Ілліча»	$E_{ш} = 88238,71 - 22478,39 \cdot R_{28}^2 + 7162,24 \cdot R_{28}^3 - 853,88 \cdot R_{28}^4 + 36,13 \cdot R_{28}^5$ (3.18)	$R^2=0,9697$ $F_p= 5,118.$
4	ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь»	$E_{ш} = -5762899,82 + 4912868,65 \cdot R_{28} - 1672055,68 \cdot R_{28}^2 + 284006,89 \cdot R_{28}^3 - 24075,74 \cdot R_{28}^4 + 814,91 \cdot R_{28}^5$ (3.19)	$R^2=0,9286$ $F_p= 3,432.$
5	ПАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь»	$E_{ш} = 4075259,09 - 3630571,34 \cdot R_{28} + 1291750,99 \cdot R_{28}^2 - 229416,95 \cdot R_{28}^3 + 20337,56 \cdot R_{28}^4 - 719,89 \cdot R_{28}^5$ (3.20)	$R^2=0,8939$ $F_p= 4,654.$
6	ПАТ «Єнакієвський металургійний завод»	$E_{ш} = 846538,29 - 811108,78 \cdot R_{28} + 309676,24 \cdot R_{28}^2 - 58875,50 \cdot R_{28}^3 + 5574,48 \cdot R_{28}^4 - 210,29 \cdot R_{28}^5$ (3.21)	$R^2=0,9293$ $F_p= 4,554.$

Оцінка адекватності моделей здійснювалась за критерієм Фішера з ймовірністю помилки $\alpha = 5\%$. Для всіх моделей (3.16 – 3.21) табличне значення критерію Фішера $F_{табл} (0,95)$ дорівнює 7,45.

Розрахункові значення (F_p) відповідно дорівнюють 2,776; 4,225; 5,118; 3,432; 4,654; 4,554. Моделі вважаються адекватними, оскільки виконується співвідношення $F_p < F_T$.

Результати розрахунку значень фактичного модулю пружності від активності шлаків за отриманими математичними залежностями (3.16 – 3.21) представлено в табл. 3.7 та Додатку Л.

Таблиця 3.7

**Результати експериментального визначення модулів пружності шлаків
доменних відвальних ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг»**

№	Активність R_{28} , МПа	Модуль пружності (E_{np})		Похибка	
		Експер.	По моделі	Абсолютна	Відносна
1	6	400	400,07	0,069	0,02%
2	6,25	425	424,27	0,730	0,17%
3	6,3	430	430,18	0,182	0,04%
4	6,42	440	440,42	0,421	0,10%
5	6,46	440	442,35	2,345	0,53%
6	6,58	450	444,51	5,495	1,24%
7	6,61	450	444,62	5,377	1,21%
8	6,62	440	444,67	4,671	1,05%
9	6,65	440	444,92	4,922	1,11%
10	6,75	450	448,99	1,008	0,22%
F-тест		0,936			
Коефіцієнт кореляції		0,973			

Показником точного опису моделей є також відносна похибка розрахунків, яка для всіх отриманих математичних рівнянь є меншою за 5%. Таким чином, одержані математичні моделі адекватно описують залежність фактичного модулю пружності шлаку від його активності, отже їх можна застосовувати для прийняття рішень, тобто формування конструкцій дорожнього одягу (КДО) із заданими властивостям.

Узагальнення результатів моделювання дозволили визначити, що шлакові матеріали всіх металургійних комбінатів можуть забезпечити необхідний модуль пружності 350 – 450 МПа.

Таким чином, заміна природного матеріалу на відходи металургійних комбінатів не знижує міцнісні характеристики дорожнього полотна, що дозволяє застосовувати цей матеріал в конструкціях дорожнього одягу. Одночасно, використання значних обсягів шлакового матеріалу, що зберігаються на територіях металургійного комбінату, дозволяє знизити рівень екологічної небезпеки відвалів за рахунок зменшення його площі. Розглянемо ризики екологічної небезпеки при збереженні значних обсягів шлаків у відвалах металургійних комбінатів.

3.4. Визначення обсягів заміни природних матеріалів металургійними шлаками в конструкції дорожнього одягу

Конструкції дорожнього одягу з використанням шлакових матеріалів є найбільш технічно та економічно вигідними для використання в будь-яких будівельно-ремонтних роботах при будіванні автомобільних доріг.

Для визначення прогнозованих обсягів заміни природних матеріалів металургійними шлаками розрахуємо конструкцію дорожнього одягу ділянки автомобільної дороги «Київ-Одеса», ПК173-199 км (рис.3.6). Дорога проходить у III –V дорожньо-кліматичній зоні.



Рис. 3.6. Схема автомобільної дороги «Київ-Одеса»

Результати розрахунку конструкцій дорожнього одягу наведено в таблиці 3.11, 3.12 та показали, що запропоновані конструкції відповідають вимогам

ВБН В.2.3-218-186-2004 [145], тобто є міцними і можуть бути застосовані при будівництві.

Таблиця 3.8

Результати розрахунку конструкції з природним кам'яним матеріалом

№п/п	Конструкція дорожнього одягу	Коефіцієнт запасу міцності, $K_{мц}$, за критерієм граничного стану					
		пружний прогин		згин монолітних шарів		зсув у незв'язних шарах	
		нормований	розрахунковий	нормований	розрахунковий	нормований	розрахунковий
1	Асфальтобетон щільний на бітумі БНД - 40/60 – 4 см;	1,5	1,61	1,39	1,399	1,5	1,71
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 I класу міцності – 15 см;						
5	Щебенево-гравійна суміш – 17 см;						
6	Грунт укріплений 4% цементу 3 класу міцності – 12 см						
	Грунт робочого шару(супісок важкий пилюватий).						

Таблиця 3.9

Результати розрахунку конструкції з металургійним шлаком

№п/п	Конструкція дорожнього одягу	Коефіцієнт запасу міцності, $K_{мц}$, за критерієм граничного стану					
		пружний прогин		згин монолітних шарів		зсув у незв'язних шарах	
		нормований	розрахунковий	нормований	розрахунковий	нормований	розрахунковий
1	Асфальтобетон щільний на бітумі БНД - 40/60 – 4 см;	1,5	1,54	1,39	1,52	1,5	1,66
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 I класу міцності – 15 см;						
5	Щебінь шлаковий – 22 см;						
6	Грунт укріплений 4% цементу 3 класу міцності – 12 см						
	Грунт робочого шару(супісок важкий пилюватий).						

Для визначення ефективності заміни природних матеріалів металургійними шлаками при будівництві I технічної категорії дороги визначаємо потребу в об'ємах цих матеріалів для будівництва 1 км дороги (табл. 3.10, 3.11) та загальну вартість матеріалів, які необхідні для влаштування шару основи 1 км дороги [14].

Таблиця 3.10

Обсяги та вартість гранітного щебеню для будівництва 1 км дороги

Технічна категорія дороги	Параметри			Необхідна кількість гранітного щебеню, м ³	Насипна щільність, т/м ³ (2,63-2,65)	Вартість гранітного щебеню, грн./т	Загальна вартість матеріалів, грн.
	Кількість смуг руху	Ширина смуги руху, м	Товщина шару основи з гранітного щебеню (приймається розрахунково), м				
I	8	3,75	0,17	5100	2,64	120	1615680

Таблиця 3.11

Обсяги та вартість шлакового щебеню для будівництва 1 км дороги

Технічна категорія дороги	Параметри			Необхідна кількість шлакового щебеню, м ³	Насипна щільність, т/м ³ (1,3-2,1)	Вартість шлакового щебеню, грн./т	Загальна вартість матеріалів, грн.
	Кількість смуг руху	Ширина смуги руху, м	Товщина шару основи з шлакового щебеню (приймається розрахунково), м				
I	8	3,75	0,22	6600	1,7	45	504900

Аналіз табл. 3.10, 3.11 показує, що використання шлакового щебеню дозволяє зберегти 13464 т природного матеріалу при будівництві 1 км дороги I категорії. Порівняння загальної вартості матеріалів показує, що при заміні природного щебеню шлаковим щебенем для будівництва 1 км можна отримати економію 1156680 грн для I категорії автомобільної дороги.

Таким чином, в результаті заміни шару основи з природного кам'яного матеріалу (щебенево-гравійної суміші) на шар основи з альтернативного матеріалу (шлаком доменним відвальним) міцнісні характеристики дорожнього одягу не зміняться.

Висновки до розділу 3

Експериментальне дослідження з використанням розробленої системної моделі дозволило розглядати вплив окремих елементів ланцюга «відходи-сировина-матеріал-конструкція дорожнього одягу».

Отже, ризик небезпеки накопичення та збереження шлаків у відвалах металургійних комбінатів, як відходів виробництва, є головної небезпечною подією і становить 0,636. Найбільш вагомими чинниками екологічної небезпеки регіону визначено забруднення повітря ($P_3^1=0,144$), забруднення водного басейну ($P_3^2=0,138$) і забруднення ґрунтів ($P_3^3=0,122$).

На основі проведених експериментальних досліджень окремих фаз життєвого циклу металургійних шлаків:

- експериментально встановлено та теоретично обґрунтовано закономірності впливу хімічного складу шлаків металургійних комбінатів ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг», ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат», ПАТ «Маріупольський МК ім.Ілліча», ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь», ПАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь» та ПАТ «Єнакієвський металургійний завод» на їх активність, яка характеризує міцнісні характеристики шлаків як матеріалу для дорожнього будівництва;

- за допомогою кореляційно-регресійного аналізу результатів експериментальних досліджень отримано регресійні залежності модулів пружності шлаків від їх активності, що є вихідними величинами для визначення товщини шару основи дорожнього одягу і, відповідно, значення обсягів можливої заміни природних кам'яних матеріалів металургійними шлаками.

Матеріали розділу представлені в роботах [141, 156-159, 163].

РОЗДІЛ 4

ОЦІНКА РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ У ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ

4.1. Прогнозування зниження ризику небезпеки у відвалах металургійних комбінатів

Впровадження технологій використання металургійних шлаків як заміника природних дорожньо-будівельних матеріалів в дорожньому будівництві призведе до зниження обсягів шлакових відвалів. Для визначення динаміки екологічного ризику довкілля навколо відвалів запропоновано провести прогнозування екологічної ситуації в процесі зменшення обсягів шлаків.

Прогнозування динаміки виникнення ймовірності появи небезпечних подій проводилося за двома сценаріями: 1 – вірогідність виникнення екологічної небезпеки при реалізації елементарних подій у «дереві відмов» для логіко-ймовірнісної моделі відмов, зменшено на 20 %, 2 – вірогідність знижено на 50 %. За базові елементарні події обрано вірогідність появи небезпечних подій при зміні обсягів металургійних шлаків у відвалах.

Побудоване «дерево відмов» для логіко-ймовірнісної моделі відмов у Розділі 3 (п. 3.2) та розрахунок вірогідності на всіх рівнях моделі, а також визначення ймовірності порушення екологічної рівноваги регіону для головної події було обрано за базовий сценарій прогнозування появи екологічної небезпеки. Проаналізувавши «дерево відмов», були визначені елементарні події п'ятого рівня, зміна вірогідності яких допоможе провести прогнозування динаміки появи головної події. Так як основна мета проведеного дослідження показати вплив зміни обсягів МШ у відвалах на екологічний стан регіону, то обрано події, що пов'язані з даним показником. Отже, було обрано події P_5^1 , P_5^3 , P_5^7 , P_5^8 , P_5^{11} , P_5^{12} , P_5^{14} , P_5^{17} та P_5^{18} . Значення вірогідності виникнення цих подій було зменшено за першим сценарієм на 20 % та на 50 % – за другим сценарієм.

Використовуючи ф. 3.1–3.4 (Розділ 3), проведемо розрахунок виникнення головної події за першим сценарієм. Зміна на 20 % ймовірності виникнення небезпек обраних елементарних подій у «дереві відмов» дозволить визначити вірогідності появи небезпек на кожному рівні логіко-ймовірнісної моделі відмов:

вірогідність подій четвертого рівня:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_4^1 = P_5^1 = 0,048 \\ P_4^2 = P_5^2 = 0,089 \\ P_4^3 = P_5^3 = 0,020 \\ P_4^4 = P_5^4 = 0,035 \\ P_4^5 = P_5^5 = 0,105 \\ P_4^6 = 1 - (1 - P_5^6) \cdot (1 - P_5^7) = 1 - (1 - 0,084) \cdot (1 - 0,034) = 0,115 \\ P_4^7 = P_5^8 = 0,041 \\ P_4^8 = P_5^9 = 0,042 \\ P_4^9 = 1 - (1 - P_5^{10}) \cdot (1 - P_5^{11}) = 1 - (1 - 0,072) \cdot (1 - 0,078) = 0,145 \end{array} \right. \cup \left\{ \begin{array}{l} P_4^{10} = P_5^{12} = 0,059 \\ P_4^{11} = P_5^{13} = 0,008 \\ P_4^{12} = P_5^{14} = 0,005 \\ P_4^{13} = P_5^{15} = 0,035 \\ P_4^{14} = P_5^{16} = 0,036 \Rightarrow \\ P_4^{15} = P_5^{17} = 0,022 \\ P_4^{16} = P_5^{18} = 0,036 \\ P_4^{17} = P_5^{19} = 0,036 \\ P_4^{18} = P_5^{20} = 0,030 \end{array} \right.$$

вірогідність подій третього рівня:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_3^1 = 1 - (1 - P_4^1) \cdot (1 - P_4^2) = 1 - (1 - 0,048) \cdot (1 - 0,089) = 0,133 \\ P_3^2 = 1 - (1 - P_4^3) \cdot (1 - P_4^4) \cdot (1 - P_4^5) = 1 - (1 - 0,020) \cdot (1 - 0,035) \cdot (1 - 0,105) = 0,154 \\ P_3^3 = P_4^6 = 0,115 \\ P_3^4 = 1 - (1 - P_4^7) \cdot (1 - P_4^8) = 1 - (1 - 0,041) \cdot (1 - 0,042) = 0,081 \\ P_3^5 = P_4^9 = 0,145 \Rightarrow \\ P_3^6 = 1 - (1 - P_4^{10}) \cdot (1 - P_4^{11}) = 1 - (1 - 0,059) \cdot (1 - 0,008) = 0,067 \\ P_3^7 = 1 - (1 - P_4^{12}) \cdot (1 - P_4^{13}) \cdot (1 - P_4^{14}) = 1 - (1 - 0,005) \cdot (1 - 0,035) \cdot (1 - 0,036) = 0,074 \\ P_3^8 = 1 - (1 - P_4^{15}) \cdot (1 - P_4^{16}) = 1 - (1 - 0,022) \cdot (1 - 0,036) = 0,057 \\ P_3^9 = 1 - (1 - P_4^{17}) \cdot (1 - P_4^{18}) = 1 - (1 - 0,036) \cdot (1 - 0,03) = 0,065 \end{array} \right.$$

вірогідність подій другого рівня:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_2^1 = 1 - (1 - P_3^1) \cdot (1 - P_3^2) \cdot (1 - P_3^3) \cdot (1 - P_3^4) \cdot (1 - P_3^5) = \\ = 1 - (1 - 0,133) \cdot (1 - 0,154) \cdot (1 - 0,115) \cdot (1 - 0,081) \cdot (1 - 0,145) = 0,489 \\ P_2^2 = 1 - (1 - P_3^6) \cdot (1 - P_3^7) \cdot (1 - P_3^8) \cdot (1 - P_3^9) = \\ = 1 - (1 - 0,067) \cdot (1 - 0,074) \cdot (1 - 0,057) \cdot (1 - 0,065) = 0,238 \end{array} \right. \Rightarrow$$

вірогідність головної подій:

$$P_1 = 1 - (1 - P_2^1) \cdot (1 - P_2^2) = 1 - (1 - 0,489) \cdot (1 - 0,238) = 0,611$$

Отже, розрахунок показав, що при реалізації першого сценарію, який враховує зменшення на 20 % вірогідності виникнення екологічної небезпеки при реалізації елементарних подій у «дереві відмов» для логіко-ймовірнісної моделі відмов, ймовірність порушення екологічної рівноваги регіону складатиме 0,611, що на 5,2 % менше від розрахунку вірогідності за базовим сценарієм. Також можна зазначити, що загальна кількість небезпечних подій яка призведе до небезпеки зменшиться на 34 випадки із 1000.

Аналогічно визначаємо вірогідність виникнення головної події для другого сценарію, девірогідність небезпеки при реалізації елементарних подій у «дереві відмов» для логіко-ймовірнісної моделі відмов, а саме зменшення обсягів МШ у відвалах, знизиться на 50 % за рахунок зростання обсягів їх використання у дорожньому будівництві.

Розраховуємо ймовірність виникнення небезпеки на кожному рівні дослідження:

вірогідність подій четвертого рівня:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_4^1 = P_5^1 = 0,030 \\ P_4^2 = P_5^2 = 0,089 \\ P_4^3 = P_5^3 = 0,013 \\ P_4^4 = P_5^4 = 0,035 \\ P_4^5 = P_5^5 = 0,105 \\ P_4^6 = 1 - (1 - P_5^6) \cdot (1 - P_5^7) = 1 - (1 - 0,084) \cdot (1 - 0,021) = 0,103 \\ P_4^7 = P_5^8 = 0,026 \\ P_4^8 = P_5^9 = 0,042 \\ P_4^9 = 1 - (1 - P_5^{10}) \cdot (1 - P_5^{11}) = 1 - (1 - 0,072) \cdot (1 - 0,049) = 0,117 \end{array} \right. \cup \left\{ \begin{array}{l} P_4^{10} = P_5^{12} = 0,037 \\ P_4^{11} = P_5^{13} = 0,008 \\ P_4^{12} = P_5^{14} = 0,003 \\ P_4^{13} = P_5^{15} = 0,035 \\ P_4^{14} = P_5^{16} = 0,036 \Rightarrow \\ P_4^{15} = P_5^{17} = 0,014 \\ P_4^{16} = P_5^{18} = 0,023 \\ P_4^{17} = P_5^{19} = 0,036 \\ P_4^{18} = P_5^{20} = 0,030 \end{array} \right.$$

вірогідність подій третього рівня:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_3^1 = 1 - (1 - P_4^1) \cdot (1 - P_4^2) = 1 - (1 - 0,003) \cdot (1 - 0,089) = 0,116 \\ P_3^2 = 1 - (1 - P_4^3) \cdot (1 - P_4^4) \cdot (1 - P_4^5) = 1 - (1 - 0,013) \cdot (1 - 0,035) \cdot (1 - 0,105) = 0,147 \\ P_3^3 = P_4^6 = 0,103 \\ P_3^4 = 1 - (1 - P_4^7) \cdot (1 - P_4^8) = 1 - (1 - 0,026) \cdot (1 - 0,042) = 0,066 \\ P_3^5 = P_4^9 = 0,117 \\ P_3^6 = 1 - (1 - P_4^{10}) \cdot (1 - P_4^{11}) = 1 - (1 - 0,037) \cdot (1 - 0,008) = 0,045 \\ P_3^7 = 1 - (1 - P_4^{12}) \cdot (1 - P_4^{13}) \cdot (1 - P_4^{14}) = 1 - (1 - 0,003) \cdot (1 - 0,035) \cdot (1 - 0,036) = 0,073 \\ P_3^8 = 1 - (1 - P_4^{15}) \cdot (1 - P_4^{16}) = 1 - (1 - 0,014) \cdot (1 - 0,023) = 0,036 \\ P_3^9 = 1 - (1 - P_4^{17}) \cdot (1 - P_4^{18}) = 1 - (1 - 0,036) \cdot (1 - 0,03) = 0,065 \end{array} \right. \Rightarrow$$

вірогідність подій другого рівня:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_2^1 = 1 - (1 - P_3^1) \cdot (1 - P_3^2) \cdot (1 - P_3^3) \cdot (1 - P_3^4) \cdot (1 - P_3^5) = \\ = 1 - (1 - 0,116) \cdot (1 - 0,147) \cdot (1 - 0,103) \cdot (1 - 0,066) \cdot (1 - 0,117) = 0,443 \\ P_2^2 = 1 - (1 - P_3^6) \cdot (1 - P_3^7) \cdot (1 - P_3^8) \cdot (1 - P_3^9) = \\ = 1 - (1 - 0,045) \cdot (1 - 0,073) \cdot (1 - 0,036) \cdot (1 - 0,065) = 0,201 \end{array} \right. \Rightarrow$$

вірогідність головної події:

$$P_1 = 1 - (1 - P_2^1) \cdot (1 - P_2^2) = 1 - (1 - 0,443) \cdot (1 - 0,201) = 0,555$$

Таким чином, розрахунок показав, що зменшення обсягів МШ у відвалах призведе до поліпшення екологічного стану регіону. За другим сценарієм видно, що зниження вірогідності небезпеки при реалізації елементарних подій, а саме обсягів МШ у відвалах, на 50 % дозволить знизити ймовірність виникнення головної події, яка призведе до екологічних проблем. на 13,9 % відносно базового сценарію. Це також показує, що в загальному обсязі таких подій буде менше на 90 випадків із 1000.

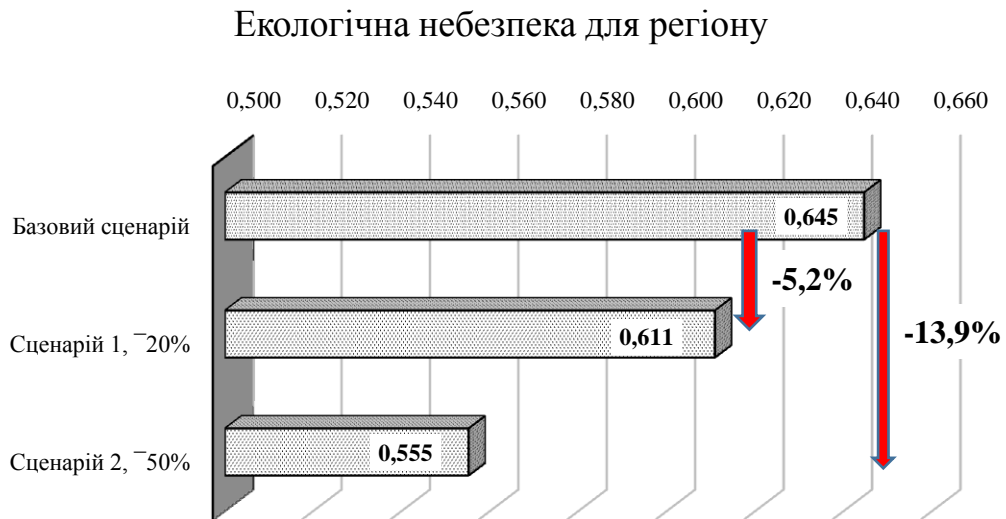


Рис. 4.1. Динаміка зміни вірогідності виникнення екологічної небезпеки для регіону при прогнозування різних сценаріїв подій

Результати досліджень дозволили визначити напрямки використання металургійних шлаків в ДБ: а) влаштування конструктивних шарів дорожнього одягу на дорогах вищих категорій на заміну високоміцного фракціонованого щебеню; б) влаштування конструктивних шарів дорожнього одягу на заміну всіх видів кам'яних матеріалів та побічних продуктів промисловості на дорогах загальної мережі; в) влаштування тонкошарових покриттів і дорогах загального користування III-У категорій на заміну білого щебеневого шосе; г) влаштування вирівнюючих шарів дорожнього одягу при реконструкції або капітальному ремонті автомобільних доріг; д) використання як заміника органо-мінеральних сумішей при ямковому ремонті автомобільних доріг; е) для укріплення узбіч.

Таким чином, на основі зібраних даних про імовірність реалізації елементарних подій у «дереві відмов» для логіко-ймовірнісної моделі відмов, отриманої в процесі аналізу, розраховано ймовірність виникнення екологічно-небезпечної ситуації або аварії, пов'язаною з місцями зберігання шлаків металургійних ПАТ «Металургійний комбінат Азовсталь» та ПАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» ПАТ «Металургійний комбінат Азовсталь» та ПАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча». Ризик небезпеки збереження шлаків у відвалах металургійних комбінатів

виникнення головної події становить 0,645. Основними факторами, що створюють екологічну небезпеку є наявний обсяг шлаків та шлакового пилу на території відвалу. Основними факторами екологічної небезпеки для довкілля визначено забруднення повітря ($P_3^1=0,144$), забруднення водного басейну ($P_3^2=0,158$) і забруднення ґрунтів ($P_3^3=0,122$). Використання металургійних шлаків, які є малотоксичними відходами, тобто відходи IV класу небезпеки, у дорожньому будівництві дозволить знизити рівень наявного екологічного ризику за умови надання металургійним шлакам споживчих властивостей.

4.2 Порівняльна оцінка конструкцій дорожнього одягу з використанням природних та альтернативних матеріалів

4.2.1. Формування конструкцій дорожнього одягу різних категорій доріг

Конструкція дорожнього одягу I технічної категорії буде характерна використанням в нижньому шарі основи альтернативних дорожньо-будівельних матеріалів (відходів металургійної промисловості – шлакового щебеню).

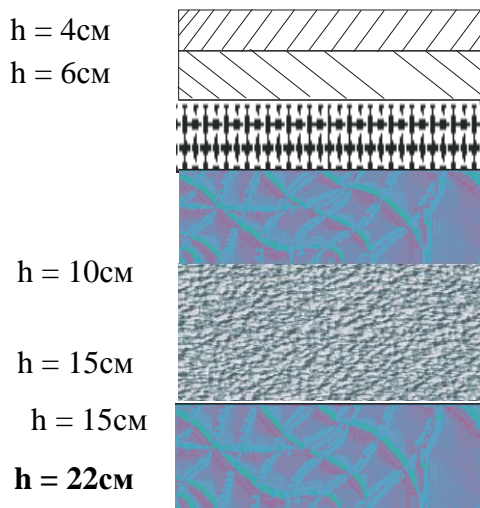


Рис. 4.2. Конструкція дорожнього одягу з використанням шлакового щебеню

Конструкція з використанням шлакового щебеню поєднує такі ознаки:

$$x_{1,1} \cup [(x_{2,1}; x_{3,1}) \wedge (x_{4,7}; x_{5,2}) \wedge (x_{6,2}; x_{7,1})] \cup [(x_{8,1}; x_{9,2}) \wedge (x_{10,5}; x_{11,3}) \wedge (x_{12,2}; x_{13,2})] \quad (4.1)$$

Аналогічно можуть бути сформовані типові КДО для II та III технічних категорій дороги.

Для II технічної категорії дороги з використанням в основі альтернативних матеріалів (*шлаковий щебінь*) має вигляд:

$$x_{1.1} \cup [(x_{4.7}; x_{5.2}) \wedge (x_{6.2}; x_{7.1})] \cup [(x_{8.1}; x_{9.2}) \wedge (x_{10.5}; x_{11.3}) \wedge (x_{12.2}; x_{13.2})] \quad (4.2)$$

Конструкція дорожнього одягу для III технічної категорії дороги з використанням в основі альтернативних матеріалів (*шлаковий щебінь*) має вигляд:

$$x_{1.3} \cup [(x_{2.7}; x_{3.3})] \cup [(x_{8.1}; x_{9.1}) \wedge (x_{12.2}; x_{13.2})] \quad (4.3)$$

Отже, систематизація конструкцій дорожнього одягу за функціональними елементами з використанням методу морфологічного аналізу дозволила сформувані типові КДО з використанням традиційних та альтернативних матеріалів для різних категорій доріг. Вибір конструкції дорожнього одягу доцільно проводити в конкретних умовах за критеріями функціональних, технологічних та еколого-економічних властивостей. Обсяг заміни природних матеріалів альтернативними залежить від конкретної дорожньої ситуації та потребує порівняльного розрахунку КДО для традиційних та альтернативних матеріалів.

Комплекс критеріїв оцінювання екологічної безпеки використання застосування металургійних шлаків у дорожньому будівництві сформували з врахуванням можливих обсягів заміни природних матеріалів металургійними шлаками для різних категорій доріг.

Для визначення ефективності заміни природних матеріалів металургійними шлаками при будівництві I – III технічної категорії дороги визначаємо потребу в об'ємах цих матеріалів для будівництва 1 км дороги (табл. 4.1, 4.2) та загальну вартість матеріалів, які необхідні для влаштування шару основи 1 км дороги [14].

Таблиця 4.1

Обсяги та вартість гранітного щебеню для будівництва 1 км дороги

Технічна категорія дороги	Параметри			Об'єм гранітного щебеню, м ³	Насипна щільність, т/м ³ (2,63-2,65)	Маса гранітного щебеню, т	Вартість гранітного щебеню, грн/т	Загальна вартість матеріалів, грн
	Кількість смуг руху	Ширина смуги руху, м	Товщина шару основи з гранітного щебеню (приймається розрахунково), м					
I	8	3,75	0,17	5100	2,64	13464	120	1615680
II	2	3,75	0,15	1125		2970	120	356400
III	2	3,5	0,12	840		2218	120	266160

Таблиця 4.2

Обсяги та вартість шлакового щебеню для будівництва 1 км дороги

Технічна категорія дороги	Параметри			Об'єм шлакового щебеню, м ³	Насипна щільність, т/м ³ (1,3-2,1)	Маса шлакового щебеню, т	Вартість шлакового щебеню, грн/т	Загальна вартість матеріалів, грн
	Кількість смуг руху	Ширина смуги руху, м	Товщина шару основи з шлакового щебеню (приймається розрахунково), м					
I	8	3,75	0,18...0,22	5400...6600	1,7	9180...11220	45	413100...504900
II	2	3,75	0,17...0,19	1275...1425		2168...2423	45	97560...109035
III	2	3,5	0,13...0,15	910...1050		1547...1785	45	69615...80325

Таким чином, порівняльний аналіз конструкцій дорожнього одягу показав, що при заміні природного щебеню шлаковим щебенем для будівництва 1 км можна отримати економію 1110780 грн для I категорії автомобільної дороги, 247362 грн для II категорії автомобільної дороги, 185835 грн для III категорії автомобільної дороги

4.2.2. Порівняння критеріїв для різних категорій доріг

Оцінка конструкцій дорожнього одягу з використанням природних та альтернативних матеріалів проводилась порівнянням значень комплексу критеріїв визначених в розділі 2, а також на базі визначених товщин шарів основи

конструкцій різних категорій доріг, які відповідають технічним вимогам щодо якості дорожнього одягу.

Одним з перших критеріїв, що були запропоновані для аналізу є функціональний критерій, а саме, критерій міцності (K_m). Головною елементом цього критерію виступає розрахунковий модуль пружності шару основи дорожнього одягу

Проведені дослідження дозволили сформувавши основний діапазон значень модулю пружності шару основи (350-450 МПа), а також визначити, що коефіцієнт міцності повинен бути майже однаковим як при використанні природного матеріалу так і при використанні металургійних шлаків в конструкції дорожнього одягу. Таким чином, за основу розрахунків було застосовано ф.ф. (2.14), (2.15) та (2.16):

$$h_m \cdot E_m \approx h_{ш} \cdot E_{ш} \quad (4.6)$$

Отримані результати коефіцієнту міцності представлено в таблиці 4.3.

Таким чином, можна відзначити що для всіх категорій доріг критерій міцності (K_m) повинен бути близьким 1 та відповідати визначеній вище умові. Порівняльний аналіз функціонального критерію для різних категорій доріг представлено на рис. 4.3. та наочно показує, що отримані значення не перевищують 1 і відповідають технічним вимогам. Відхилення критерію міцності для всіх категорій доріг спостерігаються в діапазоні 0 % – 3 %.

Наступний – технологічний критерій, який визначається критерієм трудомісткості (K_T). Даний критерій визначався за ф. (2.18). Результати розрахунку критерію трудомісткості представлено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Обсяги та вартість шлакового щебеню для будівництва 1 км дороги

Технічна категорія дороги	Параметри			Необхідний обсяг шлакового щебеню, $V_{ш}$, m^3	Модуль пружності, $E_{ш}$	Критерій відносної міцності, K_M	Критерій відносної трудоміцності, K_T	Критерій відносних витрат, K_B	Критерій використання альтернативних матеріалів, $K_{ек}$
	Кількість смуг руху, k , шт.	Ширина смуги руху, b , м	Товщина шару основи зі шлакового щебеню, $h_{ш}$, м						
I	8	3,75	0,18	5400	450	0,95	0,68	0,26	0,30
			0,22	6600	400	1,03	0,83	0,31	0,33
II	2	3,75	0,17	1200	400	0,91	0,69	0,26	0,28
			0,19	1425	400	1,01	0,82	0,31	0,30
III	2	3,5	0,13	910	400	1,08	0,70	0,26	0,25
			0,15	1050	350	1,09	0,81	0,30	0,28

Порівняльний аналіз за технологічним критерієм на 1 км дороги (рис. 4.4) показав, що для доріг I категорії трудовитрати зменшуються на 39,2 – 47,9 %, для доріг II категорії – 43,2 – 49,2 %, а для доріг III категорії – 35,6 – 44,2 %. Таким чином, спадний характер трудовитрат показує ефективність заміни природних матеріалів металургійними шлаками в конструкціях дорожнього одягу.

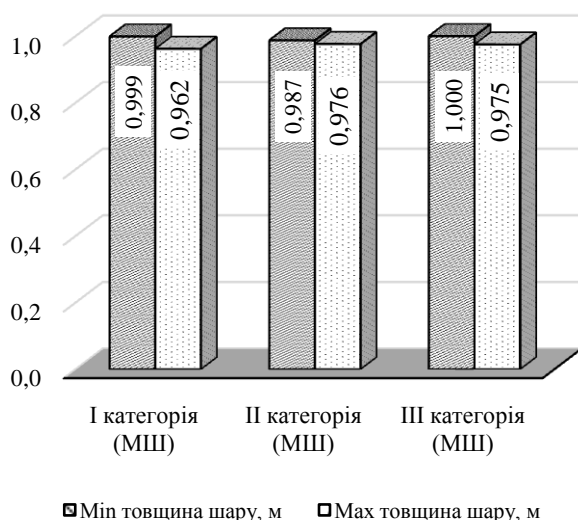


Рис. 4.3. Порівняльний аналіз функціонального критерію при заміні природних матеріалів металургійними шлаками різних категорій доріг

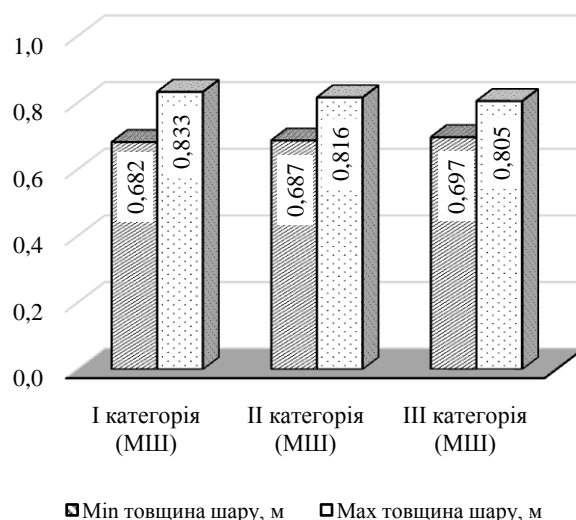


Рис. 4.4. Порівняльний аналіз критерію відносної трудоміцності при заміні природних матеріалів металургійними шлаками для різних категорій доріг

Економічний критерій характеризується критерієм економії вартості матеріалів (K_e). Даний критерій визначався за ф. (2.25). Результати розрахунку критерію трудомісткості представлено в зведеній таблиці 4.4.

Графічна інтерпретація показників критерію економії вартості матеріалів (рис. 4.5) показує, що спостерігається спадна динаміка, яка свідчить про суттєву економію витрат. Діапазон зменшення вартості на 1 км дороги становить для доріг I категорії 28,1 – 38,3 %, що є фактором збереження до 39 888,00 грн, для доріг II категорії - 26,2 – 34,0% (до 7 803,00 грн), для доріг III категорії 32,8 – 41,8 % (до 7 753,00 грн).

Таким чином, динаміка зміни наочно показує зменшення фінансових витрат щодо вартості матеріалів при використанні металургійних шлаків відповідно до природних матеріалів.

Останнім критерієм порівняння є екологічний критерій ($K_{ек}$), який визначається обсягами використання металургійних шлаків як заміника природних матеріалів у конструкції дорожнього одягу. Розрахунок даного критерію здійснювався для різних категорій доріг за ф.(2.20). Результати отриманих значень наведено в табл. 4.3.

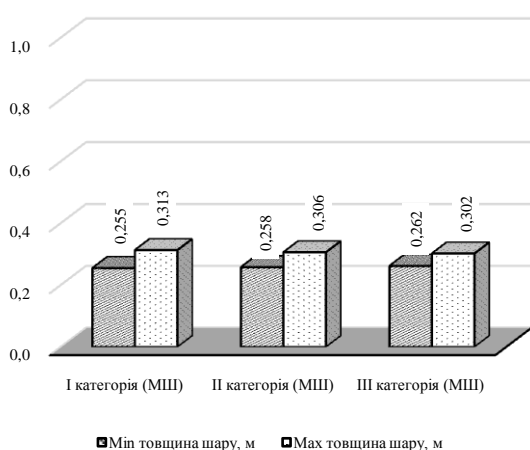


Рис. 4.5. Порівняльний аналіз економічного критерію при заміні природних матеріалів МШ для різних категорій доріг

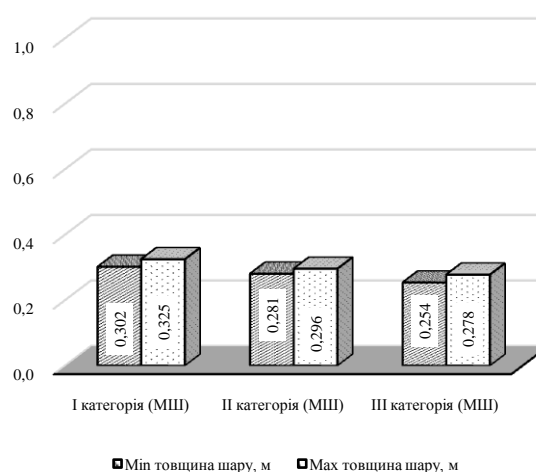


Рис. 4.6. Порівняльний аналіз екологічного критерію при заміні природних матеріалів металургійними шлаками для різних категорій доріг

Враховуючи, що в конструкції дорожнього одягу з використанням природного матеріалу відсутні металургійні шлаки, то при застосування дослідженої технології можна використати 84,7 – 89,9 % МШ в конструкції дорожнього одягу як заміника природних матеріалів для доріг I категорії, 78,3 – 83,8 % – для доріг II категорії та 68,2 – 79,2 % – для доріг III категорії (рис. 4.6).

Таким чином, проведений порівняльний аналіз показав, що за всіма визначеними критеріями заміна природного матеріалу металургійними шлаками в конструкції дорожнього одягу відповідає функціональним та технологічним вимогам та є екологічно безпечною, а також забезпечує суттєву економію фінансових витрат при будівництві доріг. Особливою перевагою даної технології є зменшення обсягів накопичення металургійних шлаків та збереження природних матеріалів.

4.2.3. Прогнозування рівня екологічної безпеки

Згідно з даними Державної агенції автомобільних доріг України [160] на 2018 рік планувалось побудувати і відремонтувати 3,3 тис.км. Тому потреба в ДБМ значно зросла. Оцінимо масу збереженого матеріалу у випадку 20 % її заміни на прикладі I категорії:

Проведемо прогнозування за різними сценаріями зміни екологічної ситуації на основі методу «логіки можливого розвитку»: 20 % зміни природних матеріалів МШ і 50 %.

На першому етапі оцінимо масу збереженого матеріалу у випадку 20 % та 50 % її заміни на прикладі I категорії (табл. 4.4).

На другому етапі оцінемо масу використання альтернативних ДБМ у випадку 20 % та 50 % їх заміни на прикладі I категорії (табл. 4.5).

Таблиця 4.4

Визначення ступеню збереження природних ДБМ у випадку 20 % та 50 % їх заміни.

Технічна категорія дороги	Товщина шару КДО, h, м	Ширина смуги руху, b, м	Кількість смуг руху, k, шт.	Довжина ділянки дороги, L, м	Об'єм природного щебеню, V, м ³	Насипна щільність, ρ, т/м ³	Протяжність доріг відповідної категорії (побудованих за рік), Ф _{кі} , км	Маса потрібних ДБМ, М _{потр.} , т	Прогнозований рівень заміни природних матеріалів,		Прогнозована маса збереженого ДБМ, М _{зб} , т	
									SZ ₂₀	SZ ₅₀	20 %	50 %
I	0,17	3,75	8	1000	5100	2,64	600	8078400	0,2	0,5	1615680	4039200
II	0,15	3,75	2	1000	1125		1500	4455000			891000	2227500
III	0,12	3,5	2	1000	840		900	1995840			399168	997920
Σ							3000	14529240			2905848	7264620

При середньому значенні обсягу утворення шлак з 1 тонни виплавленого чавуну утворюється 450–540 кг шлаку, якщо прийняти середнє значення 500 кг, то річний обсяг утворення шлаків складає 11,28 млн т.

Таблиця 4.5

Визначення ступеню використання альтернативних ДБМ у випадку 20 % та 50 % їх заміни.

Технічна категорія дороги	Товщина шару КДО, h, м	Ширина смуги руху, b, м	Кількість смуг руху, k, шт.	Довжина ділянки дороги, L, м	Об'єм шлакового щебеню, V, м ³	Насипна щільність, ρ, т/м ³	Протяжність доріг відповідної категорії (побудованих за рік), Ф, км	Маса використання шлаків металургійних, М _{ш. викор.} , т	Маса щорічно утворених ШМ, М _{ш. утвор.} , т	Ступінь використання шлаків металургійних		SV	
										20%	50%	SV ₂₀	SV ₅₀
I	0,22	3,75	8	1000	6600	1,7	600	6732000	112800	1346400	3366000	0,12	0,27
II	0,18	3,75	2	1000	1350		1500	3444250		688850	1722125	0,06	0,15
III	0,15	3,5	2	1000	1050		900	1606500		321300	803250	0,03	0,07
Σ							3000	11782750		2356550	5891375	0,21	0,52

В результаті розрахунків було визначено, що прогнозована маса збереженого ДБМ у випадку 20 % заміни природних матеріалів МШ в КДО для 3000 км доріг різної категорії складає 2 905 848 т, а для 50 % – 7 264 620 т. Необхідна маса МШ для заміни даного обсягу природних матеріалів становить 2 356 550 т та 5 891 375 т відповідно. Ступінь використання утворених МШ (рис. 4.7) у річному вимірі за I сценарієм 0,21, за II сценарієм – 0,52, що вказує на можливість утилізації річного обсягу утворення відходів шляхом використання їх як ДБМ на 21 і 52 % відповідно.

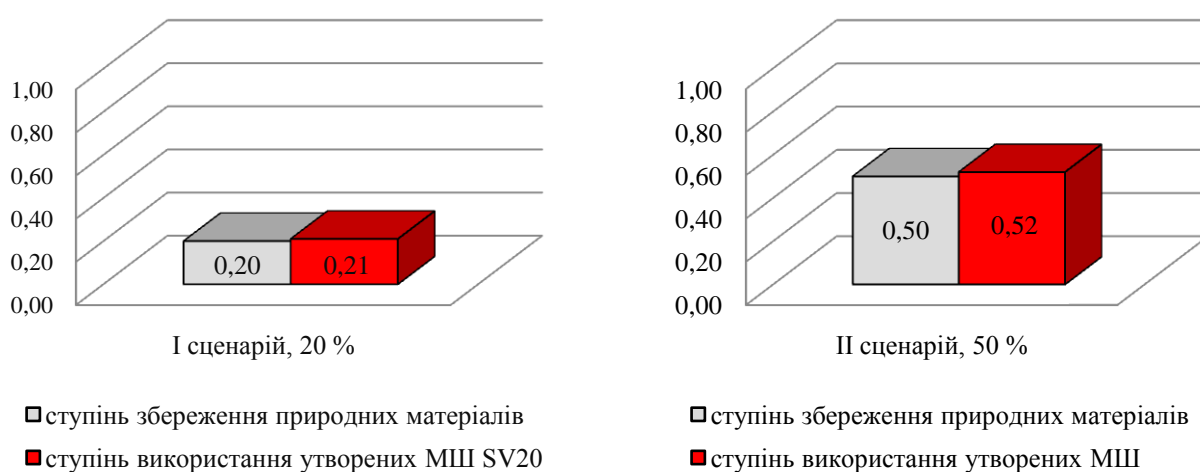


Рис. 4.7. Порівняльне оцінювання критеріїв рівня екологічної безпеки за різних сценаріїв використання МШ в дорожньому будівництві

Щодо ступеню використання альтернативних ДБМ у випадку заміни 20 % та 50 % з врахуванням середнього обсягу утворення шлаків з 1 тонни виплавленого чавуну (500 кг), маса щорічного загального використання МШ в дорожньому будівництві становить 2 356 550 т та 5 891 375 т відповідно.

4.3. Еколого-економічна оцінка використання металургійних шлаків як дорожньо-будівельних матеріалів

Еколого-економічна оцінка використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві проведена за попередженими екологічними збитками навколишнього середовища через зменшення впливу шлаків на довкілля і економії природних матеріалів за формулою (2.24).

Прогнозовані податкові зобов'язання за розміщення відходів (P_{pe}) розраховується за формулою (2.25).

Прогнозовані податкові зобов'язання з рентної плати за користування надрами P_{zn} для відповідного виду товарної продукції гірничого підприємства - видобутої корисної копалини (мінеральної сировини) в межах однієї ділянки надр за податковий (звітний) період обчислюються за такою формулою (2.26).

Розрахунки виконується з урахуванням 20 і 50 % заміни природних кам'яних матеріалів в КДО від потрібного річного обсягу металургійними шлаками (табл. 4.4 та 4.5). Зведений розрахунок еколого-економічної ефективності наведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6.

Зведений розрахунок еколого-економічної ефективності

Прогнозовані податкові зобов'язання за розміщення відходів, P_{pe} , грн		Прогнозовані податкові зобов'язання з рентної плати за користування надрами, P_{zn} , грн		Прогнозована еколого-економічна оцінка від використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві як ДБМ, E , грн	
$P_{pe\ 20}$	$P_{pe\ 50}$	$P_{zn\ 20}$	$P_{zn\ 50}$	E_{20}	E_{50}
31813425	79533563	203409360	508523400	235222785	588056963

Отже, прогнозована еколого-економічна оцінка використання металургійних шлаків в дорожньо-будівельній галузі підтвердила ефективність заміни ними природних кам'яних матеріалів.

Графічне зображення результатів еколого-економічної прогнозованої оцінки використання металургійних шлаків як заміника природних матеріалів в КДО наведено на рис. 4.8.

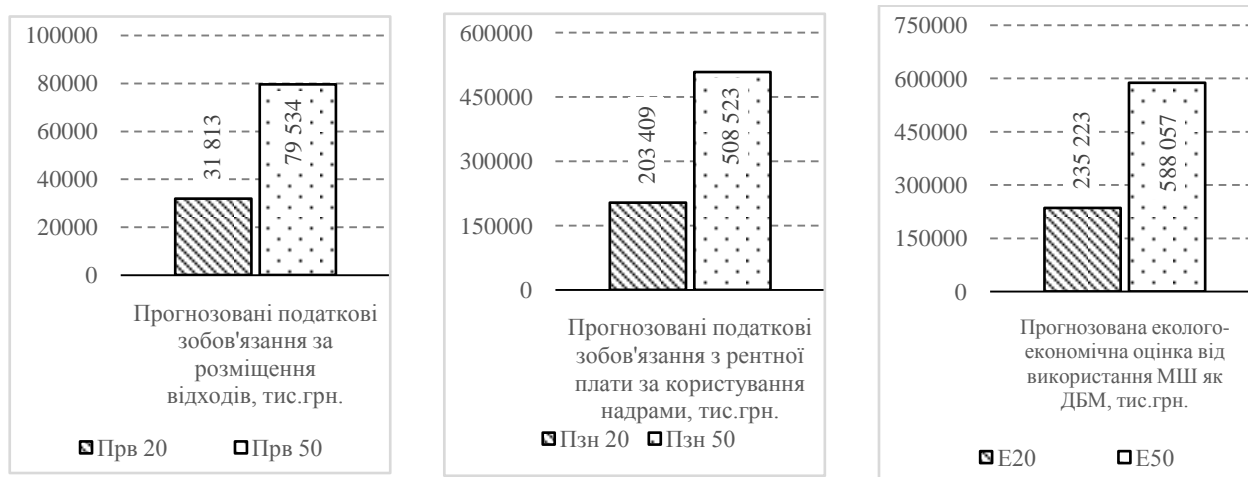


Рис. 4.8. Еколого-економічна прогнозована оцінка використання металургійних шлаків як заміника природних матеріалів в КДО

Економічний ефект при 20 та 50 % використання МШ становить: $E_{20}=235,22$ млн грн, $E_{50}=588,06$ млн грн.

Рівень екологічної безпеки металургійного підприємства за рахунок зниження рівня накопичення металургійних шлаків може бути підвищений на 25 – 30 %.

Висновки до розділу 4

Прогнозування показало, що зменшення обсягів МШ у відвалах призведе до поліпшення екологічного стану регіону. За другим сценарієм видно, що зниження вірогідності небезпеки при реалізації елементарних подій, а саме обсягів МШ у відвалах, на 50 % дозволить знизити ймовірність виникнення головної події, яка призведе до екологічних проблем. на 13,9 % відносно базового сценарію. Це також показує, що в загальному обсязі таких подій буде менше на 90 випадків із 1000.

Сформовано морфологічні структури дорожнього одягу для доріг різної категорії та визначено геометричні розміри елементів конструкції, що можуть бути реалізовані з використанням металургійних шлаків.

Проведено порівняльне оцінювання техніко-експлуатаційних властивостей сформованих типових морфологічних структур КДО з використанням МШ для трьох технічних категорій доріг. Показано, що при використанні МШ як ДБМ з рекомендованою товщиною шару основи дорожнього одягу критерій відносної міцності близький до одиниці, що свідчить про забезпечення вимоги еквівалентної міцності КДО з МШ. При цьому в загальній структурі КДО різних категорій доріг обсяги МШ становлять 25...33 %, що приводить до зменшення трудовитрат на будівництво на 18...32 % при відносному зменшенні вартості ДБМ в 1,3...1,5 рази.

Виконано прогнозування зміни рівня екологічної безпеки за умови 20 і 50 % заміни річної потреби природних матеріалів у дорожньому будівництві металургійними шлаками. Показано, що при цьому ступінь використання утворених МШ в річному вимірі становитиме 0,21 і 0,52, що вказує на можливість утилізації МШ шляхом використання їх як ДБМ на 21 і 52 % відповідно. Сумарний прогнозований еколого-економічний ефект використання МШ у дорожньому будівництві за попередженими екологічними збитками НС становитиме 235,22 млн грн і 588,06 млн грн відповідно.

Матеріали розділу представлені в роботах [4, 9, 18].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішувалося актуальне науково-технічне завдання підвищення рівня екологічної безпеки шляхом використання відходів металургійних виробництв як альтернативного матеріалу дорожнього будівництва за рахунок зменшення негативного впливу відходів металургійних виробництв на НС та збереження природних кам'яних матеріалів при забезпеченні заданих техніко-експлуатаційних характеристик КДО. Стосовно мети та завдань дослідження було досягнуто таке:

1. Металургійні відходи, що зберігаються у відвалах, є суттєвим чинником екологічної небезпеки. Тому їх утилізація шляхом застосування як альтернативних ДБМ дасть змогу суттєво зменшити техногенне навантаження на НС та обсяги використання природних кам'яних матеріалів у дорожньому будівництві. Підвищенню рівня екологічної безпеки в дорожньому будівництві шляхом використання МШ як альтернативних ДБМ при забезпеченні заданих міцнісних характеристик КДО присвячено дисертаційну роботу.

2. Розроблено методика оцінювання рівня екологічної безпеки в дорожньому будівництві під час заміни природних кам'яних матеріалів МШ, у межах якої:

– розроблено системну модель оцінювання екологічної безпеки використання металургійних відходів як заміника природного матеріалу в дорожньому будівництві, яка включає моделі підсистем поводження з відходами та будівництва доріг, описує основні процеси життєвого циклу перетворення металургійних шлаків в ланцюзі «відходи – сировина – матеріал – елемент конструкції», вхідні і вихідні параметри процесів та зворотні зв'язки, які дозволяють реалізувати усі фази життєвого циклу металургійного шлаку та визначити основні вимоги до нього як ДБМ;

– розроблено метод визначення можливих обсягів заміни природних матеріалів металургійними шлаками на основі формування морфологічних структур дорожнього одягу з використанням металургійних шлаків для доріг різних категорій із заданими техніко-експлуатаційними характеристиками;

– запропоновано комплекс критеріїв оцінювання функціональних, технологічних, економічних та екологічних властивостей КДО з урахуванням можливих обсягів заміни природних матеріалів МШ, а також критеріїв прогнозування рівня екологічної безпеки за різних сценаріїв використання МШ в дорожньому будівництві.

3. На підставі експериментальних досліджень окремих фаз життєвого циклу металургійних шлаків:

– побудовано «дерево подій» виникнення небезпечних ситуацій у відвалах металургійних комбінатів для подальшого оцінювання екологічного ризику;

– експериментально встановлено та теоретично обґрунтовано закономірності впливу хімічного складу шлаків металургійних комбінатів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат», ПАТ «ММК імені Ілліча», ПАТ «Запоріжсталь», ПАТ «Азовсталь» та ПАТ «ЄМЗ» на їх активність, яка характеризує міцнісні характеристики шлаків як матеріалу для дорожнього будівництва;

– за допомогою кореляційно-регресійного аналізу результатів експериментальних досліджень отримано регресійні залежності модулів пружності шлаків від їх активності, що є вихідними величинами для міцнісного розрахунку КДО і визначення необхідного значення товщини шару основи дорожнього одягу і, відповідно, значення обсягів можливої заміни природних кам'яних матеріалів металургійними шлаками.

4. Проведено порівняльне оцінювання техніко-експлуатаційних властивостей сформованих типових морфологічних структур КДО з використанням МШ для трьох технічних категорій доріг. Показано, що при використанні МШ як ДБМ з рекомендованою товщиною шару основи дорожнього одягу критерій відносної міцності близький до одиниці, що свідчить про забезпечення вимоги еквівалентної міцності КДО з МШ. При цьому в загальній структурі КДО різних категорій доріг обсяги МШ становлять 25...33 %, що приводить до зменшення трудовитрат на будівництво на 18...32 % при відносному зменшенні вартості ДБМ в 1,3...1,5 рази.

5. Виконано прогнозування зміни рівня екологічної безпеки за умови 20 і 50 % заміни річної потреби природних матеріалів у дорожньому будівництві металургійними шлаками. Показано, що при цьому ступінь використання утворених МШ в річному вимірі становитиме 0,21 і 0,52, що вказує на можливість утилізації МШ шляхом використання їх як ДБМ на 21 і 52 % відповідно. Сумарний прогнозований еколого-економічний ефект використання МШ у дорожньому будівництві за попередженими екологічними збитками НС становитиме 235,22 млн грн і 588,06 млн грн відповідно.

6. Результати дисертаційної роботи використано під час розроблення: шести галузевих нормативних документів, чотирьох технічних умов та галузевих рекомендацій, які регламентують вимоги до шлаків як дорожньо-будівельного матеріалу, вимоги до КДО на основі шлаку та екологічні вимоги до автомобільних доріг і взято до використання в Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна» та Управлінні з питань екології, енергоменеджменту та охорони праці Маріупольської міської ради.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Крюковська Л. І. Розробка моделі життєвого циклу металургійного шлаку як дорожньо-будівельного матеріалу / Л. І. Крюковська // Вісник Національного транспортного університету – К. : НТУ. – 2009. – Вип.18.– С. 206 – 211.
2. Крюковська Л. І. Розробка системи управління проектами використання металургійних відходів / Л. І. Крюковська, О. П. Кобзиста, В. О. Хрутьба // «Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdow samochodowych i maszyn roboczych samojedznych – Zarzadzanie i marketing w motoryzacji – SAKON’2009». Politechnika Rzeszowska. Tom XX. (23–26 wrzesnia 2009 r.) Rzeszow. 2009. – С. 271–274.
3. Системна модель екологічної безпеки застосування відходів як альтернативного дорожньо-будівельного матеріалу / Л. І. Крюковська // Проблеми хімотології. Теорія та практика раціонального використання традиційних і альтернативних паливно-мастильних матеріалів: Монографія / С. Бойченко, К. Лейда, В. Матейчик, П. Топільницький / за заг. ред. проф. С. Бойченка. – К. : Центр учбової літератури, 2017. – 452 с. – С. 407–407.
4. Крюковська Л. І. До оцінювання властивостей дорожнього одягу з використанням у конструкції альтернативних матеріалів / Л. І. Крюковська // Вісник Національного транспортного університету. – 2010. – Вип. 20. – С. 233–237.
5. Крюковська Л. І. Використання доменних і сталеплавильних шлаків у дорожньому будівництві як вирішення проблеми утилізації відходів металургійних комбінатів / Л. І. Крюковська, В. Ф. Скорченко // Труды международной конференции «Отходы производства и потребления, медико-экологические и экономические аспекты». – 17–21 мая 2005 г. – г. Ялта. – К. : «Знання» України, 2005. – С. 211–212.
6. Крюковська Л. І. Розробка алгоритму управління проектом використання відходів металургійного виробництва / Л. І. Крюковська, В. О. Хрутьба // Управління проектами: стан та перспективи: Матеріали V Міжнародної

- науково-практичної конференції. (16–18 вересня 2009 р.) – Миколаїв: НУК, 2009. – С. 69–70.
7. Крюковська Л. І. Визначення показників екологічної безпеки проектів використання відходів як дорожньо-будівельного матеріалу / Л. І. Крюковська, В. О. Хрутьба, Г. О. Вайганг // Науковий журнал «Технічний аудит та резерви виробництва» – 2015. – № 4. – С. 64–71.
8. Крюковська Л. І. Використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві як вирішення проблеми щодо їх утилізації / Л. І. Крюковська, В. О. Хрутьба // Регіональні екологічні проблеми. Матеріали II Міжнародної наукової конференції студентів, магістрантів і аспірантів. – Одеса: ОДЕКУ, 2009. – С. 170.
9. Крюковська Л. І. Систематизація конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу з використанням альтернативних матеріалів / Л. І. Крюковська, В. О. Хрутьба // Вісник НТУ. – 2012. – Вип. 25. – С. 400–404.
10. Крюковська Л. І. Підвищення рівня екологічної безпеки в проектах використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві / Л. І. Крюковська // Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства» (29 – 30 лист. 2012 р.). // Львів: ЛДУБЖД, 2012. – С. 367–368.
11. Крюковська Л. І. Вибір та моделювання критеріїв оцінювання рівня екологічної безпеки на окремих етапах життєвого циклу металургійних шлаків / Л. І. Крюковська // LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету. Тези доповідей. – К. : НТУ, 2014. – С. 88.
12. Крюковська Л. І. Математичне моделювання властивостей металургійних шлаків як дорожньо-будівельного матеріалу / Л. І. Крюковська // Науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво» – 2017. – Вип. 100. – С. 97–104.

13. Крюковська Л. І. Методика еколого-економічного оцінювання дорожнього одягу нежорсткого типу при використанні доменних шлаків у шарах основи / Л. І. Крюковська // LXIX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету. Тези доповідей. – К. : НТУ, 2013. – С. 87.
14. Крюковська Л. І. До еколого-економічної оцінки заміни природних матеріалів металургійними шлаками при будівництві доріг / Крюковська Л.І. // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2013. – Вип. 27. – С. 359–364.
15. Крюковська Л. І. Застосування металургійних шлаків при будівництві автомобільних доріг як заміників традиційних дорожньо-будівельних кам'яних матеріалів / Л.І. Крюковська // Зб.: 63-наукова конференція професорсько-викладацького складу і студентів НТУ. Тези доповідей.– К. : НТУ. – 2007. С. 70.
16. Крюковська Л. І. Перспективи підвищення екологічної безпеки дорожнього будівництва в сучасних умовах / Л. І. Крюковська, В. О. Хрутьба // Екологічна безпека держави: тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів – м. Київ, 15–17 квітня 2014р., НАУ / ред. О. І. Запорожець та ін. – К. : НАУ, 2014. – С. 14.
17. Крюковська Л. І. Формування вимог екологічної безпеки при використанні металургійних шлаків у дорожньому будівництві / Л. І. Крюковська // Екологічна безпека держави: тези доповідей XI Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів. – м. Київ, 20 квітня 2017 р., НАУ / ред. О. І. Запорожець та ін. – К. : НАУ, 2017. – С. 61.
18. Крюковська Л. І. Розробка методики оцінювання рівня екологічної безпеки при використанні металургійних шлаків у дорожньому будівництві / Л. І. Крюковська // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції – «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи». – Львів : ЛДУБЖД, 2018. – С. 49–50.

19. Постанова КМУ від 16 вересня 2015 р. № 712 «Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення» [Електронний ресурс] // Кабінет Міністрів України. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/712-2015-п>.
20. Технічний став автомобільних доріг загального користування [Електронний ресурс] // Міністерство інфраструктури України. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://mtu.gov.ua/content/tehnichniy-stand-avtomobilnih-dorig-avtomobilnih-dorig-zagalnogo-vikoristannya.html>
21. Транспортна стратегія України на період до 2030 року. Розпорядження КМУ N 430-р. Міністерство інфраструктури України. [Чинний від 30 травня 2018]. Київ, 2018. (Інформація та документація).
22. ГБН В.2.3-218-007:2012 Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Проектування. Київ. Державне Агентство автомобільних доріг України. (Укравтодор). 2012. – 46 с.
23. ОДН 218.5.016.2002. Показатели и нормы экологической безопасности автомобильной дороги. Министерство транспорта Российской Федерации [введенном в действие от 25.12.2002 г.] Распоряжение N ИС-1147-р.
24. Юрченко О. В. Формування організаційно-економічного механізму забезпечення екологічної безпеки дорожнього господарства: дис. ... канд. екон. наук, спец.: 08.00.06 - економіка природокористування та охорони навколишнього середовища / Юрченко Оксана Вікторівна. – Суми : Сумський нац. аграр. ун-т, 2017. – 267 с.
25. ГБН В.2.3-218-540:2012 Охорона довкілля при будівництві, ремонту та експлуатаційному утриманні автомобільних доріг. Київ. Державне Агентство автомобільних доріг України. (Укравтодор). 2012. – 35 с.
26. Бабков В. Ф. Ландшафтне проектування автомобільних доріг / В. Ф. Бабков // – М. : Транспорт, 1980. – 189 с.
27. Бойчук В. С. Довідник дорожника.-К. : Урожай, 2002. – 560 с.
28. Білятинський О. А. Проектування капітального ремонту і реконструкції автомобільних доріг / О. А. Білятинський, В. П. Старовойда // – К. :Вища

- освіта, 2003. – 343 с.
29. Гончаренко Ф. П. Експлуатаційне утримання та ремонт автомобільних доріг за складних погодних та екологічних умов /Ф.П. Гончаренко, Є. Д. Прусенко, В. Ф. Скорченко // – К. : Урожай, 1999. – 264 с.
 30. Евгенъев И. Е. Автомобильные дороги в окружающей среде / И. Е. Евгенъев, Б. Б. Каримов // – М. :ООО «Трансдор-наука», 1997. – 285 с.
 31. Трофименко Ю. В., Евгенъев Г. И. Экология : Транспортное сооружение и окружающая среда : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений /Под ред. Ю. В.Трофименко // - М. : Издательский центр «Академия», 2006. – 400 с.
 32. Хомяк Я. В. , Скорченко В. Ф. Автомобильные дороги и окружающая среда.— Киев : Изд-во при Киев, ун-те И О «Вища школа», 1983. – 160 с.
 33. Г. Р. Фоменко, Н. О. Нечитайло Підвищення рівня екологічної безпеки при проектуванні і реконструкції автомобільних доріг. Вісник ХНАДУ, вип. 52, 2011. – с.151–155.
 34. Внукова Н. В. Науково-методологічні основи екологічної безпеки комплексу автомобіль - дорога - середовище [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 21.06.01 / Внукова Н. В.// ; Н.-д. установа «Укр. НДІ екол. проблем», Харків. нац. ун-т ім. В. Н. Каразіна. - Харків, 2015. - 36 с.
 35. Экологизация автомобильно-дорожного комплекса и экологическое право [Текст] : монография / [Н. В. Внукова и др.] ; Харьк. нац. автомоб.-дорож. ун-т, Харьк. нац. ун-т им. В. Н. Каразина. - Харьков : Бровин А. В., 2015. - 263 с.
 36. Внукова Н. В. Вплив автомобільних доріг на екобезпеку комплексу «автомобіль-дорога-середовище» // Восточно-Европейский журнал передовых технологий 5/3 (53) 2011. – С. 43–46.
 37. Державна служба статистики. Офіційний сайт. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/http://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 02.11.2017)
 38. World Steel Association веб-сайт.URL: <https://www.worldsteel.org/>
 39. Кулицький С. Українська чорна металургія: стан, проблеми, перспективи [Електронний ресурс] / С. Кулицький // Україна: події, факти, коментарі. –

2016. – № 5. – С. 44–65. – Режим доступу: <http://nbuviar.gov.ua/images/ukraine/2016/ukr5.pdf>.
40. Об'єднання підприємств «Укрметалургпром» <http://www.ukrmetprom.org/>.
41. Губіна В. Г. Проблема залізовмісних відходів гірничо-металургійного комплексу України — системний підхід / В. Г. Губіна, Б. О. Горлицький // Екологічний вісник. – 2008. – № 3. – С. 26-28.
42. Носков В. А., Макогон В. Ф. Состояние и перспективы утилизации железосодержащих отходов в металлургическом производстве Украины // Металлургическая и горнорудная промышленность. —2001. — № 4. — С. 98.
43. Каненко Г. М., Злобин А. Г. и др. Использование отходов металлургических предприятий в строительной индустрии // Экология и промышленность. — Харьков: — 2005. — № 1 (2). — С. 41.
44. Бируля А. К. Применение доменных шлаков в дорожном строительстве. Доменные шлаки в строительстве. (Труды совещания по комплексному использованию доменных шлаков в строительстве) Госстройиздат УССР, Киев: 1956. – 452 с.
45. 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.
46. Сергеев А. М., Дибров Г. Д., Шмитько Е. И., Ковалев С. К. Применение местных материалов в строительстве. Киев : «Будівельник», 1975, – 184 с.
47. Спільник Н. В. Негативний вплив шлаків на навколишнє середовище http://www.rusnauka.com/9_SNP_2015/Ecologia/2_190025.doc.htm.
48. Макарова В. М. Вплив шлакових відвалів на стан навколишнього природного середовища Дніпропетровського району / веб-сайт. URL: http://www.rusnauka.com/17_AVSN_2012/Ecologia.
49. Баранникова А., Парамонова І. Екологічні проблеми промислового комплексу в Україні/ XVII Міжнародна науково-практична інтернет-конференція

- «Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах СНД» (29 – 30 грудня 2013 р. Переяслав-Хмельницький). веб-сайт. URL: <http://oldconf.neasmo.org.ua/node/2894>.
50. Дніпроспецсталь <http://www.dss.com.ua/rus/index.wbp>.
51. ПАТ Запорізький завод феросплавів <http://www.zfz.com.ua>.
52. Данилова Т. Г. Підвищення екологічної безпеки при поводженні з відходами металургійного виробництва. – автореф. Дис. на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – «Екологічна безпека». – Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, 2004 – 21 с.
53. Вторичное использование металлургических шлаков. Хоботова Е. Б., Уханёва М. И., Грайворонская И. В., Калмыкова Ю. С. <http://gisap.eu/ru/node/682>.
54. 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. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2007. – 152 с.
55. Богушевський В. С., Єгоров К. В. [Єгоров К. В. Аналіз відходів металургійного виробництва Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра.2010, с.193-196
56. Челядін Л. І., Новосад П. В., Челядів В. Л., Романко П. Д. Відходи та вплив утилізації золи і шлаків на екологічну безпеку Вопросы химии и химической технологии, 2009, №4, с.194-197.
57. Тиришкіна С. М. Мінералогія сталеплавильних шлаків металургійного комбінату “АрселорМіттал Кривий Ріг”. – автореф. Дис. на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 04.00.20 – мінералогія, кристалографія. Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, 2010. – 21 с.
58. Шпрыгин В. И. Самофинансирование и ресурсосбережение в промышленности [Текст] / В. И. Шпрыгин. – М. : Экономика, 1989. – 238 с.

59. Звіт про НДР: «Розробка технологій поводження з відходами в транспортно - дорожньому комплексі» Міністерство освіти і науки України, номер держреєстрації 0107U009610, К: 2010, ст. 144.
60. Пособие по охране окружающей среды при производстве дорожно-строительных материалов. М.: 2002. – 76 с.
61. Каталог місцевих матеріалів та відходів виробництва для дорожнього будівництва ДП «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ») 2011 р.
62. Крюковська Л. І., Скорченко В. Ф. Методи дослідження технічних характеристик шлаків для дорожнього будівництва. Праці міжнародної науково-технічної конференції «Екологія промислових підприємств. Проблема утилізації відходів» (13-17 вересня 2004 р., м. Ялта) / К.: Знання, 2004.– 116 с.
63. ДСТУ Б В.2.7-149:2008 Будівельні матеріали. Щебінь і щебенево-піщані суміші із шлаків металургійних для дорожніх робіт. Технічні умови.
64. Дорожные одежды с использованием шлаков/ А. Я. Тулаев, М. В. Королев, В. С. Исаев, В. М. Юмашев. Под ред. А. Я. Тулаев – М., Транспорт, 1986. 221 с.
65. Проблемы развития безотходных производств / Б. Н. Ласкорин, [и др.] – М.: Стройиздат, 1981. – 207 с., 1Технология вяжущих веществ / В.Н. Юнг, [и др.] – М.: Государственное изд-во лит-ры по строительным материалам, 1952. – 560 с.
66. 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.
67. Проблемы развития безотходных производств / Б. Н. Ласкорин, [и др.] – М.: Стройиздат, 1981. – 207 с.
68. Лесовик В. С. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих / В. С. Лесовик, М. С. Агеева, А. В. Иванов. // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2011. – № 3. – С. 29–32.

69. Рекус И. Г. Основы экологии и рационального природопользования / И. Г. Рекус, О. С. Шорина. – М.: Изд-во МГУП, 2001. – 146 с.
70. Евтушенко Е.И. Комплексная переработка металлосодержащих отходов. – Белгород: БелГТАСМ, 1996. – 60 с., Проблемы развития безотходных производств / Б.Н. Ласкорин, [и др.] – М.: Стройиздат, 1981. – 207 с.
71. Лесовик В. С. Композиционные вяжущие с использованием высокомагнезиальных отходов Ковдорского месторождения / В. С. Лесовик, М. С. Шейченко, Н. И. Алфимова // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2011. – № 1. – С. 10–14.
72. Техногенные продукты в производстве сухих строительных смесей / В. С. Лесовик, Л. Х. Загороднюк, Л. Д. Шахова. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2011. – 196 с.
73. Переработка шлаков и безотходная технология в металлургии / М.И. Панфилов, [и др.] – М.: Металлургия, 1987. – 238 с.
74. Рояк С. М. Структура доменных шлаков и их активность / С. М. Рояк, А. В. Пьячев, Я. Ш. Школьник // Цемент. 1978. – № 8. – С. 4–5.
75. Каталог отходов промышленного производства, рекомендуемых к использованию в качестве заполнителей бетонов, применяемых в строительной индустрии и при строительстве объектов Госагропрома СССР: В 2 ч. – М.: ЦНИИЭПсельстрой, 1988. – Ч. 2. – 232 с.
76. Кірнос В. М., Кравчуновська Т. С., Радіонов М. О. Сучасний стан, досвід і проблеми використання відходів промисловості // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин: Зб. наук. пр. Випуск 10. – К.: Київський національний технічний університет будівництва і архітектури, 2002. – С. 15-18.
77. Сергеев А. М. Научные основы массового использования в строительстве отходов энергетической промышленности / Новые материалы и технологии в промышленном и дорожном строительстве: Учеб. пособие. – К.: Вища школа, 1990. – С. 167-215.
78. Одрінська В. О. Перспективи та шляхи вирішення проблем утилізації

- промислових відходів для виробництва будівельних матеріалів // Строительные материалы и изделия. – 2001. – № 3. – С. 9-10.
79. Радовенчик В. М. Тверді відходи: збір, переробка, складування Навчальний посібник // В. М. Радовенчик, М. Д. Гомеля. – К.: Кондор, 2010. – 552 с.
80. Diaz L. F. and C. G. Golueke, «Solid Waste Management in Developing Countries», BioCycle, 26:46-52, September 1985.
81. Naik T. R., Ramme B. W. High early strength fly ash concrete for precast/prestressed products // PCI journal. – 1990. – Vol. 35, no. 6. – P. 72-78.
82. Scharff C. and G. Vogel, «A Comparison of Collection Systems in European Cities», Waste Management & Research, 12(5), October 1994.
83. Handbook of Solid Waste Management George Tchobanoglous, Frank Kreith, McGraw Hill Professional, 2002 – 950 p.
84. Доменные шлаки могут заменить дорогой цемент. Приазовский рабочий №153 (20297) від 30.12.2016 <http://pr.ua/news.php?new=27431>
85. Кравчуновська Т. С. Системний підхід до обґрунтування доцільності використання техногенних відходів у будівництві : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.22 / Т. С. Кравчуновська; Придніпр. держ. акад. буд-ва та архіт. - Дніпропетровськ :, 2004. - 21 с.
86. Иваница И. В. Исследование работы щебеночных слоёв нежестких дорожных одежд. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – К.: КАДИ, 1972.- 22 с.
87. Кини Р. Размещение энергетических объектов: выбор решений. Пер. с англ. – М.: Энергоиздат, 1983. – 320 с.
88. Дорожные одежды из местных материалов. Под. ред. А. К. Славущкого. Изд. 2-е, перераб. и доп. М. «Транспорт», 1977. 264 с.
89. Арестов С. В. Основные направления современных экономических механизмов природопользования в Украине / Арестов С. В., Галушкина Т. П. // Экономические инновации. Вып. 2. Экономико-экологические проблемы природоохранной деятельности в Причерноморском регионе Украины: Сборник научных работ. — Одесса: Институт проблем рынка и экономико-

- екологічних досліджень НАН України, 1998. — С. 23-30.
90. Мясникова С.А. Композиційні матеріали для поверхнової обробки покриття автомобільних доріг на основі металургічних шлаків з модифікованими бітумами і бітумполімерними зв'язувачами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05. - М, 2009.
91. Ігнатенко М. І. Використання техногенної сировини у виробництві будівельних матеріалів для забезпечення екологічної безпеки [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01 / Ігнатенко Марина Іванівна ; Держ. вищ. навч. закл. «Придніпр. держ. акад. буд-ва та архіт.». - Д., 2012. - 20 с.
92. ТОВ «НВП Укрметпром» <http://www.ukrmetprom.dp.ua/stati/ ispolzovanie-shlakovogo-shchebnya-v-ustrojstve-proselochnykh-dorog>
93. Крюковська Л. І., Скорченко В. Ф. Технічні та екологічні вимоги до сталеплавильних шлаків комбінату «Криворіжсталь», що використовуються в дорожньому будівництві. Праці міжнародної конференції «Отходы производства и потребления, медико-экологические и экономические аспекты» (17-21 мая 2005 г. г. Ялта) / Ред. кол.: - К.: Т-во «Знання» України, 2005.
94. Область применения шлаков Область применения шлаков <http://stroy-spravka.ru/article/oblast-primeneniya-shlakov>.
95. Крюковська Л. І., Скорченко В. Ф. Застосування металургічних шлаків при будівництві автомобільних доріг як заміників традиційних дорожньо-будівельних кам'яних матеріалів. Тези доповідей. – К: НТУ, 2007. - с.124.
96. Керівництво щодо здійснення інтегральної оцінки стану довкілля на регіональному рівні. – Офіц. вид. К. : М-во охорони навколишнього природного середовища України, 2008. – 54 с. (Нормативний документ Мінохоронприроди України).
97. Данилишин Б. М., Дорогунцов С. І., Міщенко В. С., Коваль Я. В., Новоторов О. С., Паламарчук М. М.. Природно-ресурсний потенціал сталого розвитку України. – Київ, РВПС України. 1999. – 716 с.

98. Стратегія екологічної безпеки (регіональний контекст) / Під ред. М. І. Долішного, В. С. Кравціва. – Львів, 1999. – 243 с.
99. Б. Буркинський Ресурсно-екологіческая безопасность: теоретические и прикладные аспекты/ Б. В. Буркинський, В. Н. Степанов, Л. Л. Круглякова и др. – Одесса: ИПРЭЭИ НАН Украины, 1998. – 180 с.
100. Синякевич І. Концепція щодо формування системи інструментів національної екологічної політики// Экономика Украины, 2002.- №7.- с.70-77.
101. Пилиев С., Кадохов В. Совершенствование экономических механизмов природопользования // Экономист, 2002.-;4.-с.57-63.
102. Александров И. А., Н. С. Красовская, А. В. Половян Институциональные основы охраны окружающей среды // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія Економіка.–2004.- Вип. 75. – 207-217с. <http://www.ea.donntu.org:8080/handle/123456789/22453>
103. Integrated Risk Information System (IRIS) : [Електронний ре-сурс] / U. S. Environmental Protection Agency (EPA). – Режим доступу: <http://www.epa.gov/iris>.
104. Toxicity Criteria Database : [Електронний ресурс] / California Environmental Protection Agency (EPA). – Режим доступу : <http://www.oehha.org/risk/chemicalDB/index.asp>.
105. Киселев А. Ф. Оценка риска здоровью / А. Ф. Киселев, К. Б. Фридман. - СПб. : Питер, 1997. – 100 с.
106. Качинський А.М. Системний аналіз визначення пріоритетів в екологічній безпеці України / А. М. Качинський. – Київ, 1995. – 46 с. – (Препринт / Національний інститут стратегічних досліджень ; № 42)
107. Коваленко Г. Д. Екологічний ризик погіршення стану навколишнього природного середовища України при збереженні існуючих тенденцій антропогенного навантаження / Г.Д. Коваленко, Г.В. Півень, О.В. Рибалова // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення : V міжнар. наук.-практ. конф., 7-10 жовт, 2009 р. : зб. наук. ст. – Х.: Райдер, 2009. – С. 78 – 85.
108. Киселев А.В., Саватеева Л.А. Методические рекомендации по оценке риска

- здоровью населения от загрязнения атмосферного воздуха. – С.-П.: Машиностроение, 1995. – 104 с.
109. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки. Затв. наказом Міністерства та соціальної політики України 04.12.2002 №637.
110. Хоружая Т. А. Оценка экологической опасности. / Т. А. Хоружая - М.: «Книга сервис», 2002. - 208 с.
111. Обиход Г. О., Омеляненко Т. Л. Методичні підходи щодо оцінки рівня екологічної небезпеки регіонів України Ефективна економіка № 10, 2012 <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1429>.
112. Мальований М. С., Шмандій В. М., Харламова О. В. і ін. Аналіз та систематизація існуючих методів оцінювання ступеня екологічної небезпеки // Екологічна безпека. –2013. – № 1(15). – С. 37–44.
113. Разработка методики оценки уровня экологической безопасности хозяйственной деятельности Козловцева Л. М., Козловцев О. А. Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. №1 (12), 2008 - с.18 <http://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-metodiki-otsenki-urovnya-ekologicheskoy-bezopasnosti-hozyaystvennoy-deyatelnosti>.
114. Зменшення рівня екологічної небезпеки від пилових викидів зернових елеваторів . Екологічна безпека № 1/2014 (17) В. М. Шмандій, В. В. Климець, В. С. Бахарев с.103-108.
115. Оцінка рівня екологічної безпеки технологічних процесів очищення металевих поверхонь деталей Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 1/2016 (96) Є. О. Бовсуновський с.103-108.
116. Kotsiuba I. Computational dynamics of municipal wastes generation in Zhytomyr city / I. Kotsiuba, S. Lyko, V. Lukianova, Y. Anpilova// Екологічна безпека та природокористування: збірник наукових праць, 2018. – № 1 (25). – С. 33–44.
117. Бахарев В. С. Екологічна безпека регіону в умовах техногенного пилового забруднення атмосферного повітря. – Дисертація на здобуття наукового

- ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 21.06.01 – екологічна безпека. Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2006.- 20 с.
118. Данилова Т. Г. Підвищення екологічної безпеки при поводженні з відходами металургійного виробництва. – Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – «Екологічна безпека». – Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, 2004.- 12с.
119. Луньова О. В. Визначення параметрів безпечної утилізації твердих побутових відходів – Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – Екологічна безпека. Донецький національний університет, Донецьк, 2010.- 21 с.
120. Старостіна В. Ю., Уланова О. В. Использование методов оценки воздействия на окружающую среду при выборе перспективного способа обращения с отходами производства и потребления // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5.; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10193>.
121. Стандарт Укравтодору СОУ 45.2-00018112-002:2006 Захист довкілля Оцінювання екологічної придатності місцевих дорожньо-будівельних матеріалів для будівництва та ремонту автомобільних доріг. 21 с.
122. М 218-02071168-416-2005. Методика виявлення, оцінки та ранжування потенційних екологічно небезпечних місць автомобільної дороги. – К. : Укравтодор, 2005. – 35 с.
123. Підвищення екологічної безпеки при проектуванні реконструкції автомобільних доріг Г. Р. Фоменко, Н. О. Нечитайло, аспірант, ХНАДУ Вестник ХНАДУ, вып. 52, 2011 с.151-155.
124. Крюковська Л. І., Екологічні аспекти проектів використання відходів металургійної промисловості для дорожнього будівництва / Л. І. Крюковська, Н. В. Марценюк // Збірка тез доповідей LXV науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету (13-15.05.09 р., м. Київ) / К.: НТУ, 2009. – С. 81.

125. Крюковська Л. І. Системний підхід управління проекту використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві як вторинної сировини / Л. І. Крюковська, В. О. Хрутьба // Матеріали конференції: «Ресурсо- та енергозбереження на підприємствах гірничо-металургійного та хімічного комплексу України», 07-11 жовтня 2008 р., м. Партеніт (Крим) / Ред. Кол. Ноговіцин О.В. та ін. – К.: Т-во «Знання» України, 2008. – 110 с. С. 38-39.
126. Крюковська Л. І. Аналіз економічної ефективності проектів використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві / Л. І. Крюковська, В. О. Хрутьба // Вчені записки: Зб. Наукових праць, ІЕП «КРОК». – 2009. – С. 229-234.
127. Крюковська Л. І. Визначення показників екологічної безпеки конструкцій дорожнього одягу з використанням природних матеріалів та металургійних шлаків / Л. І. Крюковська // LXXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету. Тези доповідей – К.: НТУ, 2016. – С.91.
128. Крюковська Л. І. Оцінювання техніко-експлуатаційних показників дорожніх одягів з використанням альтернативних дорожньо-будівельних матеріалів/ Л. І. Крюковська // Тези доповідей LXVII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2011. – С.81.
129. Крюковська Л. І. Формування інтегрального критерію оцінки екологічної безпеки конструкцій дорожнього одягу з використанням металургійних шлаків / Л. І. Крюковська // Екологічна безпека держави: тези доповідей ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів. м. Київ, 16 квітня 2015 р., Національний авіаційний університет / редкол. О. І. Запорожець та ін. – К.: НАУ, 2015. –С. 19.
130. Козлов В. Н. Системный анализ и принятие решений. / В. Н. Козлов // СПб.:Изд-во Политехнического университета, 2009.– 223 с.
131. Гавриленко С. В. Удосконалення проектування нежорстких дорожніх одягів,

- оптимальних для заданих умов: дис... канд. техн. наук: 05.13.22 / Національний транспортний ун-т. - К., 2004.- 162 с.
132. Проник Ю. Д. Екологічні аспекти оцінки стану довкілля в проектах будівництва і експлуатації доріг: дис... канд. техн. наук: 05.13.22 / Національний транспортний ун-т. - К., 2004- 224 с.
133. Бабенко О. П. Моделі та методи формування та планування реалізації портфеля проектів розвитку автодоріг. – Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.22 – управління проектами та програмами. – Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, 2007- 135 с.
134. Франчук І. І. Методи, моделі та стратегії управління в проектах будівництва і експлуатації автомобільних доріг: дис... канд. техн. наук: 05.13.22 / Національний транспортний ун-т. - К., 2004. -210 с.
135. Халай Т. О. Удосконалення управління проектами експлуатації автомобільних доріг : Дис... канд. техн. наук: 05.13.22 / Національний транспортний ун-т. — К., 2006. — 171 с.
136. Кравчуновська Т. С. Системний підхід до обґрунтування доцільності використання техногенних відходів у будівництві: дис... канд. техн. наук: 05.13.22 / Придніпровська держ. академія будівництва та архітектури. - Д., 2004.
137. Хрутьба В. О. Основи управління проектами і програмами поводження з відходами в транспортно-дорожньому комплексі. Монографія. / В. О. Хрутьба – К.: НТУ, 2013. – 192 с
138. Крюковська Л. І. Системний підхід управління проекту використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві як вторинної сировини / В. О. Хрутьба, Л. І. Крюковська // Ресурсо- та енергозбереження на підприємствах гірничо-металургійного та хімічного комплексу України: Міжнар. конфер., 07-11 жовт. 2008 р.: тези допов. – К.: Т-во «Знання», 2008. – С. 38-39.

139. ДСТУ ISO 14040:2013 Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу. Принципи та структура (ISO14040:2006) http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=70997.
140. Закон України від 05.03.1998 № 187/98-ВР «Про відходи».
141. Крюковська Л. І. Еколого-економічна оцінка життєвого циклу металургійного шлаку як дорожньо-будівельного матеріалу/ Бойко К. Г. Зб.: 66 - наукова конференція професорсько-викладацького складу і студентів Національного транспортного університету. Тези доповідей. – К: НТУ, 2009. с. 96.
142. Крюковська Л. І. Екологічний аспект використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві Зб.: 64 - наукова конференція професорсько-викладацького складу і студентів Національного транспортного університету. Тези доповідей. – К: НТУ, 2008. с. 80-81.
143. Крюковська Л. І. Бульковський М. С. Зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище при використанні відходів металургійного виробництва у якості дорожньо-будівельних матеріалів LXVIX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету. Тези доповідей – К.: НТУ, 2013. – С. 95.
144. ДСТУ Б В.2.7-71-98 (ГОСТ 8269.0-97). Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань.
145. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу.
146. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобильные дороги. Часть I. Проектирование. Часть II. Строительство.
147. Галузева система забезпечення єдності випробувань металургійних шлаків для дорожнього будівництва. Основні положення. ГР 3-036-2004.
148. Шуберт Д. М. Опыт использования шлаков в строительстве. Журнал «Строительная промышленность» № 6, 1990.

149. Горкавий В. К. Математична статистика: - Навчальний посібник. / В К. Горкавий, В. В. Ярова // – К.: ВД «Професіонал», 2004. - 384 с.
150. Тематичний план науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт державного агентства автомобільних доріг України на 2018 рік. URL: http://ukravtodor.gov.ua/timeline/innovatsiinyi_rozvytok.html.
151. Державна цільова економічна програма розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки. URL: <https://www.kmu.gov.ua/ua/news/derzhavna-cilova-ekonomichna-programa-rozvitku-avtomobilnih-dorig-zagalnogo-koristuvannya-derzhavnogo-znachennya-na-2018-2022-roki>.
152. Податковий кодекс України (відомості Верховної ради України (ВВР), 02.12.2010 № 2755-VI).
153. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Донецької області 2017 рік. URL: <http://ecology.donoda.gov.ua/>.
154. Екологічний паспорт Донецької області Донецька обласна державна військово-цивільна адміністрація. 2017 р.- 196 с.
155. Литой щебень из доменных шлаков и бетоны на его основе /С. Е. Александров, В. А. Задоренко, И. В. Колпаков, П. А. Кривилев. – М.: Стройиздат, 1979. – 208 с.
156. Шлаки доменні відвальні ВАТ «Криворіжсталь» для будівництва автомобільних доріг I категорії ТУ У В.2.7-14.2-24432974-004:2005.
157. Шлаки доменні відвальні Маріупольського металургійного комбінату імені Ілліча для будівництва автомобільних доріг I категорії ТУ У В.2.7-14.2-00191129-001:2005.
158. Шлаки сталеплавильні відвальні металургійного комбінату «Криворіжсталь» для дорожнього будівництва ТУ У В.2.7-45.2-24432974-003-2004.
159. Шлаки сталеплавильні відвальні для дорожнього будівництва" ТУ У В.2.7-14.2-00191129-051:2008.
160. Ва global outlook: топові експерти про бізнес-прогнози та настрої інвесторів URL: http://ukravtodor.gov.ua/timeline/remont_dorih.html.

161. ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84) ссбт. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
162. ДБН В. 1.4-0.01-97. Система норм та правил зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів в будівництві основні положення
163. ДСТУ Б В.2.7-149:2008 Будівельні матеріали. Щебінь і щебенево-піщані суміші із шлаків металургійних для дорожніх робіт. Технічні умови. 17 с.
164. ГБН В.2.3-218-007:2012 «Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Проектування.».
165. ГБН В.2.3-218-540: 2012 «Споруди транспорту. Охорона довкілля при будівництві, ремонті та експлуатаційному утриманні автомобільних доріг».
166. Математична модель оцінки життєвого циклу металургійного шлаку як дорожньо-будівельного матеріалу / Крюковська Л.І., Матейчик В.П., Хрутьба В. О. // Свідоцтво про внесення суб'єкта підприємницької діяльності до Реєстру виробників та розповсюджувачів програмного забезпечення ВР №01098. 20.07.2009.
167. Методика еколого-економічного оцінювання конструкцій дорожнього одягу з шарами основи із доменних шлаків. / Матейчик В.П., Хрутьба В.О., Крюковська Л.І.// Літературний письмовий твір наукового характеру. (№61351 від 20.08.2015 р.)
- 168 Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки. Затв. наказом Міністерства та соціальної політики України 04.12.2002 №637.

ДОДАТКИ

Додаток А



УКРАЇНА
Донецька область
МАРИУПОЛЬСЬКА МІСЬКА РАДА
УПРАВЛІННЯ З ПИТАНЬ ЕКОЛОГІЇ, ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ
ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ

вул. Пушкіна, 96, м. Маріуполь, 87555
E-mail: eco.dep@mariupolrada.gov.ua Веб-сайт: mariupolrada.gov.ua

24.09.2018 № 32/28988
На № _____ від _____

ДОВІДКА
про впровадження
результатів дисертаційної роботи
КРЮКОВСЬКОЇ Л.І.

**ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ У ДОРОЖНЬОМУ
БУДІВНИЦТВІ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ
ШЛАКІВ**

Впроваджено результати дисертаційної роботи Крюковської Л.І., які представлені у вигляді закономірності впливу хімічного складу металургійних шлаків на їх механічні характеристики, що ґрунтуються на кореляційно-регресійному аналізі експериментальних досліджень металургійних шлаків різних комбінатів, дозволяють прогнозувати механічні властивості шлаку як дорожньо-будівельного матеріалу з врахуванням його хімічного складу.

Шлакові відвали металургійних підприємств ПАТ Маріупольський металургійний комбінат ім.Ілліча та ПрАТ "Металургійний комбінат "Азовсталь" є джерелом екологічної небезпеки м.Маріуполь внаслідок забруднення атмосфери через емісію забруднюючих речовин у повітря, об'єкти гідросфери і ґрунт, а через них - на біорізноманіття, стан флори, фауни, здоров'я людей. Виникають порушення ландшафту, рівноваги геологічного, фізичного та механічного стану; хімічне і радіаційне забруднення ґрунтів та вод, зміна гідрологічного режиму прилеглих територій.

Визначено ймовірність виникнення екологічно-небезпечної ситуації або аварії, пов'язаною з місцями зберігання шлаків металургійних ПрАТ "Металургійний комбінат Азовсталь" та ПрАТ "Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча" та побудовано "дерево відмов" для логіко-ймовірнісної моделі відмов. Ризик небезпеки збереження шлаків у відвалах металургійних комбінатів виникнення головної події становить

0,636. Використання металургійних шлаків, які є малотоксичними відходами, тобто відходи IV класу небезпеки, у дорожньому будівництві дозволить знизити рівень наявного екологічного ризику за умови надання металургійним шлакам споживчих властивостей.

Запропоновані автором багатофакторні кореляційно-регресійні залежності активності шлаків від їх хімічного складу дозволяють визначити міцнісні характеристики шлаків металургійних комбінатів і обґрунтувати доцільність впровадження відвальних шлаків при створенні технології будівництва і реконструкції автомобільних доріг.

Впровадження результатів дисертаційної роботи Крюковської Л.І. дозволяє знизити рівень екологічної небезпеки навколо м. Маріуполь на 27 % за рахунок використання металургійних шлаків як альтернативного дорожньо-будівельного матеріалу.

Керівник Управління з питань екології,
енергоменеджменту та охорони праці
Маріупольської міської ради



Мнацаканян В.Г.

" 24 " бересня 2018 р.



ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ
(УКРАВТОДОР)

Державне підприємство

«Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна»
ДП «ДерждорНДІ»

03113, м. Київ,
проспект Перемоги, 57
код ЄДРПОУ 03450778

тел/факс 456-34-15
e-mail: dornauka@post.com.ua
www.dorndi.org.ua

06.06.2014 № 20.1-1/1-629

на № _____ від _____ Довідка

про використання результатів дисертаційної роботи Крюковської Лесі Іванівни за темою

«Підвищення рівня екологічної безпеки при використанні металургійних шлаків у дорожньому будівництві»

Підвищення рівня екологічної безпеки будівництва та реконструкції автомобільних доріг – насущна проблема розвитку дорожнього будівництва в умовах ринкової економіки не тільки в Україні, а й в усьому світі. Рівень техніко-експлуатаційних властивостей нових автомагістралей повинен відповідати сучасним вимогам з точки зору їх якості, безпеки та екології.

Результати дисертаційної роботи Крюковської Л.І. були використані при реалізації стратегії підвищення екологічної безпеки за рахунок впровадження технології використання металургійних відходів в дорожньому будівництві.

Використання металургійних шлаків в дорожньому будівництві є одним із ефективних і економічно обґрунтованих способів вирішення завдання збереження природних ресурсів за рахунок заміни природних кам'яних матеріалів відходами металургійного виробництва.

Впровадження результатів роботи дозволив провести систематизацію та вибір конструкцій дорожнього одягу з використанням металургійних шлаків. На основі сформованого автором інтегрального критерію оцінки екологічної безпеки металургійних шлаків на всіх етапах їх життєвого циклу проведена оцінка рівня екологічної безпеки використання відходів як альтернативного матеріалу для дорожнього будівництва.

Запропонований автором комплекс окремих, групових та інтегральних критеріїв оцінки властивостей дорожнього одягу з шарами основи із доменних шлаків застосовано для оцінювання рівня екологічної безпеки на окремих етапах життєвого циклу металургійних шлаків як відходів металургійного виробництва, будівельних матеріалів та елементів конструкції дорожнього одягу.

Розроблені автором методики оцінювання рівня екологічної безпеки при використанні в конструкції дорожнього одягу металургійних шлаків та еколого-економічної оцінки ефективності використання металургійних шлаків в дорожньо-будівельній галузі дозволила провести комплексне оцінювання на стадії проектування та будівництва автомобільної дороги Київ-Одеса. Орієнтовний економічний ефект від реалізації проекту використання в дорожньому будівництві шлакового щебеню замість природного граніту при будівництві 1 км автомобільної дороги Київ-Одеса становить 635 – 655 тис грн.

Директор



В.М.Нагайчук

007369

Додаток Б

УКРАЇНА



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ

СВІДОЦТВО
про реєстрацію авторського права на твір

№ 46994

Літературний письмовий твір наукового характеру "Методика еколого-економічного оцінювання конструкцій дорожнього одягу з шарами основи із доменних шлаків"

(вид, назва службового твору)

Автор(и) **Матейчик Василь Петрович, Хрутьба Вікторія Олександрівна, Крюковська Леся Іванівна**

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать **Матейчик Василь Петрович, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010; Хрутьба Вікторія Олександрівна, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010; Крюковська Леся Іванівна, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010; Національний транспортний університет, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010**

(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

28.12.2012

Дата реєстрації



M. V. Kovina

Голова Державної служби
інтелектуальної
власності України
М.В. Ковіня



Міністерство освіти і науки України
Державний департамент інтелектуальної власності

СВІДОЦТВО

про внесення суб'єкта підприємницької діяльності до Реєстру
виробників та розповсюджувачів програмного забезпечення.

Серія ВР

№ 01098

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(повна та скорочена назва суб'єкта підприємницької

діяльності із зазначенням організаційноправової форми)

(прізвище, ім'я, по батькові фізичної особи

суб'єкта підприємницької діяльності)

Ідентифікаційний код 02070915

Вид діяльності у сфері програмного

забезпечення

виробництво та розповсюдження

Місцезнаходження (місце проживання)

вул. Суворова, 1, м. Київ

Найменування програмного забезпечення, яке виробляється

(розповсюджується)

“Математична модель оцінки життєвого циклу металургійного шлаку як
дорожньо-будівельного матеріалу”



Заступник голови департаменту В.П. Чеботарьов

(посада і прізвище керівника органу, що видав свідоцтво)

20.07.2009

(дата реєстрації)

02.09.2009

(дата видачі)


(підпис)

Додаток В

ДКПІ 14.21.12.157

УКНД 91.100.15; 93.080.20



ПОГОДЖЕНО

Держбуд України

Лист від «31» 10 2005 р.

№ 5/9 - 2101

ПРИЙНЯТО

/ В. о. першого заступника

Генерального директора –

головний інженер

ВАТ «ММК імені Ілліча»

В.В. Климанчук

2005 р.

**ШЛАКИ ДОМЕННІ ВІДВАЛЬНІ МАРІУПОЛЬСЬКОГО
МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМБІНАТУ ІМЕНІ ІЛЛІЧА ДЛЯ
БУДІВНИЦТВА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ І КАТЕГОРІЇ**

Технічні умови

ТУ У В.2.7-14.2-00191129-001:2005

(Вводяться вперше)

Дата надання чинності 23.12.2005

Чинний до 22.12.2010

ПОГОДЖЕНО

Перший заступник Голови

Державної служби

автомобільних доріг України

М. Д. Климпуш

«08» 07 2005 р.

РОЗРОБЛЕНО

Директор ДерждорНДІ

П.М. Коваль

«09» 07 2005 р.

ПОГОДЖЕНО

Міністерство охорони здоров'я України

Лист від «26» 07 2005 р.

№ 33393

Головний науковий співробітник

ДерждорНДІ

В.Ф. Скорченко

«24» 06 2005 р.

ПОГОДЖЕНО

В. о. заст. головного інженера -

начальник технічного відділу

ВАТ «ММК імені Ілліча»

І. М. Фентисов

« » 2005 р.

Завідувач сектору

ДерждорНДІ

Л.І. Крюковська

«24» 06 2005 р.

Завідувач відділу

стандартизації ДерждорНДІ

Н.І. Ростовська

«04» 07 2005 р.

Продовження титульного аркуша на наступній сторінці

Додаток Г

ДКПТ 14.21.12.157

УКНД 91.100.15 ; 93.080.20

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Технічний директор-головний
 інженер ВАТ "КГМК "Криворіжсталь"
 В.О. Шеремет
 10 2004 р.

**ШЛАКИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНІ ВІДВАЛЬНІ МЕТАЛУРГІЙНОГО
 КОМБІНАТУ "КРИВОРІЖСТАЛЬ" ДЛЯ ДОРОЖНЬОГО
 БУДІВНИЦТВА**

Технічні умови

ТУ У В.2.7-45.2-24432974-003-2004

(Вводяться вперше)

Введено в дію 29 10 2004Термін дії до 28 10 2009

ПОГОДЖЕНО
 Держбуд України
 Лист від "22" 10 2004 р.
 № 5/11 - 1917

РОЗРОБЛЕНО
 Директор ДерждорНДІ
Коваль П.М. Коваль
 "25" травня 2004 р.

ПОГОДЖЕНО
 Міністерство охорони здоров'я України
 Лист від "22" червня 2004 р.
 № 05.03.02.07/25001

РОЗРОБЛЕНО
 Головний науковий співробітник
 ДерждорНДІ
Скорченко В.Ф. Скорченко
 "24" травня 2004 р.

ПОГОДЖЕНО
 Начальник управління науково-
 технічної політики Укравтодору
Прусенко Є.П. Прусенко
 "06" 07 2004 р.

Завідувач сектору
 ДерждорНДІ
Крюковська Л.І. Крюковська
 "24" травня 2004 р.

ПОГОДЖЕНО
 Заступник технічного директора-
 Начальник технічного управління
 ВАТ "КГМК "Криворіжсталь"
А.В. Кекух А.В. Кекух
 "28" 05 2004 р.

ПОГОДЖЕНО
 Головного інженера Укравтодору
Хрипушина Т.В. Хрипушина
 Лист від "20" 07 2004 р.
 № 17-833-11

Державний комітет України з питань
 технічного регулювання та стандартизації
 Державне підприємство
 «Кризастандартметрологія»
 Зареєстровано 28 10 2004 р.
 Реєстраційний код 201/000337

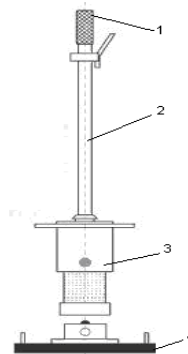
Додаток Д

Методика виготовлення зразків дорожньо-будівельних матеріалів для випробування модулів пружності дорожнього одягу нежорсткого типу автомобільних доріг з шарами основи із доменних шлаків

Д.1 Засоби виготовлення зразків і допоміжне обладнання

Прилад для ущільнення дорожньо-будівельних матеріалів по методу Проктора рисунок Д.1 (таблиця Д.1).

Ваги по ГОСТ 23711, ГОСТ 24104; шафа сушильна; лопатка – мастерок, прилад УГ-Ф призначений для ущільнення ґрунту при визначенні щільності по методу Проктора відповідно до стандарту: СТ РК 1285-2004 .



1 – держак; 2 – направляючий стрижень; 3 – ударне навантаження, вантаж (гирі); 4 – плунжер

Рис. Д.1. Прилад Проктора для ущільнення дорожньо-будівельних матеріалів

Таблиця Д.1

Характеристика приладу Проктора

Стандарт	Діаметр трамбовки, мм	Висота падіння, мм	Вага трамбовки, кг
EN 13286:2, СТ РК 1285-2004	$150 \pm 0,5$	600 ± 3	$15 \pm 0,04$

Д.2 Підготовка матеріалів до виготовлення зразків

Підготовка незв'язаних матеріалів (доменних шлаків) виконується у відповідності з ВБН В.2.3-218-186, ГОСТ 22733.

Д.3 Виготовлення зразків

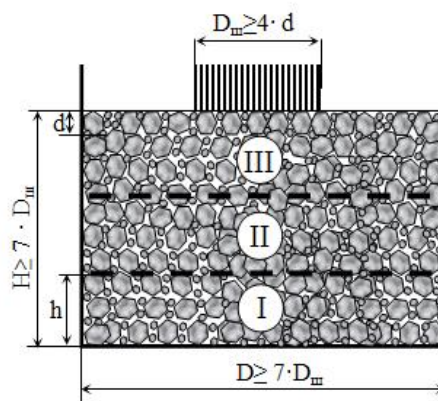
Матеріали укладають у форму шарами із наступним ущільненням кожного шару.

Ущільнюоче навантаження для шару призначається залежно від виду матеріалу і крупності:

- ґрунтових сумішей з доменними шлаками 5-15 МПа;
- дрібнозернистих сумішей доменних шлаків 15-25 МПа;
- для середньо– і крупнозернистих доменних шлаків 20 – 40 МПа.

Товщина шару при пошаровому ущільненні має бути рівною трьом максимальним розмірам зерна для дрібно-середньо та крупнозернистих сумішей і щебеню зі шлаку, а для ґрунтових сумішей з доменними шлаками, товщина має бути рівною 7 см.

В залежності від крупності заповнювача матеріалів визначаються з розмірами форми і штампа (рисунок Д.3).



I, II, III – шари з незв'язаних матеріалів; d – діаметр максимальної фракції; h – товщина шару ущільнення; D_m – діаметр штапу; D – діаметр форми; H – загальна товщина ущільнення.

Рис. Д.3. Схема розмірів форми та послідовності ущільнення дорожньо-будівельних матеріалів

Додаток Е

Методика визначення активності шлаків

Активність шлаків визначається за значенням границі міцності при стиску зразків у водонасиченому стані у віці 28 діб.

Е.1. Випробування виконують з допомогою засобів контролю та допоміжного обладнання:

Млин шаровий лабораторний, вібромлин або барабан з металевими шарами.

Прилад малий СоюздорНИИ для стандартного ущільнення (рис. Е.1).

Прес гідравлічний з зусиллям від 50 до 500 кН.

Шафа сушильна.

Мішалка лабораторна для приготування шлакового тіста.

Ваги лабораторні загального призначення за ГОСТ 24104 або настільні циферблатні за ГОСТ 29329.

Сито з отворами розміром 0,071 мм за ГОСТ 6613.

Чаша сферична фарфорова або металева для змішування.

Ванна з гідравлічним затвором для зберігання зразків за ГОСТ 310.3.

Кельма або лопатка для перемішування ГОСТ 310.3.

Е.2. Порядок підготовки і проведення випробування.

Аналітичну пробу шлаку масою 5 кг висушують до постійної маси та розмелюють у шаровому млині, вібромлині або барабані з металевими шарами так, щоб залишок на ситі з розмірами отворів 0,071 мм був не більше 6-10 %.

Після помолу шлаку визначають оптимальну кількість води, яка забезпечує максимальну густину шлакового тіста. Відбирають наважку розмеленого шлаку масою 720-750 г і поміщають у чашу, яку попередньо протирають вологою тканиною, потім додають воду у кількості 6-8 % маси шлаку і ретельно перемішують кельмою на протязі 5 хв. З приготовленої суміші відбирають контрольну наважку, зважують, висушують до постійної маси при температурі $(100 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, охолоджують і знову зважують, потім за формулою визначають фактичну вологість:

$$w = \frac{m_a - m}{m} \cdot 100; \quad (\text{Е.1})$$

де m_a – маса проби у вологому стані, г;

m – маса проби у сухому стані, г.

З приготовленої суміші, за допомогою приладу СоюздорНИИ для стандартного ущільнення формують 3 зразки діаметром і висотою 50 мм. Зразки ущільнюють 40 ударами гирі масою 2,5 кг, яка падає з висоти 30 см. Після ущільнення плунжер і насадку обережно знімають, ретельно зрізають ножем надлишки шлакового тіста. Відразу після виготовлення зразки звільняють від форми та зважують з похибкою до 0,1 г. Підготовку шлакового тіста, виготовлення зразків та зважування повторюють кілька разів, кожний раз збільшуючи кількість води на 2 %. Воду припиняють додавати після одержання середньої щільності зразків, значення якої закономірно знижується з кожним наступним визначенням.

Для визначення оптимальної вологості і максимальної щільності для кожної серії зразків (різної вологості) визначають середню щільність зразка $\gamma_{\text{ср}}$, г/см³ за формулою:

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\gamma_{\text{н\ddot{a}д}}}{1 + \frac{W}{100}}; \quad (\text{E.2})$$

де W – фактична вологість суміші, %маси сухого молотого шлаку;
 $\gamma_{\text{н\ddot{a}д}}$ – середня щільність зразків, г/см³, яка визначається за формулою:

$$\gamma_{\text{н\ddot{a}д}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{3V}; \quad (\text{E.3})$$

де n – число зразків ;

m_i – маса зразка даної серії при даній вологості, г;

V – об'єм зразків, см³.

За результатами визначень будують графік: на осі ординат відкладають значення середньої щільності зразків $\gamma_{\text{ср}}$, а на осі абсцис фактичну вологість. Найвища точка одержаної кривої відповідає оптимальній вологості та максимальній щільності зразків.

Для визначення міцності зразки виготовляють із шлакового тіста з оптимальною вологістю та максимальною щільністю. Для цього у молотий шлак вводять воду у кількості, що відповідає оптимальній вологості та максимальній щільності, перемішують протягом 2,5 хв. у лабораторній мішалці. При відсутності мішалки шлак з водою перемішують кельмою або лопаткою у сферичній чаші протягом 10 хв.

З шлакової суміші (3 кг) готують за вказаною вище методикою з допомогою малого приладу СоюздорНИИ для стандартного ущільнення 10 зразків-циліндрів висотою і діаметром 50 мм. Допускається ущільнювати зразки на пресі при тиску 20 МПа (200 кгс/см²), який забезпечує щільність зразка, що дорівнює щільності, одержаної на приладі стандартного ущільнення з витримкою протягом 3 хв. Відхилення фактичної вологості суміші від оптимальної допускається до $\pm 0,5$ %.

Зразки зберігають 7 діб на повітрі при температурі (18-20)⁰С, після чого вимірюють розміри зразків штангенциркулем, поміщають їх на 18 діб у камеру з вологістю не менше 95 %, потім протягом 2 діб насичують водою кімнатної температури, при цьому рівень води над зразками повинен бути не менше 2 см.

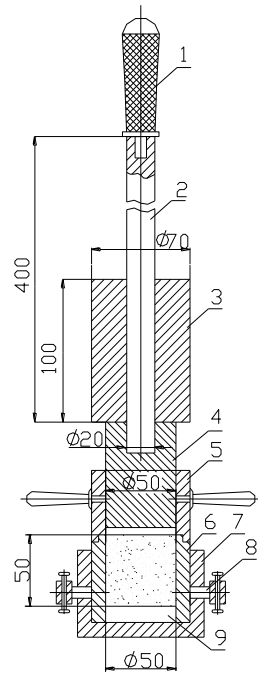


Рис. Е.1. Малий прилад СоюздорНИИ для стандартного ущільнення: 1 – рукоятка; 2 – напрямний стержень; 3 – гиря; 4 – плунжер; 5 – напрямний насадний циліндр; 6 – розбірний циліндр; 7 – підскляник; 8 – закріплючі гвинти; 9 – металева пластинка.

Насичені водою зразки випробовують у віці 28 діб на гідравлічному пресі, підвищуючи тиск на 0,3-0,5 МПа (3-5 кгс/см²) за секунду до руйнування зразків.

Е.3. Обробка результатів випробовувань.

Границю міцності зразка, δ_{cm} , МПа, визначають з точністю до 0,1 МПа (1 кгс/см²) за формулою:

$$\delta_{cm} = \frac{P}{F}; \quad (E.4)$$

де P – руйнівне зусилля преса, Н (кгс);

F – площа поперечного перерізу зразка, см².

За показник активності шлаків приймають границю міцності при стиску, обчислену як середньоарифметичне результатів випробувань десяти зразків.

Додаток Ж

87504 г. Мариуполь
ОАО «ММК им. Ильича»

ф. ШП-100

П А С П О Р Т №

цех переработки шлаков «9» «Силабук» 2009 г.

1. Адрес и наименование потребителя

2. Наименование и крупность продукции. Готовая щебеночно-песчаная смесь из доменных шлаков фр. 0-70 мм. 3. Номер партии

4. Влажность 5,1%

5. Количество, м³

6. Обозначение стандарта ДСТУ БВ.27-35-95

7. Качественные показатели:

Насыпная плотность т/м ³	остаток на сите, %	Зерновой состав					Актив-ность	Устой-чивость струк-туры	Содер-жанье слабых зерен, %	Содержание глинистых частиц, %
		1,25 Д	Д	0,5 (d+D)	5	0,14 <				
1,31	полный	2,08	38,62	87,08	98,62	100,0	А	против распада сильней - 2,55% слабейше - 7,44%	8,07	0,7
	частич.	2,08	36,54	48,46	11,54	1,38				

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	S	TiO ₂
39,97	5,66	0,27	-	0,60	45,80	5,82	1,19	0,22

Номера вагонов

СТ. ТЕХНОЛОГ

ОПД ММК им. Ильича. зак. № 364-500 14.02.2001 г.

Додаток И

Вихідні дані металургійних шлаків з 5 підприємств

№проби	Вміст, %					Активність R_{28} , МПа,	Модуль пружності $E_{пруж}$, МПа	Модуль основності, M_o	Модуль активності, M_a	Коефіцієнт якості, K
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	FeO_2					
Шлаки доменні відвальні ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат»										
1	39,2	8,9	52,8	6,4	0,3	7,2	450	1,23	0,23	1,74
2	39,9	9,8	50,2	5,9	0,33	6,3	400	1,13	0,25	1,65
3	38,2	8,8	51,8	4,6	0,3	6,8	408	1,20	0,23	1,71
4	38,3	9,7	49,9	6,3	0,34	7	450	1,17	0,25	1,72
5	38,4	7,6	51,8	5,2	0,3	6,5	400	1,24	0,20	1,68
6	37,9	7,6	50,8	4,6	0,35	5,9	350	1,22	0,20	1,66
7	37,7	7,7	51,1	5	0,3	6,6	405	1,24	0,20	1,69
8	37,3	9,8	51	5,6	0,32	7,4	450	1,20	0,26	1,78
9	37,5	8,2	49,8	4,7	0,3	6,4	400	1,19	0,22	1,67
10	38,6	9,9	51,8	4,7	0,3	6,9	410	1,16	0,26	1,72
Шлаки доменні відвальні ПАТ Маріупольський МК ім.Ілліча										
1	37	8,02	50,1	3,68	1,35	6,74	440	1,19	0,22	1,67
2	37,89	8,03	49,95	4,13	1,01	6,66	435	1,18	0,21	1,64
3	37,51	7,85	50,98	4,21	1,35	6,55	430	1,22	0,21	1,68
4	37,81	7,9	50,85	3,83	1,41	6,4	410	1,20	0,21	1,66
5	35,3	8,05	50,53	3,71	1,4	6,3	410	1,25	0,23	1,76
6	35,44	8,07	49,96	3,67	1,33	6,26	400	1,23	0,23	1,74
7	35	7,04	51,67	4,75	0,44	6,2	400	1,34	0,20	1,81
8	35,6	7,34	51,14	4,41	0,38	5,9	350	1,29	0,21	1,77
9	34	7,83	52,03	4,28	0,46	5,84	350	1,35	0,23	1,89
10	34,54	7,6	51,09	4,36	0,36	5,65	340	1,32	0,22	1,83
Шлаки доменні відвальні ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь»»										
1	36,5	9,02	49,8	4,5	0,35	6,49	420	1,19	0,25	1,73
2	37,8	8,7	49,9	5,3	0,3	6,3	410	1,19	0,23	1,69
3	37,2	8,75	49,98	5,2	0,38	6,3	410	1,20	0,24	1,72

№проби	Вміст, %					Активність R_{28} , МПа,	Модуль пружності $E_{пруж}$, МПа	Модуль основності, M_o	Модуль активності, M_a	Коефіцієнт якості, K
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	FeO_2					
4	37,3	9,1	49,85	4,8	0,38	6,2	400	1,18	0,24	1,71
5	35,98	9,05	49,53	4,7	0,4	6,11	400	1,20	0,25	1,76
6	36	9,07	49,95	4,65	0,35	5,8	360	1,21	0,25	1,77
7	35,9	8,85	51,1	5,75	0,32	5,7	350	1,27	0,25	1,83
8	35,8	8,89	50,9	5,4	0,3	5,2	340	1,26	0,25	1,82
9	36,27	8,9	51,1	5,25	0,25	5,6	350	1,25	0,25	1,80
10	36,6	9,1	50,09	5,36	0,32	5,2	340	1,21	0,25	1,76
Шлаки доменні відвальні ПАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь»										
1	36,5	8,9	51	4,6	0,34	5,9	370	1,22	0,24	1,77
2	37,3	9	51,1	4,4	0,34	6,4	400	1,20	0,24	1,73
3	37	9,1	50,45	4,9	0,3	5,7	360	1,20	0,25	1,74
4	36,8	9	50,8	4,3	0,3	5,1	350	1,20	0,24	1,74
5	37,4	8,7	50,4	4,1	0,3	5,53	360	1,18	0,23	1,69
6	37,1	9	49,9	4,5	0,36	5,1	350	1,18	0,24	1,71
7	37,3	8,7	51	4,2	0,3	5,7	360	1,20	0,23	1,71
8	37,4	8,9	50,9	4,4	0,3	5,2	350	1,19	0,24	1,72
9	37,2	8,6	51	4,7	0,3	5,5	360	1,22	0,23	1,73
10	36	9	50,9	3,8	0,3	5,17	350	1,22	0,25	1,77
Шлаки доменні відвальні ПАТ «Єнакієвський металургійний завод»										
1	38	9	51,1	6,4	0,3	5,9	380	1,22	0,24	1,75
2	37,6	9,1	50,15	5,9	0,33	5	350	1,20	0,24	1,73
3	37,2	8,8	50,8	4,6	0,3	5,4	340	1,20	0,24	1,73
4	37,1	9	49,9	6,3	0,34	5,7	370	1,22	0,24	1,76
5	37,3	8,7	51,8	5,2	0,3	4,9	330	1,24	0,23	1,76
6	36,8	8,8	50,8	4,6	0,35	4,6	300	1,21	0,24	1,74
7	36,6	8,82	51,1	5	0,3	4,4	300	1,24	0,24	1,77
8	36,3	9,1	51	5,6	0,32	6,2	400	1,25	0,25	1,81
9	36,5	8,2	50,09	4,7	0,3	5,2	350	1,23	0,22	1,73
10	37,6	9,09	51,88	4,7	0,3	5,7	370	1,21	0,24	1,75

Додаток К

Таблиця К.1.

Розширена матриця планування експериментальних даних для отримання коефіцієнтів математичної моделі

№	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂ ·Al ₂ O ₃	SiO ₂ ·CaO	Al ₂ O ₃ ·CaO	(SiO ₂) ²	(Al ₂ O ₃) ²	(CaO) ²
Шлаки доменні відвальні ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат»									
1	39,20	8,90	52,80	348,88	2069,76	469,92	1536,64	79,21	2787,84
2	39,90	9,80	50,20	391,02	2002,98	491,96	1592,01	96,04	2520,04
3	38,20	8,80	51,80	336,16	1978,76	455,84	1459,24	77,44	2683,24
4	38,30	9,70	49,90	371,51	1911,17	484,03	1466,89	94,09	2490,01
5	38,40	7,60	51,80	291,84	1989,12	393,68	1474,56	57,76	2683,24
6	37,90	7,60	50,80	288,04	1925,32	386,08	1436,41	57,76	2580,64
7	37,70	7,70	51,10	290,29	1926,47	393,47	1421,29	59,29	2611,21
8	37,30	9,80	51,00	365,54	1902,30	499,80	1391,29	96,04	2601,00
9	37,50	8,20	49,80	307,50	1867,50	408,36	1406,25	67,24	2480,04
10	38,60	9,90	51,80	382,14	1999,48	512,82	1489,96	98,01	2683,24
Шлаки доменні відвальні ПАТ Маріупольський МК ім.Ілліча									
1	37,00	8,02	50,10	296,74	1853,70	401,80	1369,00	64,32	2510,01
2	37,89	8,03	49,95	304,26	1892,61	401,10	1435,65	64,48	2495,00
3	37,51	7,85	50,98	294,45	1912,26	400,19	1407,00	61,62	2598,96
4	37,81	7,90	50,85	298,70	1922,64	401,72	1429,60	62,41	2585,72
5	35,30	8,05	50,53	284,17	1783,71	406,77	1246,09	64,80	2553,28
6	35,44	8,07	49,96	286,00	1770,58	403,18	1255,99	65,12	2496,00
7	35,00	7,04	51,67	246,40	1808,45	363,76	1225,00	49,56	2669,79
8	35,60	7,34	51,14	261,30	1820,58	375,37	1267,36	53,88	2615,30
9	34,00	7,83	52,03	266,22	1769,02	407,39	1156,00	61,31	2707,12
10	34,54	7,60	51,09	262,50	1764,65	388,28	1193,01	57,76	2610,19
Шлаки доменні відвальні ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь»									
1	36,50	9,02	49,80	329,23	1817,70	449,20	1332,25	81,36	2480,04
2	37,80	8,70	49,90	328,86	1886,22	434,13	1428,84	75,69	2490,01
3	37,20	8,75	49,98	325,50	1859,26	437,33	1383,84	76,56	2498,00
4	37,30	9,10	49,85	339,43	1859,41	453,64	1391,29	82,81	2485,02
5	35,98	9,05	49,53	325,62	1782,09	448,25	1294,56	81,90	2453,22
6	36,00	9,07	49,95	326,52	1798,20	453,05	1296,00	82,26	2495,00
7	35,90	8,85	51,10	317,72	1834,49	452,24	1288,81	78,32	2611,21
8	35,80	8,89	50,90	318,26	1822,22	452,50	1281,64	79,03	2590,81
9	36,27	8,90	51,10	322,80	1853,40	454,79	1315,51	79,21	2611,21
10	36,60	9,10	50,09	333,06	1833,29	455,82	1339,56	82,81	2509,01
Шлаки доменні відвальні ПАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь»									
1	36,50	8,90	51,00	324,85	1861,50	453,90	1332,25	79,21	2601,00
2	37,30	9,00	51,10	335,70	1906,03	459,90	1391,29	81,00	2611,21
3	37,00	9,10	50,45	336,70	1866,65	459,10	1369,00	82,81	2545,20
4	36,80	9,00	50,80	331,20	1869,44	457,20	1354,24	81,00	2580,64
5	37,40	8,70	50,40	325,38	1884,96	438,48	1398,76	75,69	2540,16
6	37,10	9,00	49,90	333,90	1851,29	449,10	1376,41	81,00	2490,01
7	37,30	8,70	51,00	324,51	1902,30	443,70	1391,29	75,69	2601,00
8	37,40	8,90	50,90	332,86	1903,66	453,01	1398,76	79,21	2590,81
9	37,20	8,60	51,00	319,92	1897,20	438,60	1383,84	73,96	2601,00
10	36,00	9,00	50,90	324,00	1832,40	458,10	1296,00	81,00	2590,81

№	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂ ·Al ₂ O ₃	SiO ₂ ·CaO	Al ₂ O ₃ ·CaO	(SiO ₂) ²	(Al ₂ O ₃) ²	(CaO) ²
Шлаки доменні відвальні ПАТ «Єнакієвський металургійний завод»									
1	38,00	9,00	51,10	342,00	1941,80	459,90	1444,00	81,00	2611,21
2	37,60	9,10	50,15	342,16	1885,64	456,37	1413,76	82,81	2515,02
3	37,20	8,80	50,80	327,36	1889,76	447,04	1383,84	77,44	2580,64
4	37,10	9,00	49,90	333,90	1851,29	449,10	1376,41	81,00	2490,01
5	37,30	8,70	51,80	324,51	1932,14	450,66	1391,29	75,69	2683,24
6	36,80	8,80	50,80	323,84	1869,44	447,04	1354,24	77,44	2580,64
7	36,60	8,82	51,10	322,81	1870,26	450,70	1339,56	77,79	2611,21
8	36,30	9,10	51,00	330,33	1851,30	464,10	1317,69	82,81	2601,00
9	36,50	8,20	50,09	299,30	1828,29	410,74	1332,25	67,24	2509,01
10	37,60	9,09	51,88	341,78	1950,69	471,59	1413,76	82,63	2691,53

Таблиця К.2.

Результати математичної обробки експериментальних даних по отриманих
моделях

№ проби	Вміст, %			Активність R ₂₈ , МПа		Похибка	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Експер.	По моделі	Абсолютна	Відносна
Шлаки доменні відвальні ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат»							
1	39,20	8,90	52,80	7,2	7,21	0,007	0,10%
2	39,90	9,80	50,20	6,3	6,29	0,007	0,11%
3	38,20	8,80	51,80	6,8	6,87	0,074	1,08%
4	38,30	9,70	49,90	7	7,05	0,045	0,64%
5	38,40	7,60	51,80	6,5	6,40	0,097	1,51%
6	37,90	7,60	50,80	5,9	6,08	0,177	2,91%
7	37,70	7,70	51,10	6,6	6,56	0,043	0,65%
8	37,30	9,80	51,00	7,4	7,40	0,004	0,06%
9	37,50	8,20	49,80	6,4	6,29	0,110	1,75%
10	38,60	9,90	51,80	6,9	6,85	0,050	0,74%
F-тест				0,958			
Коефіцієнт кореляції				0,982			
Шлаки доменні відвальні ПАТ Маріупольський МК ім.Ілліча							
1	37,00	8,02	50,10	6,74	6,77	0,0272	0,40%
2	37,89	8,03	49,95	6,66	6,63	0,0273	0,41%
3	37,51	7,85	50,98	6,55	6,49	0,0609	0,94%
4	37,81	7,90	50,85	6,4	6,46	0,0630	0,97%
5	35,30	8,05	50,53	6,3	6,28	0,0186	0,30%
6	35,44	8,07	49,96	6,26	6,27	0,0097	0,15%
7	35,00	7,04	51,67	6,2	6,20	0,0025	0,04%
8	35,60	7,34	51,14	5,9	5,91	0,0088	0,15%
9	34,00	7,83	52,03	5,84	5,85	0,0060	0,10%
10	34,54	7,60	51,09	5,65	5,64	0,0053	0,09%
F-тест				0,990			
Коефіцієнт кореляції				0,996			
Шлаки доменні відвальні ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь»							
1	36,50	9,02	49,80	6,49	6,43	0,0616	0,96%
2	37,80	8,70	49,90	6,3	6,30	0,0031	0,05%
3	37,20	8,75	49,98	6,3	6,31	0,0133	0,21%
4	37,30	9,10	49,85	6,2	6,16	0,0398	0,65%

№ проби	Вміст, %			Активність R ₂₈ , МПа		Похибка	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Експер.	По моделі	Абсолютна	Відносна
5	35,98	9,05	49,53	6,11	6,22	0,1122	1,80%
6	36,00	9,07	49,95	5,8	5,78	0,0239	0,41%
7	35,90	8,85	51,10	5,7	5,63	0,0743	1,32%
8	35,80	8,89	50,90	5,2	5,23	0,0271	0,52%
9	36,27	8,90	51,10	5,6	5,61	0,0105	0,19%
10	36,60	9,10	50,09	5,2	5,33	0,1334	2,50%
F-тест				0,880			
Коефіцієнт кореляції				0,990			
Шлаки доменні відвальні ПАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь»							
1	36,50	8,90	51,00	5,9	5,81	0,0873	1,50%
2	37,30	9,00	51,10	6,4	6,40	0,0031	0,05%
3	37,00	9,10	50,45	5,7	5,66	0,0369	0,65%
4	36,80	9,00	50,80	5,1	5,17	0,0655	1,27%
5	37,40	8,70	50,40	5,53	5,46	0,0654	1,20%
6	37,10	9,00	49,90	5,1	5,18	0,0833	1,61%
7	37,30	8,70	51,00	5,7	5,64	0,0635	1,13%
8	37,40	8,90	50,90	5,2	5,30	0,1027	1,94%
9	37,20	8,60	51,00	5,5	5,56	0,0587	1,06%
10	36,00	9,00	50,90	5,17	5,22	0,0458	0,88%
F-тест				0,962			
Коефіцієнт кореляції				0,990			
Шлаки доменні відвальні ПАТ «Снаківський металургійний завод»							
1	38,00	9,00	51,10	5,9	5,80	0,0997	1,72%
2	37,60	9,10	50,15	5	5,14	0,1359	2,65%
3	37,20	8,80	50,80	5,4	5,54	0,1447	2,61%
4	37,10	9,00	49,90	5,7	5,54	0,1558	2,81%
5	37,30	8,70	51,80	4,9	4,91	0,0128	0,26%
6	36,80	8,80	50,80	4,6	4,67	0,0698	1,50%
7	36,60	8,82	51,10	4,4	4,30	0,1011	2,35%
8	36,30	9,10	51,00	6,2	6,23	0,0302	0,49%
9	36,50	8,20	50,09	5,2	5,18	0,0176	0,34%
10	37,60	9,09	51,88	5,7	5,68	0,0194	0,34%
F-тест				0,965			
Коефіцієнт кореляції				0,985			

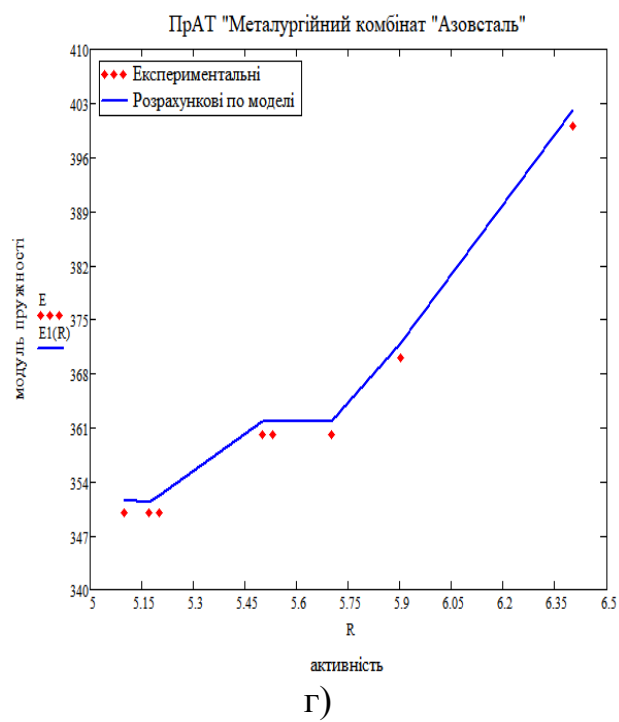
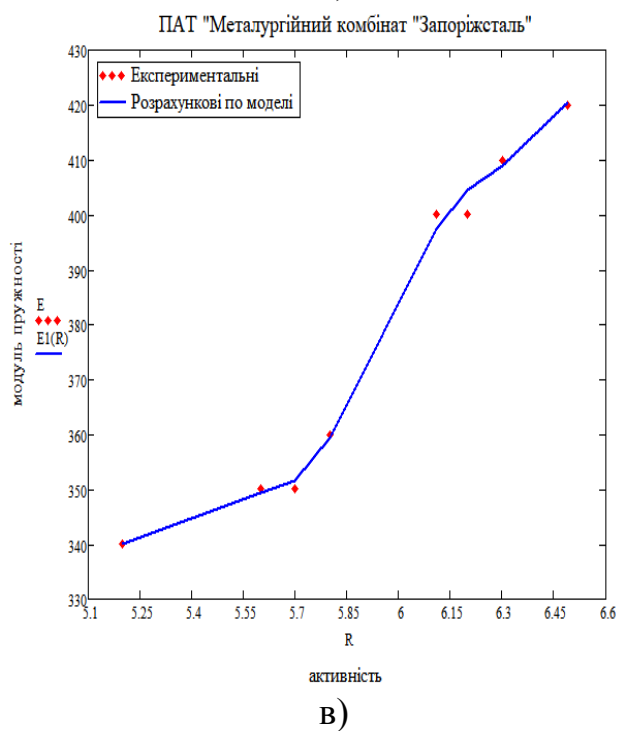
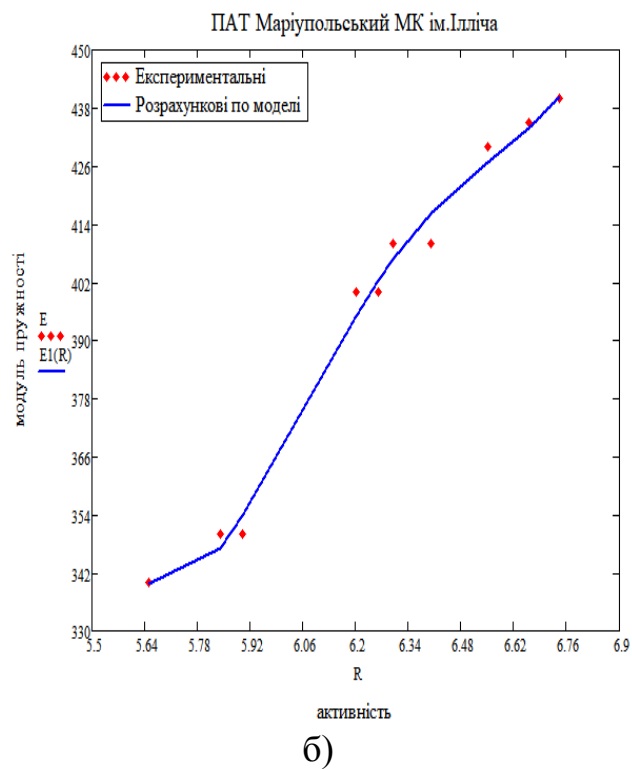
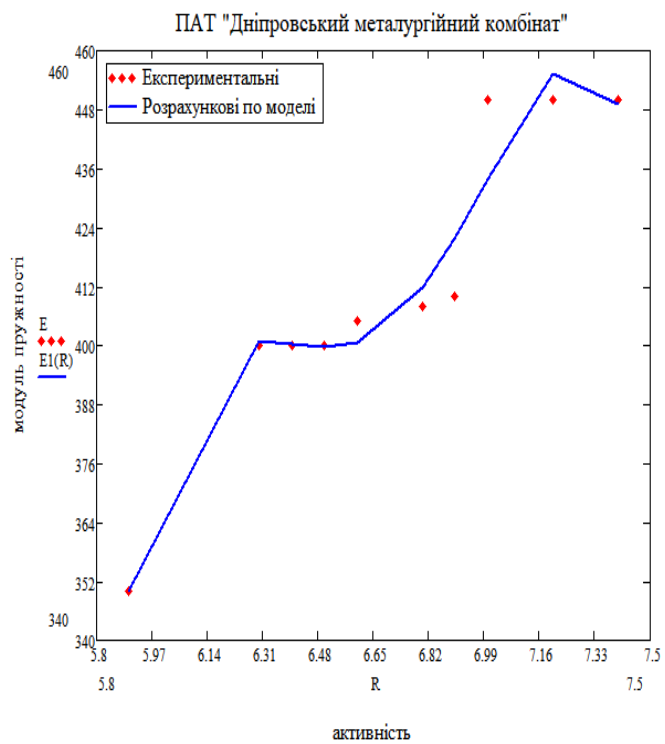
Додаток Л

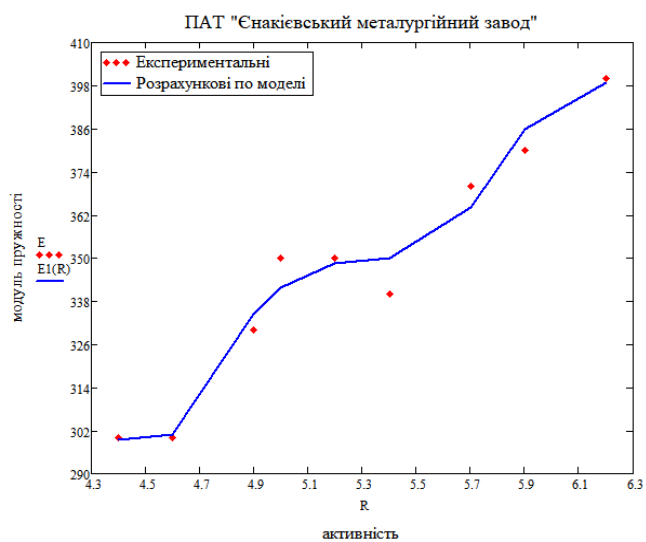
Таблиця Л.1

Результати експериментального визначення модулів пружності

№	Активність R ₂₈ , МПа	Модуль пружності (E_{np})		Похибка	
		Експер.	По моделі	Абсолютна	Відносна
Шлаки доменні відвальні ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат»					
1	5,9	350	349,92	0,082	0,02%
2	6,3	400	400,94	0,944	0,24%
3	6,4	400	400,28	0,284	0,07%
4	6,5	400	399,60	0,402	0,10%
5	6,6	405	402,63	2,374	0,59%
6	6,8	408	410,64	2,641	0,64%
7	6,9	410	415,79	5,788	1,39%
8	7	450	443,86	6,140	1,38%
9	7,2	450	455,20	5,195	1,14%
10	7,4	450	449,15	0,854	0,19%
F-тест		0,993			
Коефіцієнт кореляції		0,994			
Шлаки доменні відвальні ПАТ Маріупольський МК ім.Ілліча					
1	5,65	340	340,04	0,038	0,01%
2	5,84	350	347,29	2,710	0,78%
3	5,9	350	354,03	4,034	1,14%
4	6,2	400	395,34	4,663	1,18%
5	6,26	400	402,62	2,617	0,65%
6	6,3	410	407,03	2,969	0,73%
7	6,4	410	416,45	6,452	1,55%
8	6,55	430	427,08	2,922	0,68%
9	6,66	435	434,24	0,759	0,17%
10	6,74	440	440,88	0,882	0,20%
F-тест		0,989			
Коефіцієнт кореляції		0,995			
Шлаки доменні відвальні ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь»					
1	5,2	340	340,01	0,009	0,00%
2	5,2	340	340,01	0,009	0,00%
3	5,6	350	349,25	0,745	0,21%
4	5,7	350	351,47	1,470	0,42%
5	5,8	360	359,43	0,569	0,16%
6	6,11	400	397,35	2,654	0,67%
7	6,2	400	404,46	4,461	1,10%
8	6,3	410	408,91	1,091	0,27%
9	6,3	410	408,91	1,091	0,27%
10	6,49	420	420,20	0,200	0,05%
F-тест		0,996			
Коефіцієнт кореляції		0,998			

№	Активність R ₂₈ , МПа	Модуль пружності (E _{np})		Похибка	
		Експер.	По моделі	Абсолютна	Відносна
Шлаки доменні відвальні ПАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь»					
1	5,1	350	350,04	0,041	0,01%
2	5,1	350	350,04	0,041	0,01%
3	5,17	350	349,56	0,440	0,13%
4	5,2	350	350,38	0,385	0,11%
5	5,5	360	359,94	0,061	0,02%
6	5,53	360	360,01	0,011	0,00%
7	5,7	360	360,02	0,015	0,00%
8	5,7	360	360,02	0,015	0,00%
9	5,9	370	369,99	0,009	0,00%
10	6,4	400	400,00	0,000	0,00%
F-тест		1,000			
Коефіцієнт кореляції		1,000			
Шлаки доменні відвальні ПАТ «Снакієвський металургійний завод»					
1	4,4	300	299,51	0,488	0,16%
2	4,6	300	301,07	1,067	0,35%
3	4,9	330	334,38	4,384	1,31%
4	5	350	341,96	8,039	2,35%
5	5,2	350	348,72	1,280	0,37%
6	5,4	340	350,31	10,310	2,94%
7	5,7	370	364,26	5,735	1,57%
8	5,7	370	364,26	5,735	1,57%
9	5,9	380	386,29	6,286	1,63%
10	6,2	400	399,23	0,770	0,19%
F-тест		0,964			
Коефіцієнт кореляції		0,984			





д)

Рис. Л.1. Графічна інтерпретація даних експерименту та розрахунку по моделях

Додаток М

Розрахунок конструкції дорожнього одягу ділянки автомобільної дороги «Київ-Одеса», ПК173-199 км

Вихідні дані:

Технічна категорія дороги – І.

Довжина дороги 26 км. Розрахункова швидкість 120 км/год.

Кількість смуг руху – 4. Термін експлуатації $T_{сл}$ – 11 років.

За розрахункове навантаження прийнятий автомобіль групи А2, з параметрами: $p=0,6$ МПа, $D=37$ см. Інтенсивність руху на кінець терміну служби $N_p=5000$ один/д. Показник зміни інтенсивності руху $q=1,04$.

Грунт робочого шару земляного полотна – суглинок важкий пілуватий з розрахунковою вологістю $0,6W_T$.

Визначають сумарну кількість прикладень навантаження за строк служби за формулою (3.1) [145]:

$$\sum N_p = 0,7 \cdot 5000 \frac{13,6}{1,04^{(11-1)}} \cdot 135 \cdot 1,49 = 6468351 \text{ один.}$$

Розрахунок КДО з використанням в шарі основи природного матеріалу – щебенево-гравійної суміші.

Попередньо призначаємо конструкцію дорожнього одягу:

- 1) асфальтобетон щільний на бітумі БНД - 40/60;
- 2) асфальтобетон пористий на бітумі БНД- 60/90;
- 3) асфальтобетон пористий на бітумі БНД- 90/130;
- 4) гравійно-піщана суміш неоптимального складу укріплена цементом І класу міцності;

5) щебенево-гравійна суміш;

б) грунт укріплений 4% цементу 3 класу міцності.

Розрахунок конструкції дорожнього одягу проводиться згідно з ВБН В.2.3-218-186-2004 [145]. Результати розрахунку показано в таблиці М.1.

Таблиця М.1

Результати розрахунку шарів КДО з використанням в основі щебенево-гравійної суміші

№	Матеріал шару	h шару, см	$E_{пр}$, МПа	$E_{зс}$, МПа	$E_{зг}$, МПа
1	Асфальтобетон щільний БНД-40/60	4	4400	2600	6000
2	Асфальтобетон пористий БНД-60/90	6	2000	1200	2800
3	Асфальтобетон пористий БНД-90/130	10	1400	800	2200
4	Гравійно-піщана суміш неоптимального складу, укріплена цементом І класу міцності	15	500	500	500
5	Щебенево-гравійна суміш	17	500	500	500
6	Грунт укріплений 4 % цементу 3 класу міцності	12	350	350	350
7	Суглинок важкий пілуватий ($W=0,6W_T$)	-	62	62	62

Аналіз результатів розрахунку показує, що конструкція відповідає всім критеріям міцності.

Розрахунок КДО з використанням в шарі основи альтернативного матеріалу – щебеню із шлаку доменного.

Попередньо призначаємо конструкцію дорожнього одягу:

1) асфальтобетон щільний на бітумі БНД -40/60

2) асфальтобетон пористий на бітумі БНД-60/90;

3) асфальтобетон пористий на бітумі БНД-90/130;

4) гравійно-піщана суміш неоптимального складу укріплена цементом I класу міцності;

5) щебінь шлаковий ;

6) щебінь рядовий гранітний фракції 0-70.

Розрахунок конструкції дорожнього одягу проводиться згідно з ВБН В.2.3-218-186-2004 [145]. Результати розрахунку показано в таблиці М.2.

Таблиця М.2

Результати розрахунку шарів КДО з використанням в основі щебеню із шлаку доменного

Ч.ч	Матеріал шару	h шару, см	$E_{пр}$, МПа	$E_{зс}$, МПа	$E_{зг}$, МПа
1.	Асфальтобетон щільний БНД-40/60	4	4400	2600	6000
2	Асфальтобетон пористий БНД-60/90	6	2000	1200	2800
3	Асфальтобетон пористий БНД-90/130	10	1400	800	2200
4	Гравійно-піщана суміш неоптимального складу, укріплена цементом I класу міцності	15	500	500	500
5	Щебінь із шлаку доменного	22	400	400	400
6	Грунт укріплений 4 % цементу 3 класу міцності	12	300	300	300
7	Суглинок важкий пилуватий ($W=0,6W_T$)	-	62	62	62

Аналіз результатів розрахунку показує, що конструкція відповідає всім критеріям міцності.

Додаток Н

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

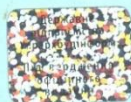
Будівельні матеріали

**ЩЕБІНЬ І ЩЕБЕНЕВО-ПІЩАНІ СУМІШІ
ІЗ ШЛАКІВ МЕТАЛУРГІЙНИХ
ДЛЯ ДОРОЖНІХ РОБІТ**

Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-149:2008

Видання офіційне



Київ
Міністерство регіонального розвитку та будівництва України
2009

ДСТУ Б В.2.7-149:2008

ПЕРЕДМОВА

- 1 РОЗРОБЛЕНО: Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П.Шульгіна (ДерждорНДІ) Державної служби автомобільних доріг України (Укравтодор)
РОЗРОБНИКИ: **Н. Бородіна**, канд. техн. наук (керівник розробки); **В. Вирожемський**, канд. техн. наук; **П. Коваль**, канд. техн. наук; **Л. Крюковська**; **Т. Протопопова**; **Н. Ростовська**
- 2 ПРИЙНЯТО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 21.11.2008 № 529 з 2009-05-01
- 3 ВПЕРШЕ (зі скасуванням ГОСТ 3344-83)

Право власності на цей документ належить державі.
Цей документ не може бути повністю чи частково відтворений,
тиражований і розповсюджений як офіційне видання без дозволу
Міністерства регіонального розвитку та будівництва України

© Мінрегіонбуд України, 2009

Офіційний видавець нормативних документів
у галузі будівництва і промисловості будівельних матеріалів
Мінрегіонбуду України

Державне підприємство "Укранхбудінформ"