

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Будівництво, архітектура та інфраструктура»  
Кафедра «Транспортна інфраструктура»

**Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи  
магістр  
(ступінь вищої освіти)

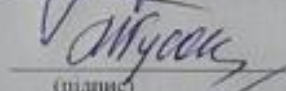
на тему: Обґрунтування оптимального розподілу об'ємів ґрунту при будівництві ділянки автомобільної дороги за умови мінімізації транспортних витрат

за освітньою програмою: Автомобільні дороги  
зі спеціальності: 192 Будівництво та цивільна інженерія  
(шифр і назва спеціальності)

Виконав:

 студент групи: ДА 2221  
Свген КРАСНИЦЬКИЙ  
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

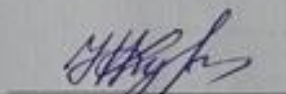
Керівник:

 Доцент Марина ГУСАК  
(підпис) (посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер:

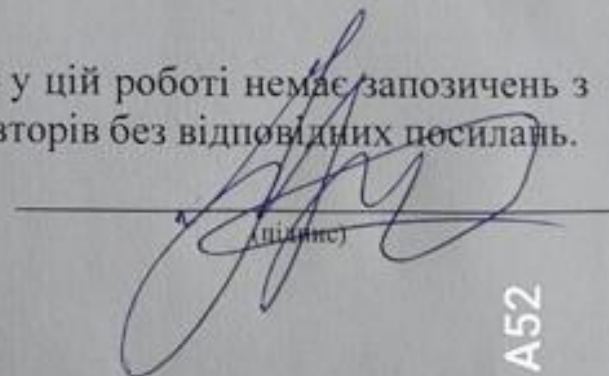
 Доцент Сергій БАЙДАК  
(підпис) (посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультант:

 Професор Микола КУРГАН  
(підпис) (посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

  
(підпис)

**Міністерство освіти і науки України**  
**Український державний університет науки і технологій**

**Факультет «Будівництво, архітектура та інфраструктура»**  
**Кафедра «Транспортна інфраструктура»**

**Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи

магістр

\_\_\_\_\_  
(ступінь вищої освіти)

**на тему:** Обґрунтування оптимального розподілу об'ємів ґрунту при будівництві ділянки автомобільної дороги за умови мінімізації транспортних витрат

**за освітньою програмою:** Автомобільні дороги і аеродроми  
**зі спеціальності:** 192 Будівництво та цивільна інженерія  
(шифр і назва спеціальності)

**Виконав:**

студент групи: ДА 2221

Євген КРАСНИЦЬКИЙ

\_\_\_\_\_  
(підпис студента)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

**Керівник:**

Доцент Марина ГУСАК

\_\_\_\_\_  
(підпис)

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

**Нормоконтролер:**

Доцент Сергій БАЙДАК

\_\_\_\_\_  
(підпис)

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

**Консультант:**

Ст. викл. Олег ЛУЖИЦЬКИЙ

\_\_\_\_\_  
(підпис)

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Ministry of Education and Science of  
Ukraine Ukrainian State University of  
Science and Technologies

Faculty of «Construction, Architecture and Infrastructure»  
(faculty)

Department of Transport Infrastructure  
(department)

Explanatory Note  
to Master's Thesis  
magistr  
(higher education degree)

Justification of the optimal distribution of soil volumes during the construction of a  
section of a road under the condition of minimizing transport costs

according to educational curriculum: Construction and civil engineering

in the Speciality: 192 Motor roads and airfields

Done by the student of the group: ДА2221

/ Evgeny Krasnytskyi /  
(name, surname)

Scientific Supervisor:

/ Associate Professor Maryna Husak /  
(position, name, surname)

Normative controller:

/ Associate Professor Sergiy Baidak /  
(position, name, surname)

Supervisors:

/ Senior teacher Oleg Luzhitsky /  
(position, name, surname)

**Міністерство освіти і науки України**  
**Український державний університет науки і технологій**

**Факультет:** *Будівництво, архітектура та інфраструктура*

**Кафедра:** *Транспортна інфраструктура*

**Рівень вищої освіти:** *Бакалавр*

**Освітня програма:** *Автомобільні дороги і аеродроми*

**Спеціальність:** *Будівництво та цивільна інженерія*

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Завідувач кафедри

Олексій ТЮТКІН

(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

## З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу \_\_\_\_\_ магістр  
(ступінь вищої освіти)

студенту Красницькому Євгену Олександровичу

**1. Тема роботи:** Обґрунтування оптимального розподілу об'ємів ґрунту при будівництві ділянки автомобільної дороги за умови мінімізації транспортних витрат

**Керівник роботи:** Гусак Марина Анатоліївна, кандидат технічних наук

Затверджена наказом від 01.03. 2023 р. № 196 ст

**2. Строк подання** студентом роботи – 15 січня 2024 р.

**3. Вихідні дані до роботи:**

|                                         |                                                                                   |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Район проектування – Львівська область  | <i>Розрахункова швидкість, км/год – 50</i>                                        |
| Початковий пункт – ст. Мостиська        | <i>Інтенсивність руху дорожніх транспортних засобів – 120 вант. автом.на добу</i> |
| Кінцевий пункт – майданчик вивантаження | <i>Категорія дороги – V</i>                                                       |
| Довжина ділянки дороги, км – 6          | <i>Кількість смуг руху – 2</i>                                                    |
| Керівний похил, ‰ – 50                  | <i>Конструкція дорожнього одягу – асфальтобетон</i>                               |

**4. Зміст пояснювальної записки:**

**1 Аналітична частина**

1.1 Аналіз стану питання щодо будівництва автомобільних доріг у Львівській області.  
Мета роботи.

1.2 Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою

1.3 Норми проектування плану і поздовжнього профілю при реконструкції автомобільної дороги.

**2 Основна частина**

2.1 Технічна характеристика об'єкту «Сухий порт»

2.2 Методика обґрунтування розподілу об'ємів ґрунту при будівництві ділянки автомобільної дороги

2.3 Оптимальний розподіл земляних мас

| <b>3 Економічна частина</b>                                                                                                     |                                           |                 |                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------|-------------------|
| 3.1 Виконання робіт з ущільнення земляного полотна. Методика визначення оптимальної щільності ґрунту                            |                                           |                 |                   |
| 3.2. Оцінка параметрів машин для ущільнення ґрунту                                                                              |                                           |                 |                   |
| 3.3. Визначення експлуатаційної продуктивності котка для ущільнення ґрунту                                                      |                                           |                 |                   |
| <b>4 Охорона праці та захист навколишнього середовища</b>                                                                       |                                           |                 |                   |
| 4.1 Заходи з охорони праці при ущільненні земляного полотна автомобільної дороги                                                |                                           |                 |                   |
| 4.2 Захист навколишнього середовища при будівництві земляного полотна автомобільної дороги                                      |                                           |                 |                   |
| <b>5. Перелік графічного матеріалу:</b> Графіки розподілу земляних мас при відсіпанні й ущільненні земляного полотна автодороги |                                           |                 |                   |
| <b>6. Консультанти розділів роботи:</b>                                                                                         |                                           |                 |                   |
| Розділ                                                                                                                          | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Завдання видав: | Завдання прийняв: |
|                                                                                                                                 |                                           | (підпис, дата)  | (підпис, дата)    |
| 1                                                                                                                               | Гусак М.А., доцент                        |                 |                   |
| 2,4                                                                                                                             | Гусак М.А., доцент                        |                 |                   |
| 3                                                                                                                               | Лужицький О.Ф., ст. викл.                 |                 |                   |

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи                                                                                                                                           | Строк виконання етапів роботи | Відсотки |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | Аналіз стану питання щодо будівництва автомобільних доріг в Миколаївській області. Мета роботи.                                                                               | 02.10.2023                    | 10       |
| 2     | Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою. Вимоги і норми проектування плану й профілю при реконструкції автомобільної дороги                                         | 16.10.2023                    | 10       |
| 3     | Технічна характеристика об'єкту у межах Львівської області (ст. Мостиська- майданчик вивантаження).                                                                           | 01.11.2023                    | 15       |
| 4     | Методика обґрунтування оптимального розподілу об'ємів ґрунту при будівництві ділянки автомобільної дороги. Дослідження впливу різних факторів на величину транспортних витрат | 20.11.2023                    | 25       |
| 5     | Техніко-економічне порівняння варіантів розподілу об'ємів ґрунту при будівництві ділянки автомобільної дороги. Обґрунтування рекомендованого варіанту                         | 11.12.2023                    | 20       |
| 6     | Охорона праці та захист навколишнього середовища                                                                                                                              | 25.12.2023                    | 10       |
| 7     | Подання кваліфікаційної роботи до кафедри                                                                                                                                     | 15.01.2024                    | 10       |
| 8     | Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії                                                                                                             | <b>28.01.2024</b>             | 100      |

**Студент**

\_\_\_\_\_ Євген КРАСНИЦЬКИЙ  
(підпис)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ Марина ГУСАК  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:  
(рівень освіти)

85 с., 32 рис., 10 табл., 29 джерела.

**Об'єкт дослідження** – процес будівництва земляного полотна ділянки автомобільної дороги.

**Предмет дослідження** – розподіл ґрунту між виїмками, кар'єрами і резервами для відсипання насипів земляного полотна під'їзної автомобільної дороги до терміналу типу «Сухий порт».

**Мета роботи** – розробка заходів для підвищення надійності роботи земляного полотна автомобільної дороги до терміналу типу «Сухий порт».

**Методи дослідження.** У роботі використовувалися статистичний аналіз і натурні спостереження для визначення параметрів плану, поздовжнього профілю і технічного стану під'їзної дороги. Розрахунки виконувались за програмою Excel.

**Одержані результати.** У магістерській роботі застосовується комплексний підхід, що передбачає оцінку сумісної роботи земляного полотна, дорожньої основи і покриття. Проведений аналіз наукових праць дозволив визначити мету й напрямок дослідження, що включає такі питання як підвищення надійності роботи земляного полотна й автодорожнього покриття за рахунок оптимального розподілу об'ємів ґрунту при будівництві ділянки автомобільної дороги. Проаналізовано технічні параметри різних машин з ущільнення ґрунтів, що використовуються при будівництві земляного полотна. За результатами виконаних розрахунків наведено рекомендації щодо обґрунтування найбільш раціонального типу ущільнюючої машини для отримання проєктної щільності ґрунту при будівництві під'їзної автомобільної дороги до залізничного терміналу типу «Сухий порт».

**Ключові слова:** план автомобільної дороги, поздовжній профіль, земляне полотно, насип, виїмка, ґрунтоущільнюючі машини, щільність ґрунту.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВСТУП.....</b>                                                                                                  | <b>7</b>  |
| <b>1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....</b>                                                                                  | <b>9</b>  |
| 1.1 Аналіз стану питання щодо будівництва автомобільних доріг у Львівській області. ....                           | 9         |
| 1.2 Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою.....                                                         | 13        |
| 1.3 Норми проектування плану і поздовжнього профілю під'їзної автомобільної дороги.....                            | 17        |
| <b>2 ОСНОВНА ЧАСТИНА .....</b>                                                                                     | <b>27</b> |
| 2.1 Технічна характеристика об'єкту «Сухий порт».....                                                              | 27        |
| 2.2 Методика обґрунтування оптимального розподілу об'ємів ґрунту при будівництві ділянки автомобільної дороги..... | 34        |
| <b>3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....</b>                                                                                  | <b>49</b> |
| 3.1 Виконання робіт з ущільнення земляного полотна. Методика визначення оптимальної щільності ґрунту.....          | 49        |
| 3.2 Оцінка параметрів машин для ущільнення ґрунту.....                                                             | 54        |
| 3.3 Визначення експлуатаційної продуктивності котка для ущільнення ґрунту .....                                    | 58        |
| <b>4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ..</b>                                                       | <b>64</b> |
| 4.1 Заходи з охорони праці при ущільненні земляного полотна автомобільної дороги.....                              | 64        |
| 4.2 Захист навколишнього середовища при будівництві земляного полотна автомобільної дороги.....                    | 70        |
| <b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>                                                                                      | <b>81</b> |
| <b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....</b>                                                                                       | <b>82</b> |

|           |     |                |        |      |                         |        |       |         |
|-----------|-----|----------------|--------|------|-------------------------|--------|-------|---------|
|           |     |                |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 |        |       |         |
| Ар.       | Зм. | № докум.       | Підпис | Дата | Магістерська робота     | Стадія | Аркуш | Аркушів |
| Розробник |     | Красницький Є  |        |      |                         | П      |       |         |
| Гол. кер. |     | Гусак М.А..    |        |      |                         |        |       |         |
|           |     |                |        |      |                         |        |       |         |
| Консульт. |     | Лужицький О.Ф. |        |      |                         | УДУНТ  |       |         |
| Нормокон. |     | Байдак С. Ю.   |        |      |                         |        |       |         |

## ВСТУП

Національна програма «Велике будівництво» була запущена в 2019 році Президентом України Володимиром Зеленським. Програма передбачала масштабну розбудову інфраструктури України, включаючи будівництво та ремонт автомобільних доріг.

У рамках програми «Велике будівництво» було заплановано:

- побудувати або відремонтувати понад 15 тисяч кілометрів автомобільних доріг, включаючи 10 тисяч кілометрів доріг державного значення;
- удосконалити систему управління дорожнім господарством;
- розробити нові технології будівництва та ремонту доріг.

За два роки реалізації програми «Велике будівництво» було побудовано або відремонтовано понад 14 тисяч кілометрів автомобільних доріг, включаючи 9 тисяч кілометрів доріг державного значення; впроваджено систему електронного обліку дорожньої галузі, яка дозволяє контролювати виконання робіт та витрати коштів; розроблено нові технології будівництва та ремонту доріг, зокрема, технологія будівництва асфальтобетонних доріг з використанням вторинних ресурсів.

Програма «Велике будівництво» отримала позитивні оцінки від експертів та громадськості. Вона сприяла поліпшенню стану автомобільних доріг в Україні та підвищенню рівня безпеки дорожнього руху.

У грудні 2022 року Верховна Рада України прийняла закон, який призупиняє дію програми «Велике будівництво» до 1 січня 2024 року. Причиною призупинення програми стали економічні проблеми, викликані російською агресією проти України.

Закон передбачає, що за час призупинення програми «Велике будівництво» буде проведено аудит її ефективності. На основі результатів аудиту буде прийнято рішення про продовження програми або її реформування.

Після продовження програми на порядок денний постануть питання відновлення автомобільних доріг зруйнованих російською агресією. Одним з

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         |       |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 7     |

актуальних завдань буде будівництво земляного полотна для розвитку економіки та підвищення рівня комфорту життя населення.

Будівництво якісних автомобільних доріг вимагає значних витрат, зокрема на транспортування ґрунту. Транспортні витрати можуть становити значну частину загальної вартості будівництва, тому їх мінімізація є важливою задачею.

Так, аналіз існуючих методів розподілу об'ємів ґрунту передбачає рішення транспортної задачі. Транспортна задача – це клас задач оптимізації, який полягає в розподілі певного ресурсу між декількома пунктами призначення. У випадку розподілу об'ємів ґрунту ресурсом є ґрунт (виїмки, кар'єри), а пунктами призначення - ділянки автомобільної дороги, де необхідно використовувати ґрунт (насипи).

Рішення транспортної задачі є важливим аспектом аналізу існуючих методів розподілу об'ємів ґрунту. Це дозволяє зрозуміти, як ці методи вирішують одну з основних задач, пов'язаних з розподілом ґрунту. Дослідженню окремих питань окресленої проблеми присвячена дійсна кваліфікаційна магістерська робота.

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         | 8     |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         |       |

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Аналіз стану питання щодо будівництва автомобільних доріг у Львівській області

Автомобільні шляхи Львівської області – мережа доріг на території Львівщини, що об'єднує між собою населені пункти та окремі об'єкти та призначена для руху транспортних засобів, перевезення пасажирів та вантажів.

Уряд затвердив Перелік об'єктів будівництва, реконструкції, капітального та поточного середнього ремонту автомобільних доріг загального користування державного значення у Львівській області та обсягів бюджетних коштів для їх фінансування за рахунок спеціального фонду державного бюджету [2].

В рамках цієї бюджетної програми кошти будуть спрямовані на:

- капітальний ремонт автомобільної дороги Т-14-25 Миколаїв – Городок – Жовква – Кам'янка-Бузька – Бібрка на ділянках км 0+000 - км 12+000, км 24+500 - км 34+000;

- завершення робіт з реконструкції мостового переходу на автомобільній дорозі М-12 Стрий – Тернопіль – Кропивницький – Знам'янка (через м. Вінницю);

- влаштування з'їзду з автомобільної дороги державного значення Н-09 Мукачеве – Рахів – Богородчани – Івано-Франківськ – Рогатин – Бібрка – Львів на автомобільну дорогу державного значення М-06 Київ – Чоп для правоповоротного руху за напрямком Львів – Івано-Франківськ;

- влаштування додаткових смуг руху на автомобільній дорозі М-06 Київ – Чоп на ділянці км 546+400 - км 553+017 (об'їзд м. Львів);

- поточний середній ремонт виконують на окремих ділянках таких автомобільних доріг державного значення: М-11 Львів – Шегині; Н-13 Львів – Самбір – Ужгород; Р-40 Рава-Руська – Яворів – Судова Вишня; Т-14-15 Мостиська – Самбір – Борислав.

Відповідно до державної програми «Покращення стану автомобільних доріг загального користування за маршрутом Львів – Тернопіль – Умань (рисунки 1.1), Біла Церква – Одеса – Миколаїв – Херсон» заплановано влаштування з'їзду з

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         | 9     |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         |       |

автомобільної дороги державного значення М-09 Тернопіль – Львів – Рава-Руська на автомобільну дорогу державного значення М-06 Київ – Чоп для правоповоротного руху за напрямком Львів – Чоп. Для реалізації зазначених робіт передбачено 11 млн грн.



Рисунок 1.1 – Поточний середній ремонт Львів – Тернопіль – Підбезізіці

У межах інвестиційних проєктів «Покращення стану автомобільних доріг загального користування Львівської області» продовжуються ремонтні роботи на таких автомобільних дорогах:

- капітальний ремонт дороги М-11 Львів – Шегині у м. Городок;
- капітальний ремонт дороги Т-14-16 Львів – Пустомити – Меденичі на ділянці м. Пустомити – смт. Щирець;
- реконструкція дороги Т-14-16 Львів – Пустомити – Меденичі на ділянці смт. Щирець – с. В. Горожанка.

Крім цього, заплановано розпочати роботи з капітального ремонту на автомобільних дорогах Т-14-16 Львів – Пустомити – Меденичі на ділянці км 38+200 - км 53+992 та Т-14-25 Миколаїв – Городок – Жовква – Кам’янка – Бузька – Бібрка на ділянці км 0+000 - км 12+000; км 24+500 - км 34+000, а також реконструкцію автодороги Т-14-25 Миколаїв – Городок – Жовква – Кам’янка-

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 10    |

Бузька – Бібрка на ділянці км 34+000 – км 40+738.

Для реалізації інвестиційного проекту передбачено 500 млн грн. На Львівщині проводять капітальний ремонт доріг та реконструкцію мостових переходів. До таких об'єктів відноситься реконструкція мостового переходу на ділянці автомобільної дороги Львів – Радехів – Луцьк через р. Західний Буг на км 33 + 044 автомобільної дороги загального користування державного значення Н-17 Львів – Радехів – Луцьк. Орієнтовний термін завершення ремонту – липень 2023 року.

Виконується капітальний ремонт автомобільних доріг Варяж – Бояничі, Варяж – Белз та Белз – Великі Мости. Департамент дорожнього господарства виготовив проєктно-кошторисні документації на виконання робіт з капітального ремонту автомобільних доріг загального користування місцевого значення О141606 КПП Варяж – Бояничі, С141612 Варяж – Белз та О141605 Белз – Великі Мости. Вартість ремонтних робіт складає понад 955 млн гривень. Перелічені автомобільні дороги є під'їзними до пунктів пропуску через кордон.

У 2023 році департамент дорожнього господарства планує провести роботи з відновлення асфальтобетонного покриття на ділянці автомобільної дороги С140613 Грядка – Городжів в межах експлуатаційного утримання (рисунки 1.2 – 1.3).



Рисунок 1.2 – Підготовка дороги до укладання асфальтобетону

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 11    |



Рисунок 1.3 – Укладання асфальтобетонного покриття

Дорожники проводять також ремонт автомобільної дороги загального користування місцевого значення С141711 Дроздовичі – Міженець – Бісковичі на ділянці Дроздовичі – Чишки – Лютовиська. На виконання цих робіт з державного бюджету на 2023 рік передбачили 58,4 млн гривень.

Департамент дорожнього господарства здійснив обстеження автомобільної дороги С140439 (Нижанковичі – Стрий) – Нижні Гаї та визначив найбільш проблемну ділянку маршруту. Протяжність цієї ділянки становить 4,1 км. Орієнтовна сума для проведення ремонтних робіт становить близько 30 млн грн.

У 2023 році на ділянці автомобільної дороги С140674 Нагірці – Могиляни з гравійним типом покриття планують провести роботи з профілювання з метою ліквідації аварійної ямковості.

Проводиться відновлення ділянки автомобільної дороги Нижанковичі – Самбір – Дрогобич – Стрий. Підрядна організація ТОВ «ДРОГ-БУД» (Польща) проводить капітальний ремонт на ділянці автомобільної дороги Т-14-18 Нижанковичі – Самбір – Дрогобич – Стрий. Роботи оплачують кредитними коштами, які передбачили у договорі між Урядом України та Урядом Республіки Польща.

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 12    |

Ремонтні роботи на автомобільній дорозі Т-14-18 Нижанковичі – Самбір – Дрогобич – Стрий дорожники виконують відповідно до розробленої та затвердженої проектно-кошторисної документації. Документи пройшли комплексну експертизу на відповідність вимогам нормативних документів, а також погодження проекту організації дорожнього руху в управлінні патрульної поліції у Львівській області. Під час розроблення проекту консультаційні послуги надавала фірма В-аст (Польща). Станом на сьогодні капітальний ремонт триває, усі зауваження опрацьовують.

Серед об'єктів слід назвати проект «Сухий порт» – логістичний термінал, який розташований близько ст. Мостиська і безпосередньо пов'язаний автомобільним і залізничним сполученням. Проект реалізує компанія «Місто Логістики». Запуск «Сухого порту» у Мостиську заплановано на 2025 рік.

Цей проект має важливе значення для розвитку логістичної інфраструктури України. Він дозволить поліпшити логістичні зв'язки між Західною Україною і морськими портами України.

## **1.2 Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою.**

Окреслена в кваліфікаційній роботі проблема – земляне полотно автомобільної дороги. Комплексний підхід, що застосовується в дослідженні, передбачає оцінку сумісної роботи земляного полотна, дорожньої основи і покриття. Від того, як буде ущільнене земляне полотно й виконана дорожня основа залежить, чи буде дорожній одяг міцним і довговічним.

Існуючі методи аналізу розрахунку міцності дорожнього одягу та в сучасній Україні базуються на дослідженнях вітчизняних та іноземних авторів. Роботи містять аналіз різних типів покриттів. Серед вітчизняних авторів це: Гамеляк І. П., Карафізі Л. М., Павленко Н. В., Кірічек Ю. О, Балашова Ю. Б., Дем'яненко В. В., Руденко К. С., Мозговий В. В., Онищенко А. М., Куцман О. М., Баран С. А., Дмитриченко А. М., Нагайчук В. М., Райковський В. Ф., Биковець М. М., Боровик І. І., Солодкий С. Й., та ін. Також були розглянуті роботи іноземних авторів Wang Li-Juan, Vivekanand S Gogi, Himanshu Sharma, Filippo

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 13    |

Pratico, Gaetano Licitra, Briante P. G. та ін.

Аналіз робіт сучасних авторів.. Після проведеного аналізу наукових праць іноземних авторів, було встановлено, що на момент написання статті [3] єдиного методу розрахунку конструкції з блочного покриття в Україні немає. Авторами цієї роботи [3] Гамеляком І. П. та Карафізі Л. М. була поставлена й вирішена актуальна задача щодо створення нового методу розрахунку дорожнього одягу.

В іншій роботі Гамеляка І. П. та Карафізі Л. М. [4] розглянуто досвід впровадження дорожніх покриттів з брукованим покриттям, проаналізовано роботу таких покриттів на реальних прикладах. Були надані рекомендації щодо подальшого використання бруківки в дорожньому будівництві, а результати дослідження впроваджено в норми проектування.

В роботі Мозгового В. В., Онищенко А. М., Куцмана О. М. [5] наведена методика та результат експериментального випробування міжшарового зчеплення дорожнього одягу, який являється важливою складовою критеріїв забезпечення міцності конструкції.

Результати дослідження щодо зниження витрат на будівництво різних видів дорожнього одягу представлено в роботі Кірічка Ю. О., Балашова Ю. Б., Дем'яненка В. В. та Руденко К. С. [6]. Показано, що застосування геосинтетичних армуючих матеріалів є ефективним методом для підвищення міцності конструкції. Більш дороге будівництво нівелюється зменшенням витрат на подальший ремонт.

В роботі Солодкого С. Й. та Думича І. Ю. [7] проведено дослідження про залежність витривалості покриттів з бетону на різних типів основ за критерієм жорсткості. Залежності були встановлені експериментальним шляхом на моделях конструкцій дорожніх одягів із використанням теорії математичного планування експерименту.

Аналіз існуючих методів, теорій та моделей щодо визначення напружено-деформованого стану жорсткого дорожнього одягу обумовили необхідність розвитку конструкторських рішень, які й були запропоновані в роботі Гамеляка І. П., Цибульського В. М., Харченко А. М. [8].

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 14    |

В роботі Гамеляка І. П., Дмитриченка А. М., Нагайчука В. М., Райковського В. Ф., Биковця М. М. [9] викладено результати досліджень з ремонту та підсилення покриттів нежосткого типу за технологією «whitetopping».

Технологія «whitetopping» (біле покриття) – це метод ремонту та підсилення покриттів нежосткого типу, який полягає в нанесенні на існуючу поверхню шару жорсткого бетону.

Ця технологія має ряд переваг порівняно з традиційними методами ремонту та підсилення покриттів нежосткого типу:

Збільшує термін служби покриттів. Жорсткий бетон має більшу міцність і довговічність, ніж нежорсткі матеріали, такі як асфальтобетон.

Поліпшує експлуатаційні характеристики покриттів. Жорсткий бетон забезпечує кращу водонепроникність, стійкість до зношування та стійкість до корозії.

Зменшує витрати на ремонт та утримання. Жорсткі бетонні покриття вимагають меншого ремонту і утримання, ніж нежорсткі покриття.

Технологія «whitetopping» може використовуватися для ремонту та підсилення різних типів покриттів нежосткого типу, таких як асфальтобетонні ґрунтові і бетонні покриття.

Технологія «whitetopping» включає в себе такі етапи:

1. Підготовка існуючої поверхні. Існуюча поверхня повинна бути очищена від сміття, пилу та залишків старого покриття. Нерівності поверхні повинні бути усунені.

2. Укладання геотекстильного матеріалу. Геотекстильний матеріал забезпечує армування нового покриття і запобігає його просідання.

3. Укладання шару жорсткого бетону. Шар бетону повинен мати товщину не менше 5 см.

4. Вирівнювання та затирання бетону. Бетон повинен бути вирівняний і затертий для отримання гладкої поверхні.

Технологія «whitetopping» є ефективним методом ремонту та підсилення

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         | 15    |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         |       |

покриттів нежосткого типу. Вона дозволяє поліпшити експлуатаційні характеристики покриттів і збільшити їх термін служби.

Наведені в роботі [9] приклади показують переваги нової технології. За результатами аналізу зроблені висновки щодо доцільності застосування технології в подальшому розвитку автодорожнього будівництва.

Шляхом порівнянням цін на різні матеріали протягом декількох років в роботі Безуглого А. О., Ілляша С. І., Тимощука О. Ю. [10] викладено результати проведеного аналізу доцільності використання того чи іншого типу покриття дорожнього одягу. Побудовані графіки тенденцій зміни цін дозволяють передбачати витрати на нове будівництво і утримання автодороги.

На основі порівняння роботи неармованого і армованого нежорсткого дорожнього одягу в роботі Мозгового В. В., Куцмана О. М., Барана С. А., Боровика І. І. [11] експериментально доведені характеристики міцності асфальтобетону при різній ступені ущільнення.

Актуальною проблемою покращення властивості цементобетона є застосування хімічних добавок. В роботі Чистякова В. В., Шургая А. Г., Дорошенка Ю. М., Чиженка Н. П., Кабуся Л. Б. [12] показано, як можна визначити необхідну кількості різних хімічних добавок, що підвищують властивості цементобетонного покриття.

В статті О. І. Петренко, Пашковича А. М. [13] досліджено поняття «сухий порт», його застосування, визначення, характерні риси і недоліки, функціонування. За викладеним матеріалом можна зрозуміти, що термін набуває широкого використання, але не завжди являється тим, що закладено в нього було «на початку». Були наведені приклади українських підприємств, які використовують цей термін і проаналізовано доцільність його використання в різних випадках.

Аналіз робіт іноземних авторів. В роботі Wang Li-Juan [14] наведені результати проведеного експерименту з дослідження поведінки цементобетонного покриття на ранніх етапах експлуатації. Дослідження показало,

що в перші 28 днів експлуатації значний вплив має саме навколишнє середовище. Надані рекомендації щодо правильної експлуатації цементобетонного покриття на ранніх стадіях.

В роботі Jeevitha D. N., Vivekanand S Gogi, Himanshu Sharma [15] розглянуто проблему виявлення пошкоджень автомобільних доріг та визначення їх класифікації. Було запропоновано нову систему, в якій зберігаються дані про дорогу та її пошкодження. За допомогою знімків система визначає стан поверхні на основі дефектів, створюючи відповідну модель. Також система визначає фактори, які спричинили пошкодження дороги. Ці дані в перспективі можуть використовуватися для забезпечення певних заходів з технічного обслуговування.

В роботі Filippo Pratico, Gaetano Licitra, P. G. Briante [16] проаналізовано вплив дорожніх покриттів на дренаж і створення шумового забруднення. Розглянуто різні шари дорожнього покриття з урахуванням дії зовнішніх факторів, умов та етапів експлуатації. Запропоновано різні алгоритми, що допомагають визначати властивості конструкції.

Проведений аналіз наукових праць дозволив визначити напрямок дослідження. Мета роботи – підвищення надійності роботи земляного полотна й автодорожнього покриття за рахунок оптимального розподілу об'ємів ґрунту при будівництві ділянки автомобільної дороги.

### **1.3 Норми проектування плану і поздовжнього профілю під'їзної автомобільної дороги**

#### **1.3.1 Проектування плану й профілю під'їзної автомобільної дороги**

Внутрішні під'їзні автомобільні дороги до терміналу слід проектувати в ув'язці з генеральним планом промислового підприємства. Необхідно враховувати умови забезпечення перевезень вантажів, проїзди, безпеку руху та водовідведення [17].

У якості об'єкту дослідження розглядається «Сухий порт». Це логістичний термінал, який розташований у Львівській області й безпосередньо пов'язаний автомобільним і залізничним сполученням.

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         | 17    |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         |       |

При проєктуванні під'їзної автомобільної дороги до терміналів рекомендується використовувати такі параметри плану і поздовжнього профілю (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Нормативні параметри для проєктування доріг і внутрішньо-майданчикових ділянок

| Параметри плану і поздовжнього профілю             | Значення параметрів для                                                         |                                                                                                                                                                         |                                                                                                      |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                    | внутрішньом айданчикови х ділянок, міжплощадн их доріг на забудованій території | міжмайданчикових та кар'єрних постійних доріг, лісовозних магістралей та доріг газодобувних, нафтовидобувних, нафтопромислових підприємств I-в, II-в та III-в категорій | кар'єрних доріг короткострокової дії, службових та патрульних доріг IV-в категорії, лісовозних гілок |
| Найбільший поздовжній похил, ‰:                    |                                                                                 |                                                                                                                                                                         |                                                                                                      |
| основні                                            | 30                                                                              | 30                                                                                                                                                                      | 40                                                                                                   |
| Допускаються в умовах:                             |                                                                                 |                                                                                                                                                                         |                                                                                                      |
| тяжких                                             | 40                                                                              | 50                                                                                                                                                                      | 60                                                                                                   |
| Особливо тяжких                                    | 60                                                                              | 80                                                                                                                                                                      | 90                                                                                                   |
| Відстань видимості, м:                             |                                                                                 |                                                                                                                                                                         |                                                                                                      |
| поверхні дороги                                    | 75                                                                              | 150                                                                                                                                                                     | 75                                                                                                   |
| Зустрічного автомобіля                             | 150                                                                             | 300                                                                                                                                                                     | 150                                                                                                  |
| Найменші радіуси кривих в плані, м                 | 300                                                                             | 600                                                                                                                                                                     | 150                                                                                                  |
| Найменші радіуси кривих в поздовжньому профілі, м: |                                                                                 |                                                                                                                                                                         |                                                                                                      |
| опуклих                                            | 2500                                                                            | 5000                                                                                                                                                                    | 1000                                                                                                 |
| увігнутих                                          | 1500                                                                            | 2000                                                                                                                                                                    | 800                                                                                                  |

Однак, коли умови місцевості або планувальних рішень не дозволяють в повній мірі дотримуватись рекомендацій або економічно недоцільно застосування даних параметрів, то в такому випадку допускається пониження норм на основі техніко-економічного порівняння варіантів враховуючи інтенсивність і склад руху, кліматичні умови, вид дорожнього покриття й безпеку руху. При цьому існують найменші відстані видимості і радіуси кривих, які зазначені в [17] і наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Значення параметрів плану й профілю в залежності від розрахункової швидкості транспортних засобів

| Параметри плану та поздовжнього профілю                | Значення параметрів при розрахунковій швидкості руху транспортних засобів, км/год |      |      |      |     |          |          |          |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|-----|----------|----------|----------|
|                                                        | 70                                                                                | 60   | 50   | 40   | 30  | 25       | 20       | 15       |
| Розрахункова відстань видимості, м:                    |                                                                                   |      |      |      |     |          |          |          |
| поверхні дороги                                        | 150                                                                               | 125  | 100  | 75   | 50  | 40       | 30       | 25       |
| зустрічного автомобіля                                 | 300                                                                               | 250  | 200  | 150  | 100 | 80       | 60       | 50       |
| Найменші радіуси кривих у плані, м, при перевезеннях:  |                                                                                   |      |      |      |     |          |          |          |
| звичайних вантажів, у тому числі сортиментів           | 200                                                                               | 125  | 100  | 60   | 30  | 25<br>35 | 20<br>30 | 15<br>25 |
| довгомірних вантажів, хлестів та дерев                 | 200                                                                               | 125  | 100  | 60   | 50  | 40       | 30       | -        |
| Найменші радіуси кривих, м, у поздовжньому профілі:    |                                                                                   |      |      |      |     |          |          |          |
| опуклих при висоті очей водія над поверхнею дороги, м: |                                                                                   |      |      |      |     |          |          |          |
| 1,2                                                    | 5000                                                                              | 4000 | 2500 | 1200 | 600 | 400      | 250      | 150      |
| 2,0                                                    |                                                                                   |      | 2500 | 1200 | 600 | 400      | 250      | 150      |
| 2,5                                                    |                                                                                   |      | 2000 | 1000 | 500 | 350      | 200      | 150      |
| 3,0 і більше                                           |                                                                                   |      | 1500 | 800  | 400 | 300      | 150      | 150      |
| увігнутих:                                             |                                                                                   |      |      |      |     |          |          |          |
| основні                                                | 2000                                                                              | 1500 | 1200 | 1000 | 600 | 400      | 250      | 150      |
| допускаються у важких умовах                           | 600                                                                               | 300  | 300  | 200  | 100 | 100      | 100      | 100      |

### 1.3.2 Вертикальне планування

Вертикальне планування – це план території з наведеними висотними відмітками, а також, за можливості, будівлями, мережами, тощо. Вид планування може відрізнятися відповідно до поставлених завдань і етапів проектування.

Важливим складовим для побудови плану є генеральний план місцевості з вертикальним плануванням.

При плануванні виробничих територій передбачається:

- зонування території з урахуванням технологічних зв'язків, відповідних вимог протипожежних та санітарних заходів, видів транспорту, вантажообіг;
- раціональну організацію транспортної та інженерної інфраструктури з урахуванням виробничо-технічних зв'язків;
- інтенсивне використання території;
- організацію єдиної мережі громадського обслуговування робочих;
- будівництво та введення в експлуатацію пусковими комплексами або чергами;
- благоустрій території;
- захист території від небезпечних наслідків виробничої діяльності;
- відновлення відведених у користування земель, порушених в процесі виробничої діяльності, а також при будівництві.

Також необхідно передбачити такі параметри як:

- відстань між будівлями та спорудами, інженерними мережами;
- автостоянки в адміністративно-побутовій частині;
- ширини воріт автомобільних та залізничних в'їздів;
- габарити наближень рухомого складу залізниці;

Відстані від будівель та споруд до краю проїзної частини автомобільних доріг приймаються відповідно до таблиці 1.3:

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         | 20    |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         |       |

Таблиця 1.3 – Відстані від будівель та споруд до краю проїзної частини автомобільних доріг

| Будівлі та споруди                                                                                                                                                       | Відстань, м |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1. Зовнішні межі стін будівель, включаючи тамбури та прибудови:                                                                                                          | 1,5         |
| а) за відсутності в'їзду в будівлю і за довжиною будівлі до 20 м                                                                                                         |             |
| б) те саме за довжиною будинку понад 20 м                                                                                                                                | 3           |
| в) за наявності в'їзду в будівлю двохосьових автомобілів і автотранспорту                                                                                                | 8           |
| г) за наявності в'їзду в будівлю тривісних автомобілів                                                                                                                   | 12          |
| д) за наявності в'їзду в будівлю тільки електрокарів                                                                                                                     | 5           |
| 2. Осі паралельно розташованих залізничних колій, мм:                                                                                                                    | 3,75        |
| 1520 (1524)                                                                                                                                                              |             |
| 750                                                                                                                                                                      | 3           |
| 3. Огорожа майданчика підприємства                                                                                                                                       | 1,5         |
| 4. Зовнішні межі опор естакад і шляхопроводів, димових труб, стовпів, щогл, виступаючих частин будівель: пілястр, контрфорсів, зовнішніх сходів тощо.                    | 0,5         |
| 5. Вісь залізничної колії, по якій перевозиться рідкий матеріал, шлак, візки зі злитками та виливницями, візки з мульдами і коробами для перевезення шихтових матеріалів | 5           |

Приклад вертикального планування наведено на рисунку 1.4.



### 1.3.3 Поперечний профіль майданчиків

Основні параметри поперечного профілю проїзної частини внутрішньо-майданчикових доріг та ділянок слід приймати згідно таблиці 1.4

Таблиця 1.4 – Значення параметрів поперечного профілю в залежності від категорії дороги

| Параметри поперечного профіля                                        | Значення параметрів для доріг категорії |                                |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|
|                                                                      | III-в                                   | IV-в                           |
| Число смуг руху                                                      | 2                                       | 1                              |
| Ширина проїзної частини, м, для розрахункового автомобіля шириною м: |                                         |                                |
| 2,5 и менше                                                          | 6,0/6,5                                 | 4,5/4,5                        |
| 2,75                                                                 | 6,0/6,5                                 | 4,5/4,5                        |
| 3,2                                                                  | 7,5/9,0                                 | 4,5/5,0                        |
| 3,5                                                                  | 9,0/10,5                                | 5,0/5,5                        |
| 3,8                                                                  | 9,5/12,0                                | 5,0/6,0                        |
| 5,0                                                                  | 12,0/15,0                               | 6,5/7,0                        |
| Ширина узбіччя, м                                                    | 1,5/1,0                                 | <u>1,0 - 3,25</u><br>1,0 - 3,5 |

Проїзну частину приймаємо з двосхилим поперечним профілем на прямолінійних ділянках автомобільних доріг усіх видів, а також на ділянках кривих у плані, на яких для прийнятих значення радіусів та розрахункових швидкостей руху пристрій віражу не потрібний.

В окремих випадках, обґрунтованих умовами вертикального планування та організації водовідведення, а також для внутрішньо-майданчикових доріг з однією смугою руху допускається приймати односхилий поперечний профіль проїжджої частини.

Поперечні ухили проїзної частини при двосхилим поперечному профілі слід призначати в залежності від типу дорожнього одягу та кліматичних умов за таблицею 1.5.

**Таблиця 1.5 – Поперечний похил проїзної частини для різних типів  
дорожнього одягу**

| Тип дорожніх одягів                                                                       | Поперечний похил проїзної частини, ‰ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Капітальні з асфальтобетонним, цементобетонним, залізобетонним та армобетонним покриттями | 15 – 20                              |
| Полегшені                                                                                 | 25 – 30                              |
| Перехідні                                                                                 | 30 – 35                              |
| Нижчі                                                                                     | 35 – 40                              |

На кривих ділянках у плані радіусом 600 м і менше за відповідних значень розрахункових швидкостей руху слід передбачати улаштування віражів з односхилим поперечним профілем з ухилом до центру кривої.

Влаштування віражів допускається не передбачати: на внутрішньо-майданних і міжмайданних автомобільних дорогах, що розташовані в зоні забудови; на кар'єрних дорогах короткострокової дії (при терміні служби до одного року); на ділянках доріг, що розташовані в зоні примикань та перетинів [17].

В магістерській роботі був обраний односхилий поперечний профіль через необхідність поверхневого водовідведення.

### **1.3.4 Під'їзна автодорога**

Для під'їзної автодороги до підприємства використовується інші норми, ніж для майданчиків [18].

Поперечний похил проїзної частини з асфальтобетонним і цементобетонним покриттям необхідно приймати 25‰, на гравійних та щебневих – від 25‰ до 30‰, на покриттях з ґрунтів, укріплених в'язучими та місцевими матеріалами, а також на бруківках з колотого та брукованого каменю – від 30‰ до 40‰.

Таблиця 1.6 – Параметри елементів плану і поздовжнього профілю, що залежать від проектних та розрахункових швидкостей згідно ДБН [19]

| Найменування елементів                | Параметри залежно від розрахункових швидкостей, км/год |      |      |      |      |     |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------|------|------|------|------|-----|
|                                       | 80                                                     | 70   | 60   | 50   | 40   | 30  |
| Найбільший поздовжній похил, ‰;       | 65                                                     | 70   | 75   | 80   | 90   | 100 |
| Найменший радіус кривої у плані, м    | 300                                                    | 225  | 150  | 100  | 65   | 50  |
| Найменший радіус кривої в профілі, м: |                                                        |      |      |      |      |     |
| – опуклої;                            | 8500                                                   | 5500 | 3500 | 2000 | 1000 | 800 |
| – увігнутої                           | 1700                                                   | 1300 | 1000 | 700  | 500  | 400 |
| – для зупинки автомобіля;             | 145                                                    | 115  | 90   | 70   | 50   | 35  |
| – зустрічного автомобіля              | 325                                                    | 290  | 250  | 210  | 170  | -   |

Для елементів плану і поздовжнього профілю основні параметри необхідно призначати такими [19]:

- поздовжні похили – до 30‰;
- відстань видимості за умови зупинки транспортного засобу – не менше ніж 450 м;
- радіуси кривих у плані – понад 3000м;
- радіуси опуклих кривих у поздовжньому профілі – понад 70000 м;
- радіуси увігнутих кривих у поздовжньому профілі – понад 8000 м;
- довжину опуклих кривих у поздовжньому профілі – понад 300 м;
- довжину увігнутих кривих у поздовжньому профілі – понад 100 м.

Ділянки прямих і кривих у плані при радіусі кривої 2000 та менше з'єднуються перехідними кривими.

Дорожнє огороження на узбіччі влаштовується при висоті насипу понад 2 м. Стояки дорожнього огороження повинні розміщуватись на відстані не менше ніж 0.75 м до брівки земляного полотна.

Висновки до розділу 1

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 25    |

Відповідно до завдання на кваліфікаційну роботу об'єктом дослідження є під'їзна автомобільна дорога до майданчика вивантаження. Встановлено, що логістичний термінал «Сухий порт», який розташований близько ст. Мостиська безпосередньо пов'язаний автомобільним і залізничним сполученням.

Цей проєкт має важливе значення для розвитку логістичної інфраструктури України. Він дозволить поліпшити логістичні зв'язки між Західною Україною і морськими портами України.

Комплексний підхід, що застосовується в дослідженні, передбачає оцінку сумісної роботи земляного полотна, дорожньої основи і покриття. Від того, як буде відсипане й ущільнене земляне полотно, виконана дорожня основа залежить, чи буде дорожній одяг міцним і довговічним.

Проведений аналіз наукових праць дозволив визначити мету й напрямок дослідження. Мета роботи – підвищення надійності роботи земляного полотна й автодорожнього покриття за рахунок оптимального розподілу об'ємів ґрунту при будівництві ділянки автомобільної дороги.

При проєктуванні під'їзної автомобільної дороги до терміналів рекомендується використовувати нормативні параметри плану і поздовжнього профілю та інші проєктні параметри, що забезпечить нормальне функціонування об'єктів.

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         | 26    |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         |       |

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Технічна характеристика об'єкту «Сухий порт»

2.1.1 Об'єкт дослідження

В кваліфікаційній роботі у якості об'єкту дослідження розглядається «Сухий порт». Сухий порт – це логістичний термінал, який розташований всередині країни і безпосередньо пов'язаний автомобільним або залізничним сполученням.

Сухі порти дозволяють переміщати вантажі між різними видами транспорту, наприклад, між залізничними вагонами і вантажними автомобілями. Це дозволяє оптимізувати логістичні процеси і зменшити витрати на транспортування вантажів. Вони дозволяють оптимізувати логістичні процеси і зменшити витрати на транспортування вантажів.

Сухі порти можуть використовуватися для зберігання вантажів до їх подальшої відправки. Це дозволяє забезпечити безперервність логістичного процесу і уникнути затримок у доставці вантажів.

Сухі порти можуть сприяти зменшенню екологічного впливу транспорту, наприклад, шляхом зменшення кількості перевезень вантажів автомобільним транспортом.

Такий проєкт у Львівській області, близько ст. Мостиська реалізує компанія «Місто Логістики». За планом, "Сухий порт" у Мостиську буде мати площу близько 100 га. Він буде включати в себе такі об'єкти:

- термінал для перевалки вантажів;
- складські приміщення для зберігання вантажів;
- митний пост;
- інфраструктуру для залізничного і автомобільного транспорту.

Запуск «Сухого порту» у Мостиську заплановано на 2025 рік.

Цей проєкт має важливе значення для розвитку логістичної інфраструктури України. Він дозволить поліпшити логістичні зв'язки між Західною Україною і морськими портами України.

«Сухий порт» у Мостиську буде пов'язаний залізничною лінією з портом у Чорноморську. Це дозволить переміщати вантажі між морськими суднами і залізничними вагонами без необхідності перевалки вантажів із судна на судно.

Порт знаходиться на перетині важливих транспортних артерій, що сполучають Східну та Центральну Європу, Азію та Європу, Південь та Північ та ведуть через Індійський океан, Атлантику та Середземне море. Завдяки порту, Україною налагоджено міжнародні зв'язки із понад сотнею світових країн. Чорноморський порт знаходиться у 12 милях на південний захід від Одеси на берегах Сухого лиману і входить до числа найбільших в Україні

Відстань від порту Чорноморський до ст. Мостиська становить близько 1000 км. Маршрут руху залізничного транспорту від порту Чорноморський до ст. Мостиська є прямим, проходить через такі міста як Чорноморськ, Одеса, Жмеринка, Львів, Мостиська.. Тривалість поїздки становить близько 24 годин.

Таким чином, «Сухий порт» у Мостиську можна розглядати як логістичний термінал, який розташований всередині країни, але безпосередньо пов'язаний з морським портом. Ось як це може працювати на практиці:

1. Морське судно прибуває в порт у Чорноморську.
2. Вантажі з морського судна перевантажуються в залізничні вагони.
3. Сформований вантажний поїзд прямує до «Сухого порту» близько ст. Мостиська.
4. Вантажі з залізничних вагонів перевантажуються на інші залізничні вагони або вантажні автомобілі.
5. Вантажі доставляються до споживачів у Західній Україні.

Цей процес дозволяє уникнути витрат на перевалки вантажів із судна на судно, що може призвести до суттєвого зниження витрат на транспортування вантажів.

Переваги будівництва «Сухого порту» у Мостиську:

- зменшення витрат на транспортування вантажів;
- підвищення ефективності логістичних процесів;

- створення нових робочих місць;
- розвиток регіональної економіки.

«Сухий порт» у Мостиську може стати важливим логістичним хабом для Західної України і сприяти її економічному розвитку.

Майданчик для будівництва виробничо-логістичного комплексу «Сухий порт» знаходиться поблизу ст. Мостиська-2. Поряд розташована залізнична станція Мостиська-2 Львівської залізниці.

Земельна ділянка загальною площею 36,5 га (рисунок 2.1) межує із землями лісового фонду Самбірського лісового господарства.

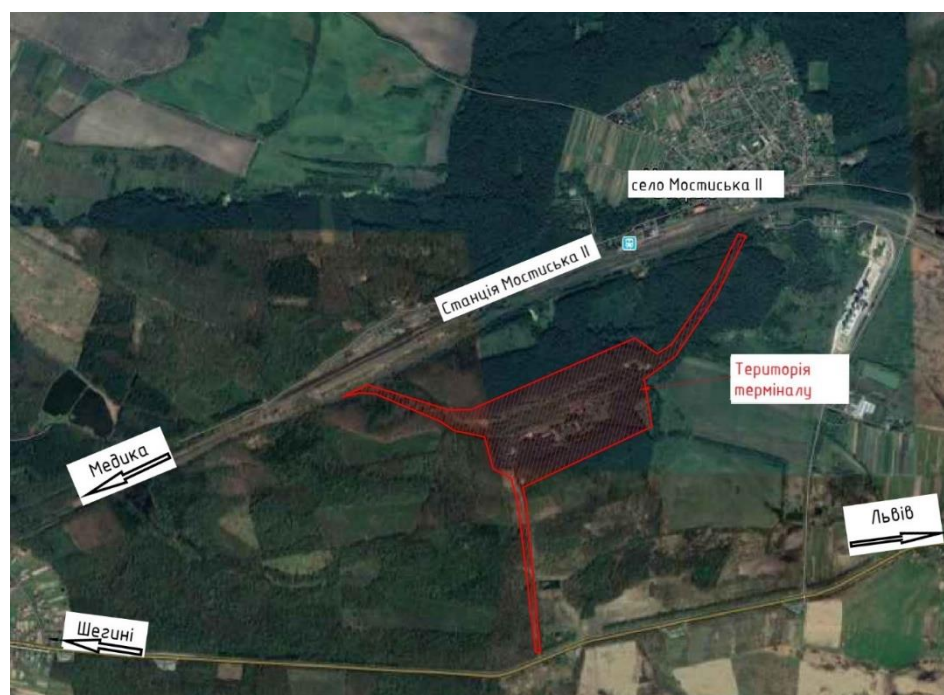


Рисунок 2.1 – Територія об’єкту дослідження

На відстані 1 км від майданчика будівництва проходить автомобільна дорога міжнародного значення М-11 Львів – Шегині – КПП «Шегині». Відстань до державного кордону з Польською республікою становить 6 км.

Майданчик будівництва і автомобільну дорогу з’єднує під’їзна автодорога підприємства.

Рельєф майданчика будівництва горбистий з ухилом у східному напрямку.

Майданчик будівництва знаходиться на території бувшої нафтобази, поріс

деревами і кущами, після припинення експлуатації об’єкту. На ділянці знаходяться напівзруйновані будівлі і споруди, залишки обладнання і прикопані ємності для зберігання нафтопродуктів. Старі залізничні колії на території та примиканні до станції Мостиська-2 розібрані.

**2.1.2 Коротка фізико-географічна характеристика району інженерних вишукувань**

Об’єкт розташований поблизу села Мостиська-2 на землях Волицької сільської ради Мостиського району Львівської області. Поруч знаходиться залізничний вокзал Мостиська-2 Львівської залізниці. Земельна ділянка розміром 36,5 гектарів межує з Самбірським лісовим фондом. На відстані 1 км від ділянки проходить дорога міжнародного значення М-11 Львів – Шегині – КПП «Шегині». Відстань до кордону з Польською Республікою – 6 км. Ділянку і автодорогу з’єднує під’їзна дорога, яка даний час не експлуатується і знаходиться в поганому стані. Місцевість ділянки горбиста зі схилом у східному напрямку, де в улоговині утворилася водойма, яка при заповненні має перелив на рельєф. Вся площа ділянки покрита рослинністю від чагарників і великих дерев, які виростили спонтанно після припинення експлуатації місцевості. Серед заростів видно занепадлі і цілі капітальні будівлі, залишки техніки і поховані контейнери для зберігання паливно-мастильних матеріалів. Видно стежки внутрішньо-зонних проїздів і земляне полотно під’їзних залізничних колій. На території функціонує трансформаторна підстанція, під’єднана до мережі Львівського обленерго.

Висоти на площі виконання вишукувань коливаються від 217,88 м до 263,88 м.

Клімат помірно-континентальний, вологий: м’яка зима з відлигами, волога весна, тепле літо, тепла суха осінь. Протягом року тут панують вітри західного, північно-західного напрямку, рідше східного. Середня швидкість вітру, становить 5 м/сек. Для холодного періоду року характерна похмура погода, туман і відлиги. У літній період температурний режим більш стійкий.

Найтепліший місяць липень з середньою температурою +17,3° С,

найхолодніший місяць січень з середньою температурою  $-4,1^{\circ}\text{C}$ . Абсолютна максимальна температура повітря становить  $+37^{\circ}\text{C}$ , абсолютна мінімальна температура  $-33^{\circ}\text{C}$ . Максимальна глибина промерзання ґрунту  $-1,0\text{ м}$ .

2.1.3 Проектні рішення по під’їзній автодорозі й майданчику контейнерного терміналу

Проектні рішення щодо плану, поздовжнього й поперечних профілів для визначеної V категорії автодороги наведені у вигляді фрагментів на рисунках 2.2 – 2.4.

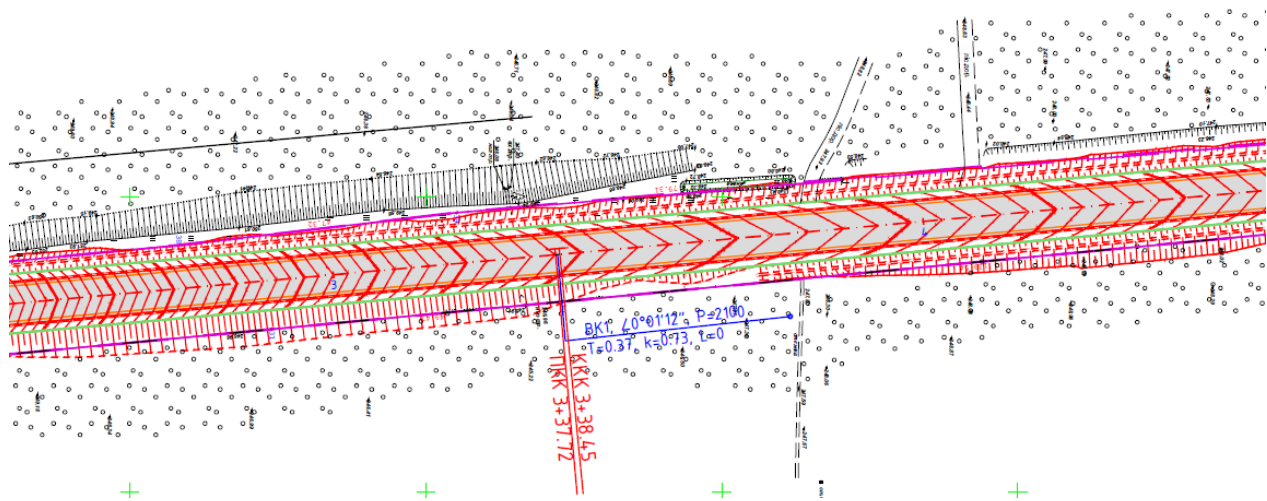


Рисунок 2.2 – План під’їзної автомобільної дороги (фрагмент)

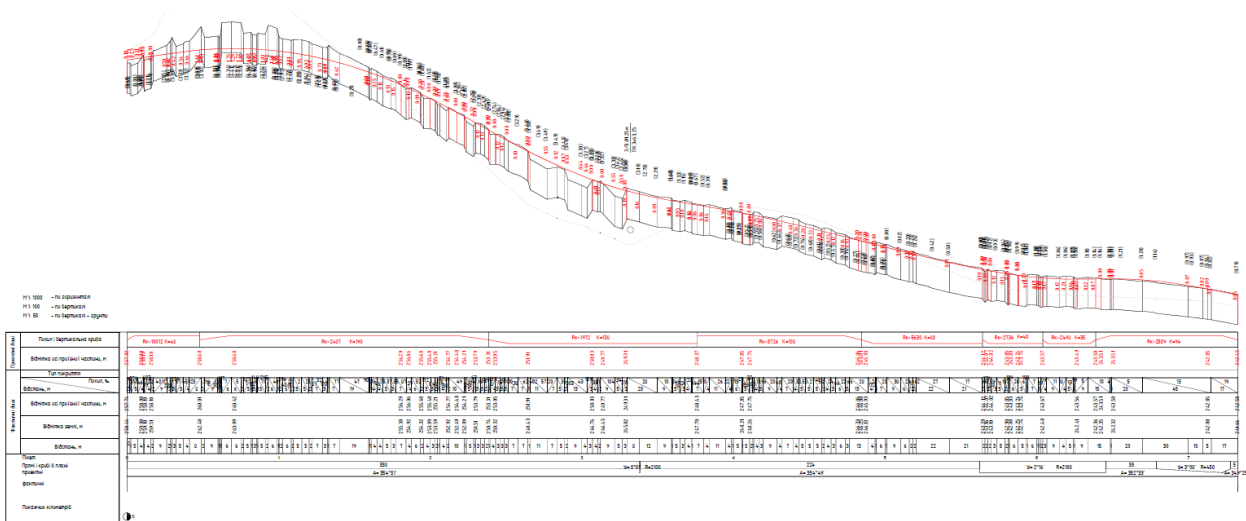


Рисунок 2.3 – Поздовжній профіль під’їзної автодороги до об’єкту

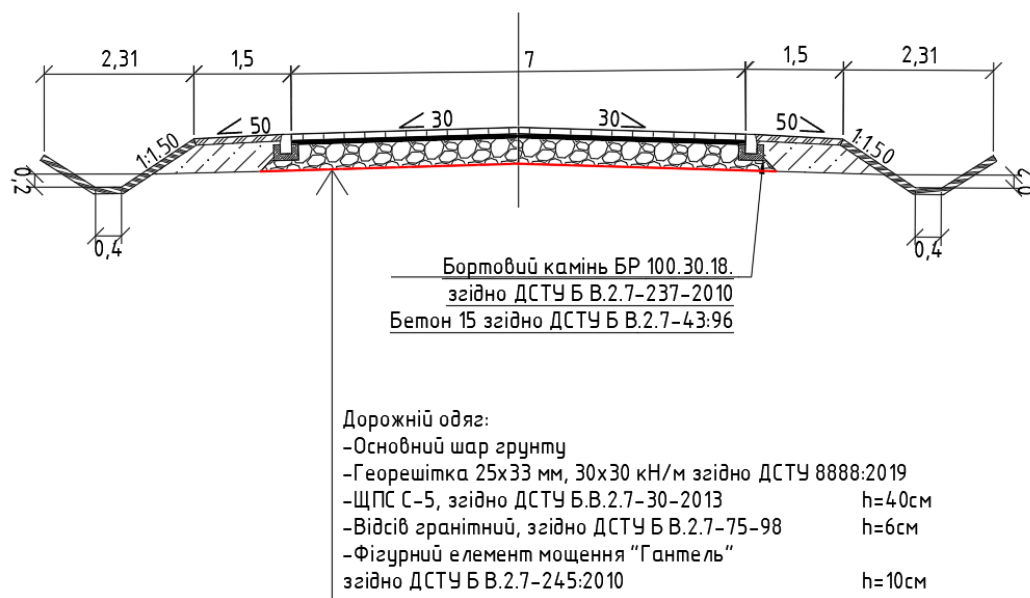


Рисунок 2.4 – Поперечний профіль під’їзної автомобільної дороги до об’єкту

В поперечному профілі дорога двосхила з поперечним ухилом 30%о згідно [19].

Конструкція дорожнього одягу розрахована відповідно до [20] та [21].

Вихідними даними для розрахунку є:

- дорожньо-кліматична зона – II;
- дорожньо-кліматичний район – А-2;
- тип місцевості по зволоженню – 3;
- період міжремонтного терміну – 14 років;
- навантаження – 60 кН;
- ґрунт земляного полотна – суглинок;
- тип дорожнього одягу – перехідний;
- інтенсивність та склад руху – 120 вантажних авт/добу.

Категорія автомобільної дороги – V.

Складні умови при проектуванні покриття на промисловому підприємстві визначаються в першу чергу складними геологічними умовами. Саме через це існує необхідність передбачити посилену конструкцію дорожнього одягу.

В проєкті розглядалися три конструкції дорожнього одягу:

асфальтобетонне покриття, цементобетонне покриття й бруківка. Остаточний варіант прийнятий на основі техніко-економічного порівняння – бруківка.

Також на території терміналу передбачена під’їзна автодорога до елеватора (рисунки 2.5 – 2.7: план, поздовжній й поперечний профілі).

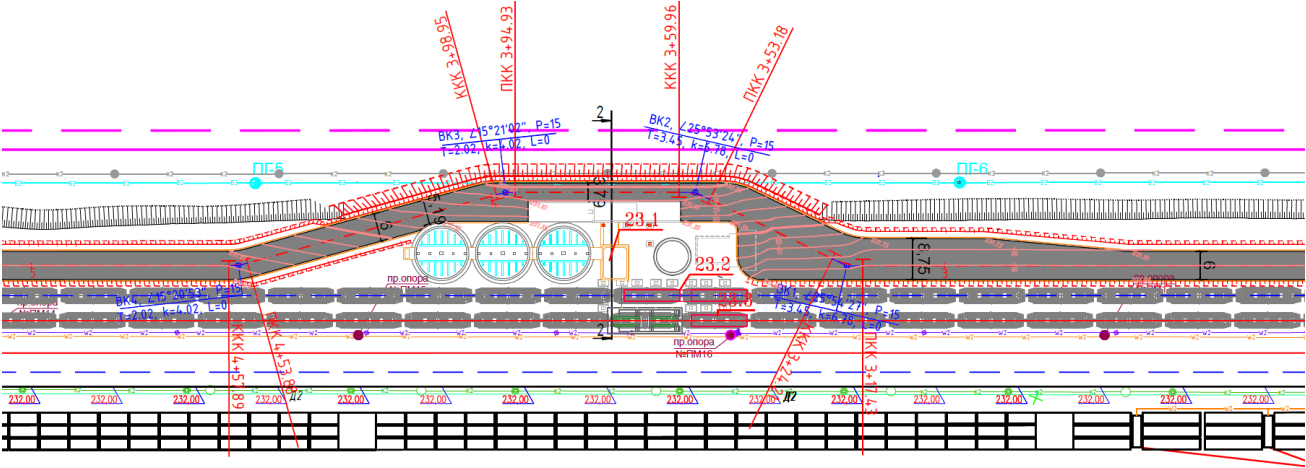


Рисунок 2.5 – План під’їзної дороги до елеватора (фрагмент)

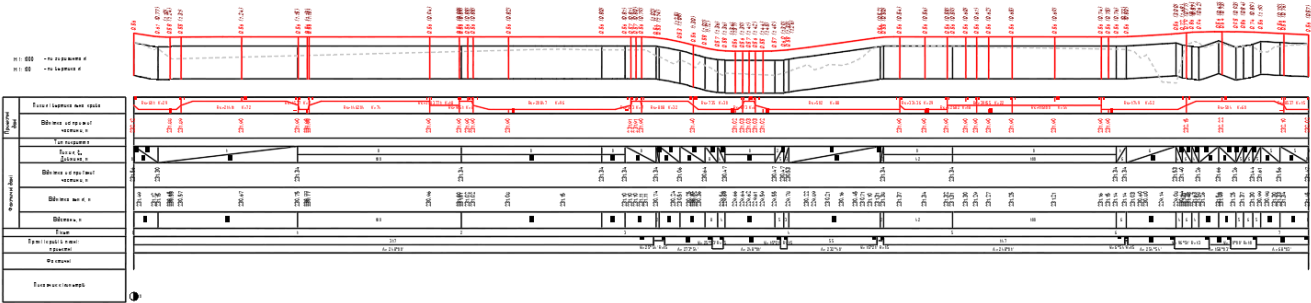


Рисунок 2.6 – Поздовжній профіль під’їзної дороги до елеватора

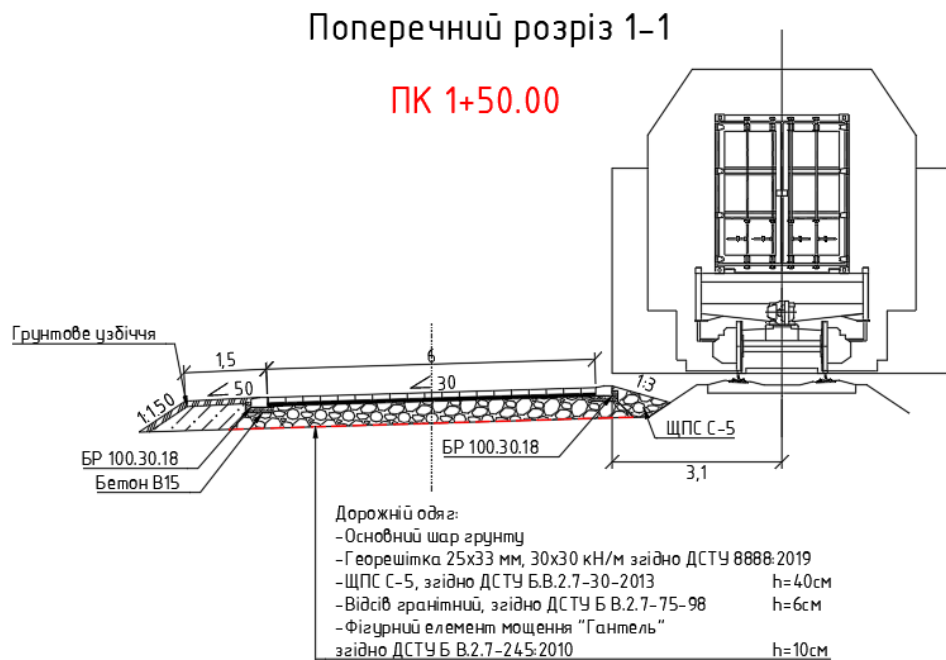


Рисунок 2.7 – Поперечний переріз під'їзної дороги до елеватора

Конструкції під'їзних автомобільних доріг та покриття поза контейнерним майданчиком відрізняється, що обумовлено різним навантаженням.

В плані північний та південний майданчик контейнерного терміналу розташований таким чином, щоб при виконанні вантажно-розвантажувальних робіт уникнути наїзду на бортовий камінь та уникнути його руйнування.

В профілі майданчики розташовані горизонтально з улаштуванням ухилів в напрямку дощеприймачів та дощеуловлювачів.

Майданчики інфраструктури та внутрішньомайданчикові дороги влаштовані на ухилах не менше 5‰, що забезпечують водовідведення у дощеприймачі та дощеуловлювачі.

## 2.2 Методика обґрунтування оптимального розподілу об'ємів ґрунту при будівництві ділянки автомобільної дороги

### 2.2.1 Загальні положення

Методика обґрунтування оптимального розподілу об'ємів ґрунту при будівництві ділянки автомобільної дороги – це сукупність заходів, які дозволяють визначити найбільш ефективний спосіб використання ґрунту, який видобувається

в процесі будівництва дороги.

Методика включає в себе наступні етапи:

Збір та аналіз даних. На цьому етапі необхідно зібрати інформацію про ґрунти, які будуть використовуватися при будівництві дороги, а також про обсяги цих ґрунтів.

Розрахунок потреб у ґрунті. На цьому етапі необхідно визначити, які обсяги ґрунту будуть потрібні для будівництва дороги.

Аналіз можливості використання ґрунтів (виїмка, кар'єр, резерв). На цьому етапі необхідно оцінити, які з видобутих ґрунтів можуть бути використані для будівництва дороги, а які необхідно утилізувати.

Розрахунок оптимального розподілу об'ємів ґрунту. На цьому етапі необхідно визначити, як розподілити видобуті ґрунти таким чином, щоб мінімізувати витрати на їх транспортування та утилізацію.

При розрахунку оптимального розподілу об'ємів ґрунту враховуються такі фактори:

- відстань до джерела видобутку ґрунту (виїмка, кар'єр, резерв);
- вартість транспортування ґрунту;
- вартість утилізації ґрунту;
- фізико-механічні властивості ґрунту.

Методика обґрунтування оптимального розподілу об'ємів ґрунту дозволяє підвищити ефективність будівництва автомобільних доріг, зменшити витрати на будівництво та поліпшити екологічні показники.

Приклади методів, які можуть використовуватися для розрахунку оптимального розподілу об'ємів ґрунту:

Метод мінімізації витрат. Цей метод передбачає мінімізацію загальних витрат на будівництво дороги, включаючи витрати на транспортування та утилізацію ґрунту (кавал'єри, відвали).

Метод максимізації ефективності використання ґрунту. Цей метод передбачає максимальне використання видобутих ґрунтів для будівництва дороги,

що дозволяє зменшити обсяги ґрунту, які не потрібні для відсипання насипів.

Метод комбінованого підходу. Цей метод поєднує в собі два попередні методи.

Вибір методу розрахунку оптимального розподілу об'ємів ґрунту залежить від конкретних умов будівництва дороги.

### 2.2.2 Основні положення розподілу земляних мас

Оптимальна організація будівельного виробництва – це створення такої системи (складу виконавців, технічних засобів, порядку їх розміщення, переміщення та взаємодії), структура та взаємозв'язки якої найбільш ефективно відповідають виробничій програмі та плановим завданням щодо її виконання.

Загальна схема вирішення завдань із застосуванням економіко-математичних методів включає наступні етапи.

1. Постановка задачі. На цьому етапі вирішення завдання на оптимум визначають мету планування, а також технічні, технологічні та організаційні умови, за яких вона має бути досягнута.

2. Вибір критерію оптимальності. Для вирішення поставленої задачі встановлюють ознаку та критерій, за яким належить порівнювати варіанти. Критерій оптимальності має бути виражений кількісно і відповідати основним напрямам технічного прогресу у будівництві. В якості провідного критерію приймають сумарний розмір наведених витрат на розвиток індустріальної бази будівництва та виробництво механізованих робіт або сумарний ефект, що отримується в результаті порівняння витрат і результатів, пов'язаних з будівництвом.

3. Підготовка вихідних даних. До вихідних даних для розрахунку величини критерію оптимальності та визначення умов завдання відносяться: номенклатура об'єктів та ділянок робіт у запланованому періоді; обсяги робіт на об'єктах та техніко-економічні показники їх використання.

4. Побудова математичної моделі. Економіко-математичні методи дозволяють цілеспрямовано вибирати найкращий варіант без зіставлення всієї

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         |       |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 36    |

множини рішень поставлених завдань. Вибір того чи іншого методу залежить від виду математичної моделі та необхідної точності розв'язання задачі.

Математична модель представляє сукупність формул, рівнянь та нерівностей, що відображають мету вирішення задачі та умови її досягнення.

Модель повинна поєднувати необхідну та достатню кількість формально описаних характеристик та умов, щоб адекватно відображати фізичну та економічну сутність явищ. Чим більше враховано умов, тим повніше модель відбиває особливості аналізованого процесу, тим ближча вона до реальності і тим точніше рішення. При складанні математичної моделі необхідно прагнути всемірного її спрощення, вмюючи виділити основні вирішальні чинники.

Розв'язання задачі економіко-математичними методами залежить від стадії проектування та виду математичної моделі. Транспортні моделі (задачі) описують переміщення (перевезення) деякого вантажу з пункту відправлення (наприклад, виїмка, кар'єр, резерв) у пункт призначення (наприклад, насип, кавал'єр, відвал). Мета транспортної задачі – визначити обсяг перевезення з пунктів відправлення у пункти призначення з мінімальною сумарною вартістю перевезень або мінімізації відстаней на перевезення ґрунту. При цьому повинні враховуватись обмеження, які накладаються на обсяги вантажів, які є в пунктах відправлення, та обмеження, які враховують потребу вантажів у пунктах призначення. В транспортній моделі припускається, що вартість перевезення за будь-яким маршрутом прямо пропорційна обсягу вантажу, який перевозиться за даним маршрутом.

Нехай є  $m$  пунктів відправлення  $A_1, A_2, \dots, A_m$ , в яких знаходиться однорідна продукція в кількостях  $a_1, a_2, \dots, a_m$  відповідно. Нехай є  $n$  пунктів призначення  $B_1, B_2, \dots, B_n$ , яким потрібна ця продукція відповідно в кількостях  $b_1, b_2, \dots, b_n$ . Нехай відомі  $c_{ij}$  – витрати за перевезення одиниці продукції з  $i$ -го пункту відправлення в  $j$ -й пункт призначення.

Задача полягає в тому, щоб визначити, скільки треба вивезти продукції з кожного пункту відправлення в кожний пункт призначення, щоб сумарні витрати

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         | 37    |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         |       |

на перевезення були мінімальними.

Математична модель такої задачі має вигляд:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min,$$

за умови

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m x_{ij} &= b_j \quad (j = \overline{1, n}), \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} &= a_i \quad (i = \overline{1, m}), \\ x_{ij} &\geq 0 \quad (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}). \end{aligned}$$

Загалом виділяють два типи транспортних завдань: закриті, тут попит і пропозицію перебувають у балансі і відкриті, коли немає рівності між попитом та пропозицією. Для відшукування розв'язку транспортної задачі повинна виконуватись умова:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j,$$

тобто транспортна задача має бути збалансованою (загальний обсяг розробленого ґрунту дорівнює загальній потребі ґрунту для відсипання насипів). Якщо виконується ця умова, то така транспортна задача називається закритою. Щоб отримати розв'язання задачі, яка відноситься до відкритого типу, потрібно спочатку її привести до першого типу. Для цього потрібно запровадити додатковий показник – наявність фіктивного об'єму.

### 2.2.3 Оптимальний розподіл земляних мас

Розподіл земляних мас полягає у визначенні обсягів ґрунту, що переміщуються з виїмок, резервів та кар'єрів у насипи та кавальєри, та виборі засобів механізації земляних робіт, що забезпечують якісну споруду земляного полотна на всій ділянці в заданий термін та при мінімальному сумарному розмірі наведених витрат.

При вирішенні цього багатоваріантного завдання всі виїмки, резерви та кавальєри розглядалися як можливі «постачальники» ґрунту, а насипи та кавальєри – «споживачі». Оптимальний варіант «постачання» ґрунту обраний із

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         |       |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 38    |

застосуванням методу лінійного програмування.

Під час підготовки вихідних даних поздовжній профіль (рисунок 2.8) дороги розбивався на окремі ділянки й підраховувалися об’єми земляних робіт (насипи – виїмки), а потім будувалася діаграма земляних мас (рисунок 2.9).

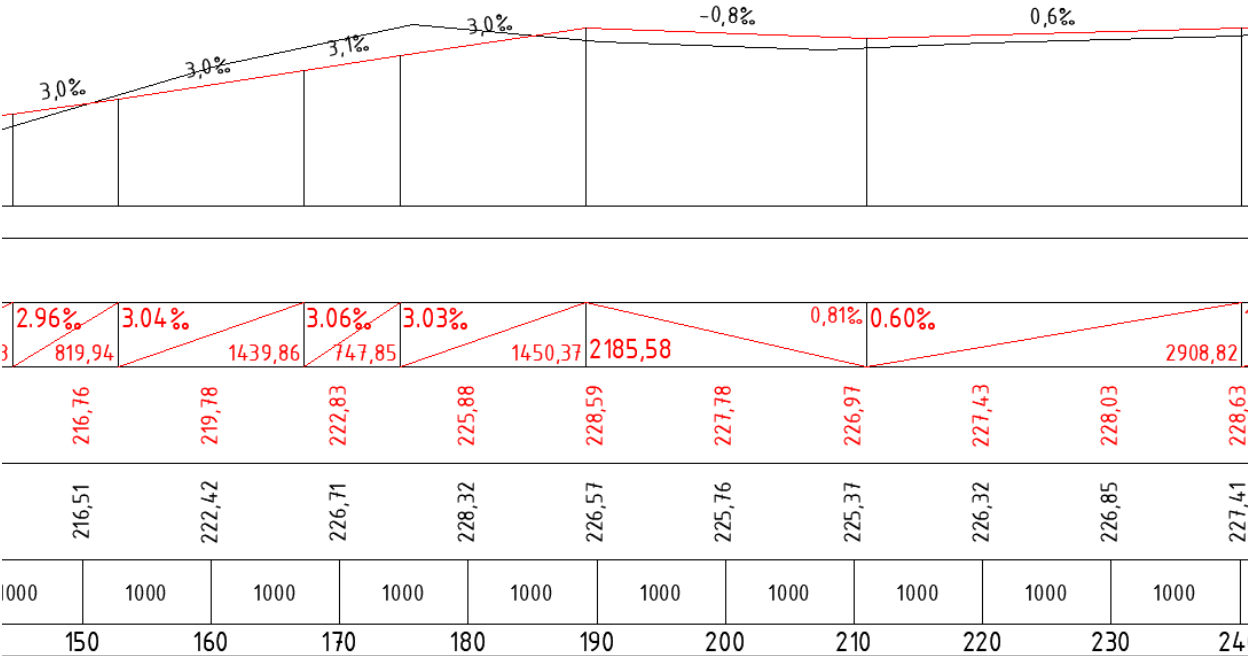


Рисунок 2.8 – Поздовжній профіль (фрагмент)

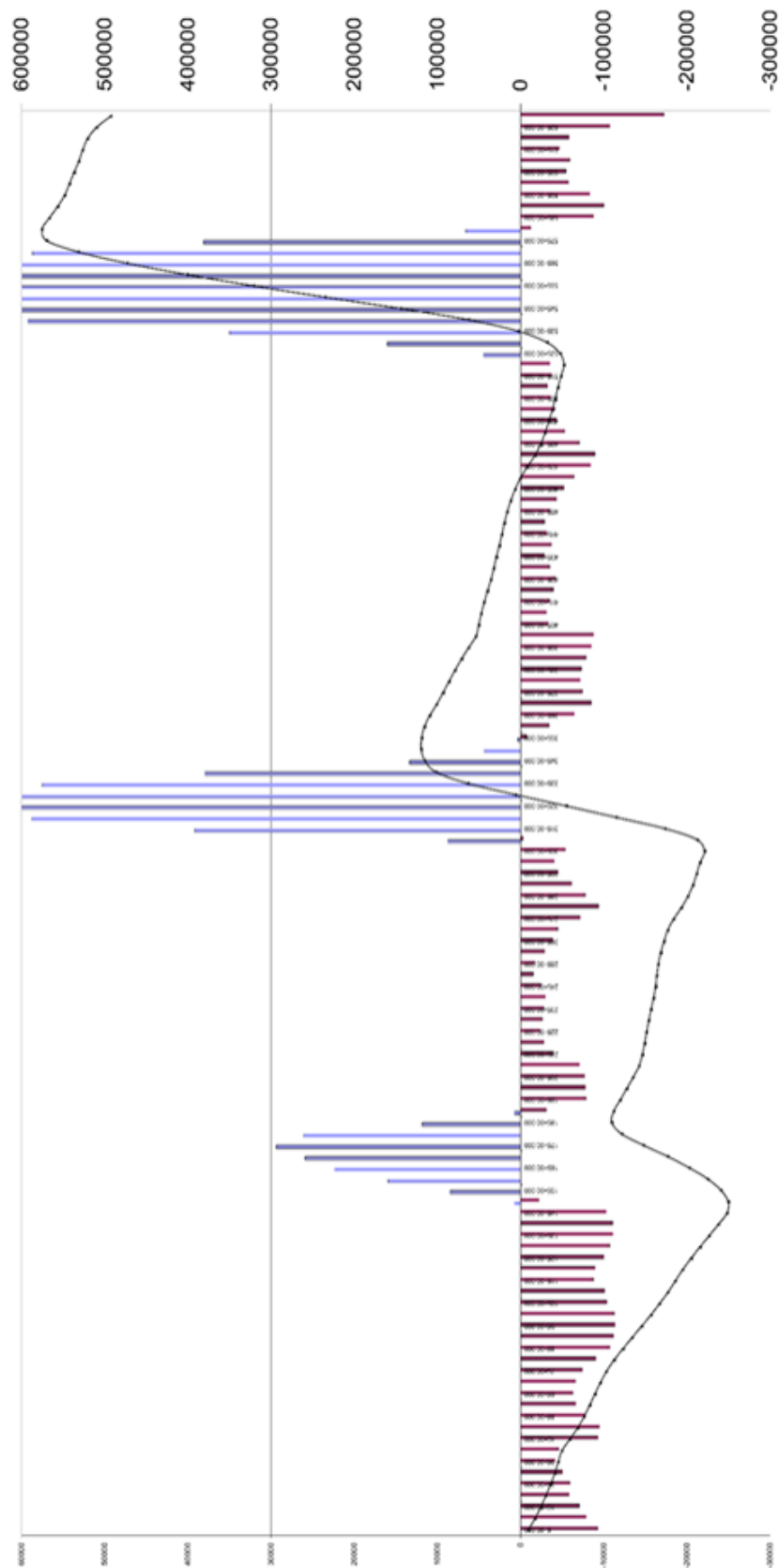


Рисунок 2.9 – Діаграма земляних мас

На кожній ділянці – «постачальнику» – необхідно визначити обсяг ґрунту, який може бути вивезений, а на ділянці – «споживачеві» – обсяг ґрунту, який має бути відсипаний.

$i = 1 \dots m$  – ділянки постачальника;

$\Pi_i$  = потужність постачальника;

$j = 1 \dots n$  – ділянки споживача;

$V_j$  = обсяг ділянок споживачів;

$З_{yij}$  = приведені питомі витрати;

$x_{ij}$  = об'єм ґрунту, що перевозиться від  $i$ -го постачальника до  $j$ -го постачальника;

Для вирішення цього завдання мають бути виконані такі умови:

$\sum x_{i1} = \Pi_1$  – сумарний об'єм вивезеного ґрунту повинен дорівнювати обсягу цієї виїмки;

$\sum x_{j1} = V_1$  – умова говорить про те, що насип повинен бути відсипаний у повному обсязі;

Усі змінні – величини не негативні

$$\sum x_{ij} \geq 0 \quad (2.1)$$

Критерій оптимальності`

$$\sum x_{ij} З_{ij} \rightarrow \min \quad (2.2)$$

Оптимальний розподіл земляних мас характеризують такі показники: сумарні приведені витрати рівні величині

$$z = \sum x_{ij} З_{ij} \quad (2.3)$$

У магістерській роботі для розподілу земляних мас була виконана програма «Logistic» [22]. Для вирішення транспортного завдання складаємо матрицю, у рядках якої записуємо відправників та їх потужність, а у стовпцях споживачів та їх потужність.

За допомогою програми «Logistic» (рисунок 2.10) можна знайти оптимальне рішення про розподіл земляних мас.

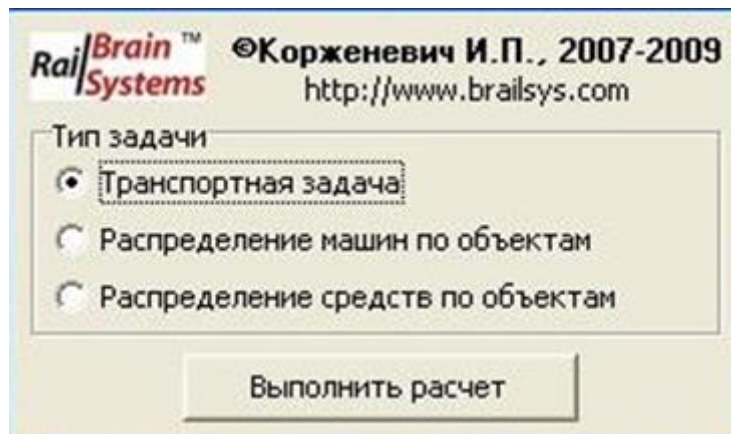


Рисунок 2.10 – Програма Logistic

Завдання транспортного завдання, це поділ машин по об'єктах та поділ способів розподілу ґрунту по об'єктах.

Кожному відправнику та споживачеві було задано обсяги та вартість на один кілометр, а також задано відстані.

Для вирішення задачі була задана кількість відправників 12 та кількість споживачів 19 (рисунок 2.11).

Рисунок 2.11 – Кількість відправників та споживачів

Після цього були заповнені поля з назвами відправників та споживачів (наведено фрагмент таблиці), їх обсягами та середньою вартістю доставки (рисунки 2.12 і 2.13).

| Отправители продукции |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| №                     | O-1 | O-2 | O-3 | O-4 | O-5 | O-6 | O-7 | O-8 | O-9 | O-10 | O-11 | O-12 |
| Имя                   | B1  | B2  | B2  | B4  | B5  | B6  | K1  | K2  | K3  | K4   | K5   | K6   |
| Объем                 | 73  | 68  | 228 | 114 | 373 | 255 | 80  | 100 | 70  | 80   | 70   | 70   |
| Стоим.км              | 50  | 48  | 42  | 44  | 49  | 50  | 42  | 40  | 46  | 50   | 49   | 50   |

Рисунок 2.12 – Відправники продукції

| Потребители продукции |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| №                     | П-1 | П-2 | П-3 | П-4 | П-5 | П-6 | П-7 | П-8 | П-9 | П-10 | П-11 |
| Имя                   | H1  | H2  | H3  | H3  | H5  | H6  | H7  | H8  | H9  | H10  | H11  |
| Объем                 | 41  | 37  | 51  | 61  | 55  | 40  | 13  | 30  | 28  | 49   | 3    |
| Стоим.км              | 45  | 43  | 40  | 37  | 39  | 42  | 40  | 45  | 45  | 41   | 3    |

Рисунок 2.13 – Споживачі продукції

Вартість доставки в програмі може розраховуватися як добуток відстані на середню вартість одного кілометра для відповідних відправників і споживачів.

Для розрахунку вартості доставки у програмі необхідно заповнити таблицю відстаней (рисунок 2.14).

| Расстояния от отправителей до потребителей |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |
|--------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
|                                            | П-1   | П-2   | П-3   | П-4   | П-5   | П-6   | П-7   | П-8   | П-9   | П-10  | П-11  | П-12  | П-13  | П-14  | П-15  | П-16  | П-17 | П-18  | П-19  |
| O-1                                        | 14,5  | 11,5  | 8,5   | 5,5   | 2,75  | 4,45  | 7,6   | 10,6  | 13,35 | 19,65 | 23,1  | 26,1  | 29,1  | 32,7  | 34,85 | 41,45 | 20   | 40    | 42    |
| O-2                                        | 16,4  | 13,4  | 10,4  | 7,4   | 4,5   | 2,5   | 5,7   | 8,65  | 11,5  | 14,77 | 18,15 | 21,15 | 24,15 | 27,77 | 31,03 | 33,28 | 18   | 39,5  | 39,6  |
| O-3                                        | 30,28 | 27,38 | 24,38 | 21,38 | 18,5  | 11,5  | 8,38  | 5,38  | 2,5   | 5,25  | 8,63  | 11,63 | 14,63 | 18,25 | 23,63 | 25,88 | 2    | 23,5  | 26,75 |
| O-4                                        | 32,63 | 29,63 | 26,63 | 23,63 | 20,75 | 10,75 | 10,63 | 7,63  | 4,75  | 3     | 6,38  | 9,38  | 12,38 | 16    | 24,75 | 27    | 5    | 21,25 | 24,5  |
| O-5                                        | 52,38 | 49,38 | 46,38 | 43,38 | 40,5  | 33,5  | 30,38 | 27,38 | 24,5  | 16,75 | 13,38 | 10,37 | 5,87  | 3,75  | 5     | 7,25  | 24   | 2     | 3,6   |
| O-6                                        | 55,13 | 55,13 | 46,38 | 46,13 | 43,25 | 36,25 | 33,13 | 30,12 | 27,25 | 19,5  | 16,13 | 13,12 | 10,12 | 6,5   | 2,25  | 4,5   | 27   | 3,2   | 2     |
| O-7                                        | 1,5   | 3     | 5     | 7,5   | 9,5   | 13,5  | 15    | 17,5  | 22    | 28    | 30    | 34    | 38    | 40    | 47    | 52    | 33   | 53,88 | 57,13 |
| O-8                                        | 4,5   | 3,3   | 1,8   | 3     | 5,5   | 9,5   | 14    | 16,5  | 21    | 25,8  | 28,9  | 33    | 37,4  | 40    | 45,6  | 50    | 29   | 48,38 | 51,43 |
| O-9                                        | 17    | 14,5  | 11,2  | 9     | 7     | 2,9   | 1,2   | 3     | 5,7   | 10,4  | 13,5  | 16,8  | 19,4  | 22    | 29    | 33    | 14,1 | 31,68 | 34,83 |
| O-10                                       | 36,4  | 32,1  | 29    | 25,3  | 21,4  | 14,3  | 12,2  | 9,8   | 8     | 1,5   | 3,2   | 5     | 7,2   | 9,8   | 16,7  | 19    | 12,1 | 15,08 | 20,13 |
| O-11                                       | 38,2  | 35,4  | 33    | 30,9  | 28,8  | 23    | 19,4  | 17,6  | 15,8  | 7,9   | 5,5   | 3,3   | 1,6   | 3,9   | 10,4  | 12,5  | 17,1 | 9,17  | 13,73 |
| O-12                                       | 50,2  | 47,3  | 45    | 42,8  | 40,3  | 34,9  | 32,4  | 30    | 27,5  | 20,5  | 18    | 15,8  | 13,5  | 11    | 2,5   | 1,5   | 31,6 | 7,8   | 6,8   |

Рисунок 2.14 – Відстань від відправників до споживачів

Розрахунок вартості доставки в залежності від відстаней та середніх значень вартості від відправника до споживача виконується при натисканні

кнопки «Створити початкову».

Таблицю вартості можна створювати або змінювати за допомогою кнопки «Змінити». Створивши таблиці відправників, споживачів, відстаней та вартості, знаходимо оптимальний план постачання. Для цього натискаємо кнопку "Знайти" оптимальну схему доставки ґрунту.

Якщо сумарні об'єми всіх відправників не дорівнюватимуть сумарним об'ємам усіх споживачів, то при цьому буде відповідне попередження.

Оптимальні значення обсягів були занесені до (таблиця 2.1), а загальна вартість поставок записана над таблицею.

Таблиця 2.1 – Оптимальний розподіл земляних мас  
(кількість циклів – 20, вартість – 245095)

| №    | П-1 | П-2 | П-3 | П-4 | П-5 | П-6 | П-7 | П-8 | П-9 | П-10 | П-11 | П-12 | П-13 | П-14 | П-15 | П-16 | П-17 | П-18 | П-19 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| О-1  |     |     |     | 12  | 55  |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| О-2  |     |     |     |     |     | 40  |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      | 14   | 14   |      |
| О-3  |     |     |     |     |     |     |     |     | 28  |      |      |      |      |      |      |      |      | 106  | 94   |
| О-4  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      | 114  |      |      |
| О-5  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      | 35   |      |      |      |      | 46   |
| О-6  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 40   |      |      |      |      |
| О-7  | 41  | 37  |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      | 2    |      |      |
| О-8  |     |     | 51  | 49  |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| О-9  |     |     |     |     |     |     | 13  | 30  |     |      |      |      |      |      |      |      | 27   |      |      |
| О-10 |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 49   | 31   |      |      |      |      |      |      |      |      |
| О-11 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      | 20   | 37   |      |      |      | 13   |      |      |
| О-12 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      | 44   |      |      |      |

Аналіз даних наведених у таблиці 2.1 дозволяє зробити наступні висновки:

- Відправник О-1 повністю забезпечує потреби споживачів П-1 (12) тис. м<sup>3</sup> і П-2 (55) тис. м<sup>3</sup>. При цьому залишається не реалізованих 55 тис. м<sup>3</sup>.
- Відправник О-2 повністю реалізує потреби споживачів П-6 (40) тис. м<sup>3</sup>, П-17 (14) тис. м<sup>3</sup>, та П-18 (14) тис. м<sup>3</sup>.
- Відправник О-3 повністю реалізує потреби споживачів П-9 (28) тис. м<sup>3</sup>, П-18 (106) тис. м<sup>3</sup>, та П-19 (94) тис. м<sup>3</sup>.
- Відправник О-4 повністю забезпечує споживача П-17 (114) тис. м<sup>3</sup>.

5. Відправник О-5 повністю реалізує потреби споживачів П-14 (35) тис. м<sup>3</sup> і П-19 (46) тис. м<sup>3</sup>.

6. Відправник О-6 повністю забезпечує потреби споживача П-15 (40) тис. м<sup>3</sup>.

7. Відправник О-7 повністю реалізує потреби споживачів П-1 (41) тис. м<sup>3</sup>, П-2 (37) тис. м<sup>3</sup>, та П-17 (2) тис. м<sup>3</sup>.

8. Відправник О-8 повністю реалізує потреби споживачів П-3 (51) тис. м<sup>3</sup>, П-4 (49) тис. м<sup>3</sup>.

9. Відправник О-9 повністю реалізує потреби споживачів П-7 (13) тис. м<sup>3</sup>, П-8 (30) тис. м<sup>3</sup>, та П-16 (27) тис. м<sup>3</sup>.

10. Відправник О-10 повністю забезпечує потреби споживачів П-10 (49) тис. м<sup>3</sup>, П-11 (31) тис. м<sup>3</sup>.

11. Відправник О-11 повністю реалізує потреби споживачів П-12 (20) тис. м<sup>3</sup>, П-13 (37) тис. м<sup>3</sup>, та П-17 (13) тис. м<sup>3</sup>.

12. Відправник О-12 повністю забезпечує потреби споживач П-16 (44) тис. м<sup>3</sup>.

За результатами викладеного вище можна побудувати графік об'ємів земляних робіт (рисунок 2.15), та схему розподілу земляних мас (рисунок 2.16).

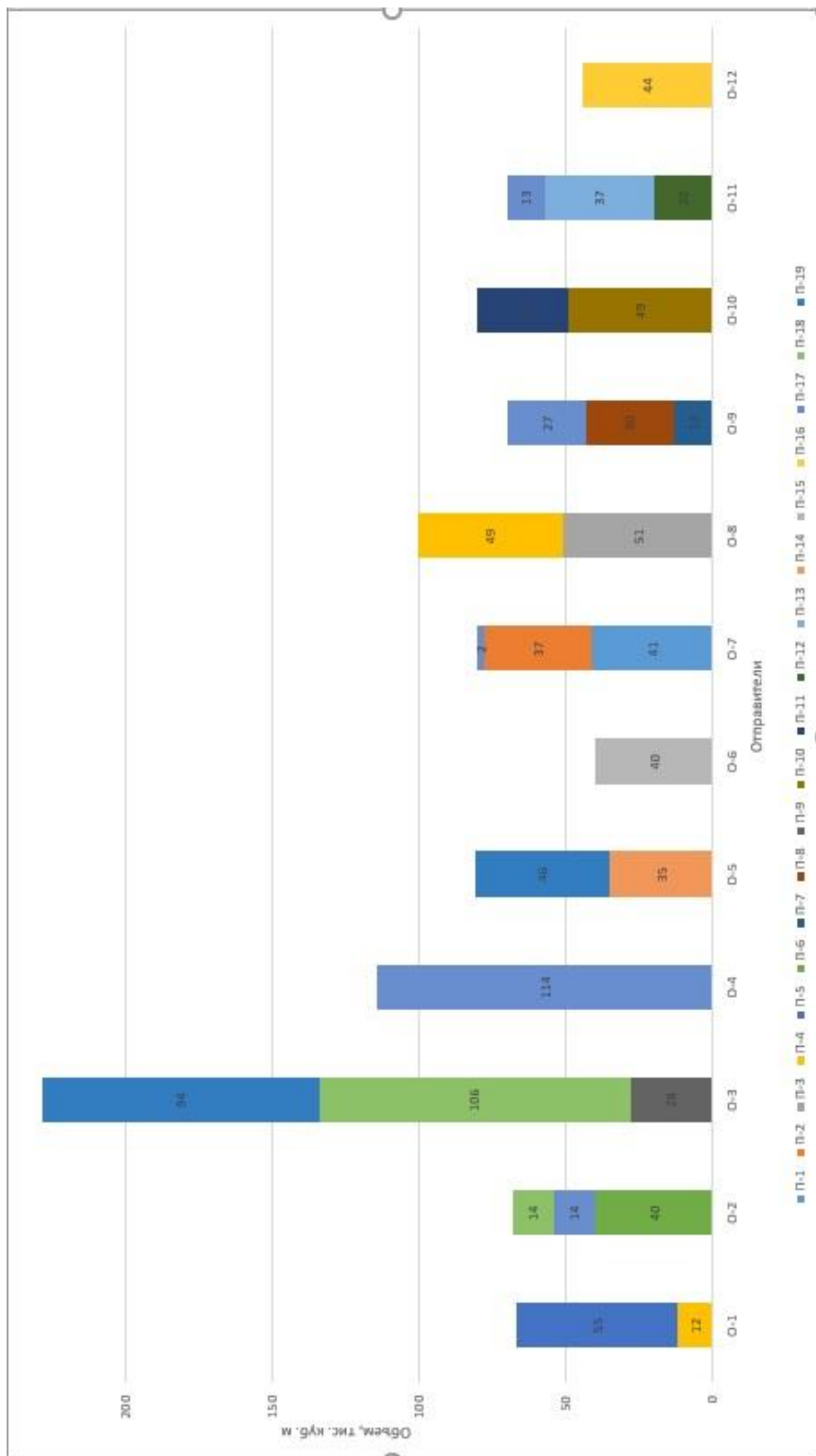


Рисунок 2.15 – Графік об’ємів земляних робіт



## Висновки до розділу 2

Дослідження питання спорудження земляного полотна на ділянці під'їзної автомобільної дороги показало, що розподіл земляних мас (розробка ґрунту виїмок та доставка його в насип) багато в чому визначають вартість і терміни будівництва.

Завдання розподілу земляних мас багатоваріантне, тому для знаходження найбільш вигідного, оптимального варіанту рекомендується застосовувати так звану транспортну задачу, яка є окремим випадком лінійного програмування.

При розподілі земляних мас на ділянці під'їзної автомобільної дороги використовувалася програма Logistic. Аналіз різних варіантів доставки ґрунту дозволив отримати оптимальний розподіл земляних мас.

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         | 48    |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         |       |

## 3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 3.1 Виконання робіт з ущільнення земляного полотна. Методика визначення оптимальної щільності ґрунту

#### 3.1.1 Вимоги до щільності ґрунту в тілі насипу і технологія виконання робіт

Дорожня основа разом з земляним полотном і підстиляючим шаром служать своєрідним фундаментом для асфальтобетонного покриття. Щільність ґрунту в тілі насипу є одним з важливих факторів, що впливають на його механічні властивості та поведінку. Від того, як буде ущільнене земляне полотно й виконана дорожня основа залежить, чи буде дорожній одяг міцним або після нетривалої експлуатації з'являться колійність, просідання, тріщини та інші дефекти.

Вимоги до щільності ґрунту в тілі насипу залежать від його застосування та умов експлуатації. Основні вимоги до щільності ґрунту в тілі насипу такі:

1. Мінімальна щільність ґрунту в тілі насипу повинна бути достатньою для запобігання його руйнуванню під навантаженням. Це забезпечується шляхом визначення оптимальної щільності ґрунту для конкретного типу насипу та умов експлуатації.

2. Оптимальна щільність ґрунту в тілі насипу забезпечує максимальну міцність та стійкість насипу. Ця щільність визначається шляхом проведення спеціальних випробувань на щільність ґрунту та розрахунків.

3. Рівномірність щільності ґрунту в тілі насипу є важливою, оскільки нерівномірна щільність може призвести до деформації та руйнування насипу. Це може бути досягнуто за допомогою регулярного контролю щільності на різних ділянках насипу.

4. Наявність порожнеч у тілі насипу може призвести до його зсуву та руйнування. Тому важливо запобігати утворенню порожнеч у тілі насипу, наприклад, за допомогою правильного вибору та розміру фракцій ґрунту та регулярного контролю щільності та вологості.

5. Відповідність вимогам безпеки та надійності, дотримання відповідних

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         | 49    |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         |       |

стандартів.

Одним з найбільш поширених стандартів для випробування щільності ґрунту в США та інших країнах світу є стандарт ASTM D1556/D1556M. Це стандарт, розроблений Американським товариством випробувальних матеріалів та технологій (ASTM International), який визначає процедуру випробування щільності ґрунту методом штампування. Стандарт містить рекомендації щодо вимірювання щільності ґрунту та його вологості, а також процедуру для обчислення щільності ґрунту. Він охоплює різні типи ґрунту, включаючи пісок, глину, гравій та інші матеріали.

### 3.1.2 Класифікація ґрунтів і технологія їх ущільнення

Типи ґрунтів та їх групи пов'язані між собою, оскільки ґрунти класифікуються на основі їх основних фізичних та хімічних властивостей. Тип ґрунту визначається за його генезисом та основними фізико-хімічними характеристиками, тоді як група ґрунту визначається за його механічними властивостями та поведінкою відносно навантаження [23].

Основні типи ґрунтів включають піски, глини, гравій та суглинки. Кожен тип ґрунту може бути поділено на групи залежно від його механічних властивостей, таких як щільність, проникність та інші параметри, які відрізняються в залежності від умов утворення ґрунту та його складу.

Наприклад, глини можуть бути поділені на групи в залежності від їх пластичності та вмісту піщаної фракції, тоді як піски можуть бути поділені на групи в залежності від їх розміру зерна та заокругленості.

Класифікація ґрунтів за типами та групами є важливою в геотехнічному інженерному проектуванні, оскільки механічні властивості ґрунту визначають його поведінку та реакцію на навантаження, а також впливають на вибір оптимальних методів будівництва та конструкцій для підтримки та захисту ґрунту.

Відповідно до завдання ґрунт земляного полотна – суглинок.

При проектуванні технології спорудження насипів вирішується питання

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         | 50    |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         |       |

вибору ґрунтоуцільнюючих машин та режимів їх роботи (товщина шару, що уцільнюється, кількість проходок, швидкість руху тощо) для забезпечення якісного уцільнення ґрунту.

Насипи, як правило, зводять з однорідних ґрунтів, що відсипаються з розрівнюванням горизонтальними або слабко похилими шарами, товщину яких призначають у залежності від використовуваних засобів, що уцільнюють, і норм щільності [24].

Відсипання ґрунту в насип виконується окремими шарами і включає такі технологічні процеси: підготовка поверхні, відсипання, розрівнювання, додаткова обробка ґрунту до потрібних технологічних властивостей, уцільнення, контроль якості (рисунок 3.1).

Уцільнення здійснюється, як правило, проходками ґрунтоуцільнюючих машин уздовж насипу зі зсувом від брівки насипу до її середини. Кожен наступний прохід машини повинен перекривати слід попередніх на 0,1 – 0,3 м [25].

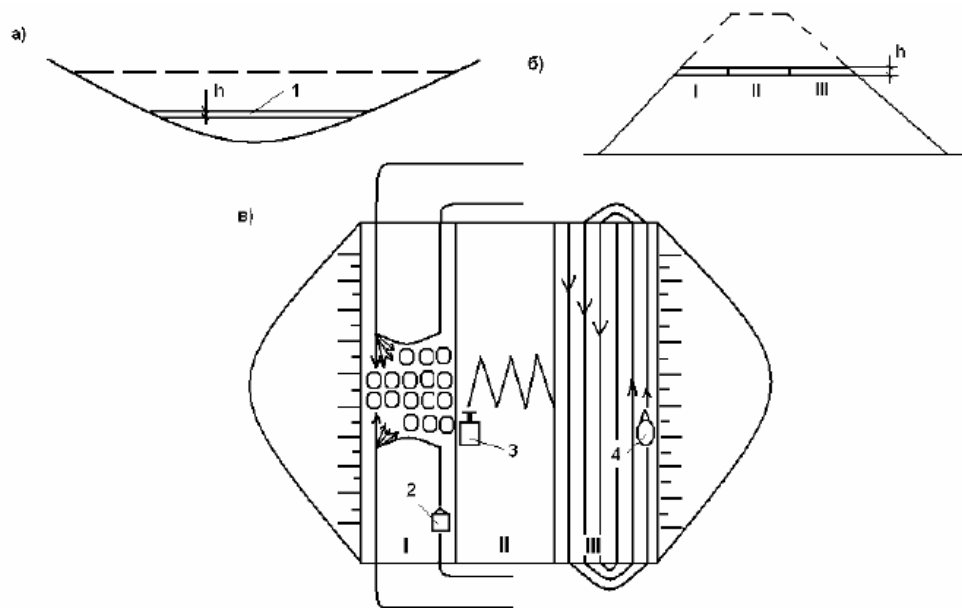


Рисунок 3.1 – Схема відсипання насипу:

а) – переріз по вісі насипу; б) – поперечний переріз насипу; в) – план на відмітці насипу: I, II, III – карти відсипання відповідно. Відсипка, пошарове розрівнювання, уцільнення: 1 – шар відсипання, 2 – землевоз, 3 – бульдозер, 4 – уцільнююча машина

Число проходок і товщина шару визначаються в залежності від виду ґрунту, типу ущільнюючої машини, часу на виконання роботи з ущільнення.

На щільність ґрунту суттєво впливає вологість, оскільки від неї змінюються фізико-механічні властивості ґрунту. Сухі або зайво вологі ґрунти мають меншу щільність. Вологість ґрунту, при якій досягнута найбільша щільність (максимальна стандартна щільність), називається оптимальною вологістю.

Встановлена така оптимальна вологість для ґрунтів: для піщаних 8 – 12%, супіщаних 9 – 14%, суглинків 12 – 20%, пілуватих 16 – 22%, глинистих 20 – 25%.

Необхідна щільність ґрунту при відсипання земляного полотна для піщаних і глинистих ґрунтів визначається за формулою

$$\rho_d^H = k \cdot \rho_{d \max},$$

де  $\rho_{d \max}$  – максимальна щільність сухого ґрунту, г/см<sup>3</sup>;

$k$  – мінімальний коефіцієнт ущільнення для доріг першої категорії.

Відповідно до ландшафтно-географічного зонування, ґрунтово-гідрологічних умов та умов зволоження, а також досвіду експлуатації доріг територія України поділяється на 4 дорожньо-кліматичні зони. Кліматичні параметри (характеристики) району досліджень наведено згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 на кліматичній карті (рисунку 3.2).

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         | 52    |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         |       |



Рисунок 3.2 – Дорожнє районування України за ґрунтово-геологічними умовами

У відповідності до Архітектурно-будівельного кліматичного районування території України ділянка автомобільної розташована в межах I кліматичного району – Північно-західного (Полісся Лісостеп). Згідно п.п. 1.2 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 кліматичні параметри прийняті рівними значенням кліматичних параметрів міста Львів, що знаходиться у місцевості з аналогічними умовами з районом дослідження.

Для робочого шару земляного полотна (до 1,5 м від поверхні покриття) в дорожньо-кліматичних зонах I – III найменший коефіцієнт ущільнення ґрунту  $k = 1,0 - 0,98$ , в невідтоплюємі частині насипу (більше 1,5 до 6,0 м)  $k = 0,95$  (більше 6,0 м)  $k = 0,98$ .

### 3.2 Оцінка параметрів машин для ущільнення ґрунту

Для ущільнення насипу земляного полотна можуть використовуватися різні машини. На вибір ґрунтоущільнюючої машини впливають такі фактори як їх продуктивність, яка залежить від виду ґрунту, товщини шару ґрунту, кількості проходок, а також вартості самої машини. В таблиці 3.1 наведені характеристики різних типів машин.

Таблиця 3.1 – Машини для ущільнення ґрунту

| Коефіцієнт ущільнення ґрунту              | ґрунтоущільнюючі машини     |                            |                       |                       |                          |                                              |                            |                                         |
|-------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|
|                                           | Пневмокотки масою 25...30 т | ґратчасті котки масою 25 т | Віброкотки масою 3 т  | Віброкотки масою 6 т  | Віброкотки масою 12 т    | Трамбувальні машини з віброударними органами | Дизель-трамбувальні машини | Тракторні трамбівки з падаючими плитами |
| Найбільша товщина шару в щільному тілі, м |                             |                            |                       |                       |                          |                                              |                            |                                         |
| 0,90                                      | $\frac{0,50}{0,60}$         | $\frac{0,50}{0,60}$        | $\frac{0,25}{0,35}$   | $\frac{0,40}{0,50}$   | $\frac{0,75}{0,90}$      | $\frac{0,50}{0,60}$                          | $\frac{0,75}{0,90}$        | $\frac{0,80}{1,00}$                     |
| 0,95                                      | $\frac{0,40}{0,45}$         | $\frac{0,35}{0,40}$        | $\frac{-}{0,25}$      | $\frac{0,30}{0,40}$   | $\frac{0,50}{0,60}$      | $\frac{0,35}{0,40}$                          | $\frac{0,60}{0,80}$        | $\frac{0,60}{0,80}$                     |
| 0,98                                      | $\frac{0,25}{0,30}$         | $\frac{0,25}{0,30}$        | $\frac{-}{-}$         | $\frac{-}{0,25}$      | $\frac{0,30}{0,35}$      | $\frac{0,20}{0,25}$                          | $\frac{0,30}{0,35}$        | $\frac{0,30}{0,40}$                     |
| Необхідна кількість проходок              |                             |                            |                       |                       |                          |                                              |                            |                                         |
| 0,90                                      | $\frac{4...6}{4...6}$       | $\frac{3...5}{2...4}$      | $\frac{3...5}{2...3}$ | $\frac{4...5}{3...4}$ | $\frac{5...6}{4...5}$    | $\frac{1}{1}$                                | $\frac{1}{1}$              | $\frac{1}{1}$                           |
| 0,95                                      | $\frac{8...10}{6...8}$      | $\frac{6...8}{5...7}$      | $\frac{-}{4...6}$     | $\frac{6...8}{5...7}$ | $\frac{7...9}{6...8}$    | $\frac{1}{1}$                                | $\frac{1}{1}$              | $\frac{1}{1}$                           |
| 0,98                                      | $\frac{12...15}{10...12}$   | $\frac{11...13}{10...12}$  | $\frac{-}{-}$         | $\frac{-}{8...10}$    | $\frac{10...12}{9...11}$ | $\frac{1}{1}$                                | $\frac{1}{1}$              | $\frac{1}{1}$                           |
| Робоча швидкість руху машини, м/хв.       |                             |                            |                       |                       |                          |                                              |                            |                                         |
|                                           | $\frac{330}{415}$           | $\frac{180}{250}$          | $\frac{280}{300}$     | $\frac{200}{250}$     | $\frac{180}{200}$        | $\frac{28}{45}$                              | $\frac{9}{13}$             | $\frac{8}{12}$                          |

Примітка: в чисельнику надана інформація для глин та суглинків, в знаменнику – для пісків та супісків

Порівняння різних типів ущільнюючих машин виконано шляхом використання «матриці пріоритетів», де рядки відповідають різним характеристикам, а стовпці – різним машинам. Щоб виставити конкретні бали, був проведений такий аналіз:

**Котки** є найбільш універсальними машинами для ущільнення ґрунту.

Вони можуть використовуватися для ущільнення як зв'язних, так і незв'язних ґрунтів, а також для ущільнення основ під будівлі, доріг, аеродромів та інших споруд.

**Вібраційні машини** більш ефективні для ущільнення незв'язних ґрунтів, таких як піщані, супіщані та гравійні. Вони діють за рахунок вібрації, яка руйнує структуру ґрунту та сприяє більш щільному його заповненню.

**Трамбувальні машини** найбільш ефективні для ущільнення важких зв'язних ґрунтів, таких як глинисті та суглинисті. Вони діють за рахунок ударів, які створюють щільну структуру ґрунту.

У більшості випадків для ущільнення ґрунту на будівельних майданчиках використовують котки. Вони забезпечують високу продуктивність і можуть використовуватися для ущільнення різного типу ґрунтів. Однак у деяких випадках більш ефективним може бути використання вібраційних машин або трамбувальних машин. Ось деякі конкретні рекомендації щодо вибору обладнання для ущільнення ґрунту:

Для ущільнення зв'язних ґрунтів на великих площах або для ущільнення незв'язних ґрунтів можна використовувати самохідні котки.

Для ущільнення важких зв'язних ґрунтів, таких як глинисті та суглинисті, можна використовувати трамбувальні машини.

Також важливо враховувати такі фактори, як: вид ґрунту, який необхідно ущільнити; товща шару для ущільнення; продуктивність і вартість машини.

Продуктивність котків, вібраційних машин та трамбувальних машин залежить від таких факторів, як: швидкість руху машини, ширина робочої поверхні машини, маса машини, вид ґрунту, який необхідно ущільнити.

Загальне правило полягає в тому, що продуктивність котків вище, ніж продуктивність вібраційних машин, а продуктивність вібраційних машин вище, ніж продуктивність трамбувальних машин. Приблизне співвідношення продуктивності цих машин можна представити в такий спосіб: котки: 100, вібраційні машини: 75, трамбувальні машини: 50. Звичайно, це співвідношення є

приблизним і може змінюватися в залежності від конкретних умов.

Вартість котків, вібраційних машин та трамбувальних машин залежить від таких факторів, як: виробник, модель, характеристики.

Загальне правило полягає в тому, що вартість котків вище, ніж вартість вібраційних машин, а вартість вібраційних машин вище, ніж вартість трамбувальних машин. Приблизне співвідношення вартості цих машин можна представити в такий спосіб: котки: 100, вібраційні машини: 75, трамбувальні машини: 50. Звичайно, це співвідношення є приблизним і може змінюватися в залежності від конкретних умов. Ручний коток: від 10 тис. грн., самохідний коток: від 50 тис грн., вібраційна машина: від 30 тис. грн., трамбувальна машина: від 20 тис. грн.

Наведемо порівняння різних типів ущільнюючих машин з використанням бальної системи від 1 до 10.

Життєвий цикл.

Котки мають довгий життєвий цикл, який може досягати 20 років і більше. Вони виготовляються з міцних матеріалів і добре піддаються ремонту.

Вібраційні машини мають середній життєвий цикл, який може досягати 15 років. Вони також виготовляються з міцних матеріалів, але можуть бути більш схильні до поломок, ніж котки.

Трамбувальні машини мають короткий життєвий цикл, який може досягати 10 років. Вони виготовляються з менш міцних матеріалів, ніж котки і вібраційні машини.

Оцінка: котки – 10 балів, вібраційні машини – 8 балів, трамбувальні машини – 6 балів

Продуктивність. Котки мають високу продуктивність, оскільки можуть ущільнювати ґрунт на великій площі.

Вібраційні машини також мають високу продуктивність, але вони менш ефективні на великих площах, ніж котки.

Трамбувальні машини мають низьку продуктивність, оскільки вони

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         | 56    |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         |       |

можуть ущільнювати ґрунт тільки на невеликій площі.

Оцінка: котки – 10 балів, вібраційні машини – 9 балів, трамбувальні машини – 7 балів.

Поточне утримання.

Котки вимагають регулярного технічного обслуговування, але вони відносно прості в експлуатації.

Вібраційні машини також вимагають регулярного технічного обслуговування, але вони можуть бути більш складними в експлуатації, ніж котки.

Трамбувальні машини вимагають менш частого технічного обслуговування, ніж котки і вібраційні машини, але вони можуть бути більш складними в експлуатації.

Оцінка: котки – 8 балів, вібраційні машини – 7 балів, трамбувальні машини – 6 балів.

Вартість.

Котки є найбільш дорогими машинами з трьох.

Вібраційні машини є менш дорогими, ніж котки, але вони дорожчі, ніж трамбувальні машини.

Трамбувальні машини є найдешевшими машинами з трьох.

Оцінка: котки – 6 балів, вібраційні машини – 8 балів, трамбувальні машини – 10 балів.

Отримані експертним шляхом бали занесені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Матриця пріоритетів варіантів

| Характеристики    | Пневмокоток | Віброційний коток | Трамбувальна машина |
|-------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| Життєвий цикл     | 10          | 8                 | 6                   |
| Продуктивність    | 10          | 9                 | 7                   |
| Поточне утримання | 8           | 7                 | 6                   |
| Вартість          | 6           | 8                 | 10                  |
| Сума балів        | 34          | 32                | 29                  |

**Загальна оцінка.** На основі сумарних балів, наведених в таблиці 3.4, котки є найкращим вибором для ущільнення ґрунту. Вони мають довготривалий життєвий цикл, високу продуктивність і відносно прості в експлуатації. Однак вони також є найбільш дорогими машинами з трьох розглянутих.

Враховуючи наведений огляд ефективності застосування різних типів машин для ущільнення земляного полотна автомобільної дороги, до використання приймається коток (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Ґрунтовий коток VOLVO SD160B  
(експлуатаційна маса 17 т)

### 3.3 Визначення експлуатаційної продуктивності котка для ущільнення ґрунту

Експлуатаційна продуктивність ґрунтоущільнюючих машин (в  $\text{м}^3/\text{год}$ ) визначається за формулою

$$P_e = \frac{60(B-b)hL}{\left(\frac{L}{V} + t\right)n} k_e, \quad (3.1)$$

де  $L, B, h$  – довжина, товщина і ширина шару ґрунту, що ущільнюється, м;

$b$  – ширина смуги перекриття попереднього шару, м;

$V$  – робоча швидкість руху машини, м/хв.;

$t$  – витрати часу на повороти або рух заднім ходом без ущільнення, хв.;

$n$  – число проходів машини по одному сліду;

$k_e$  – коефіцієнт використання машини у часі, приймається рівним 0,85.

Час  $T$  (год), необхідний для виконання роботи з ущільнення ґрунту насипу об'ємом  $Q$  можна визначити за формулою

$$T = \frac{Q}{P_e} \cdot \quad (3.2)$$

Розглянемо послідовність виконання розрахунків. Для заданої категорії автодороги –  $V$  і дорожньо-кліматичної зони –  $I$  встановлюється значення коефіцієнту ущільнення (таблиця 3.3)

Таблиця 3.3 – Коефіцієнти ущільнення земляного полотна

| Елемент земляного полотна                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Глибина розташування шару ґрунту від поверхні покриття, м | Найменший коефіцієнт ущільнення ґрунту за типом дорожнього одягу та кліматичними зонами |                 |                 |                         |      |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|------|------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                           | капітальний                                                                             |                 |                 | полегшений і перехідний |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                           | дорожньо-кліматичні зони                                                                |                 |                 |                         |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                           | IV, I                                                                                   | II              | III             | IV, I                   | II   | III  |
| Робочий шар насипу та виїмки                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | до 1,5                                                    | від 1,0 до 0,98                                                                         | від 1,0 до 0,98 | від 1,0 до 0,98 | від 0,98 до 0,95        | 0,95 | 0,95 |
| Насип, що не підтоплюється                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | –                                                         | 0,98                                                                                    | 0,98            | 0,98            | 0,95                    | 0,95 | 0,95 |
| Насип, що підтоплюється                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | –                                                         | 0,98                                                                                    | 0,98            | 0,98            | 0,98                    | 0,95 | 0,95 |
| <b>Примітка.</b> Більші значення коефіцієнта ущільнення ґрунту призначаються при дорожньому одязі капітального типу, при влаштуванні шарів основ з ґрунтів та кам'яних матеріалів, оброблених цементом, менші – в усіх інших випадках. Більше значення коефіцієнта ущільнення ґрунту основ призначається для насипів заввишки до 1,5 м. |                                                           |                                                                                         |                 |                 |                         |      |      |

Так як висота насипу на ділянці автомобільної дороги до 1,5 м, то приймаємо значення коефіцієнта ущільнення ґрунту  $k_y = 0,98 - 1,0$ .

Для побудови графіку залежності продуктивності котка від коефіцієнта ущільнення кількість і кількості проходок розрахунки виконувалися при різних значеннях.

Експлуатаційна продуктивність ґрунтоущільнюючої машини і час на виконання роботи з ущільнення насипу розраховувалася за формулами (3.1 і 3.2).

Побудовані графіки залежності  $P_e$  від довжини ділянки насипу, кількості проходок машини, товщини шару ґрунту (рисунки 3.4 – 3.6) дають можливість дослідити вплив основних факторів на експлуатаційну продуктивність

грунтоуцілюючої машини.

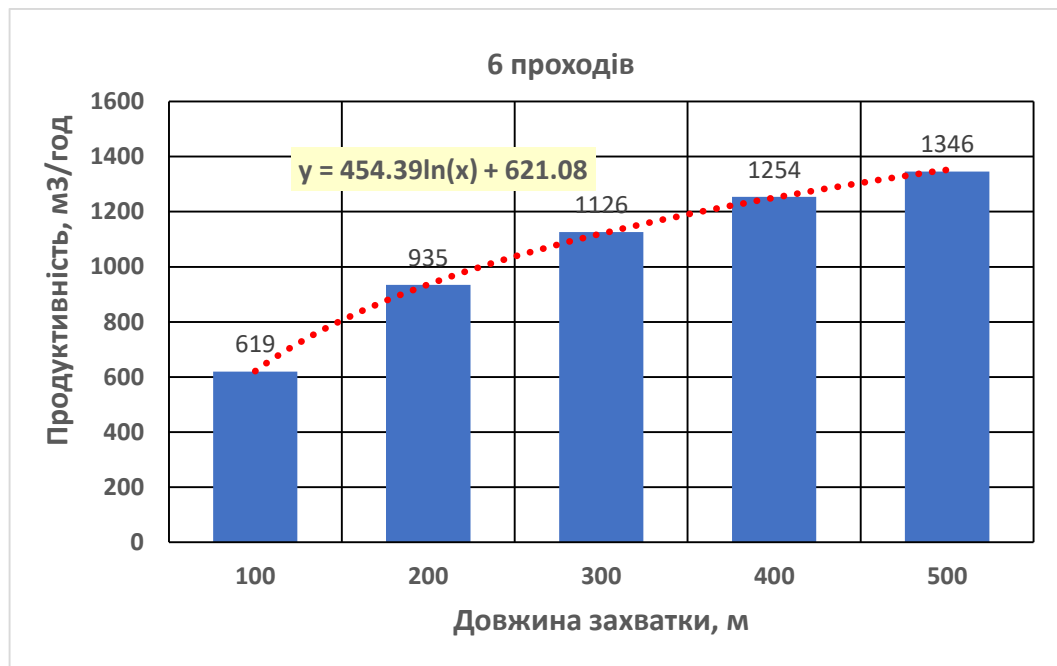


Рисунок 3.4 – Продуктивність котка в залежності від довжини ділянки

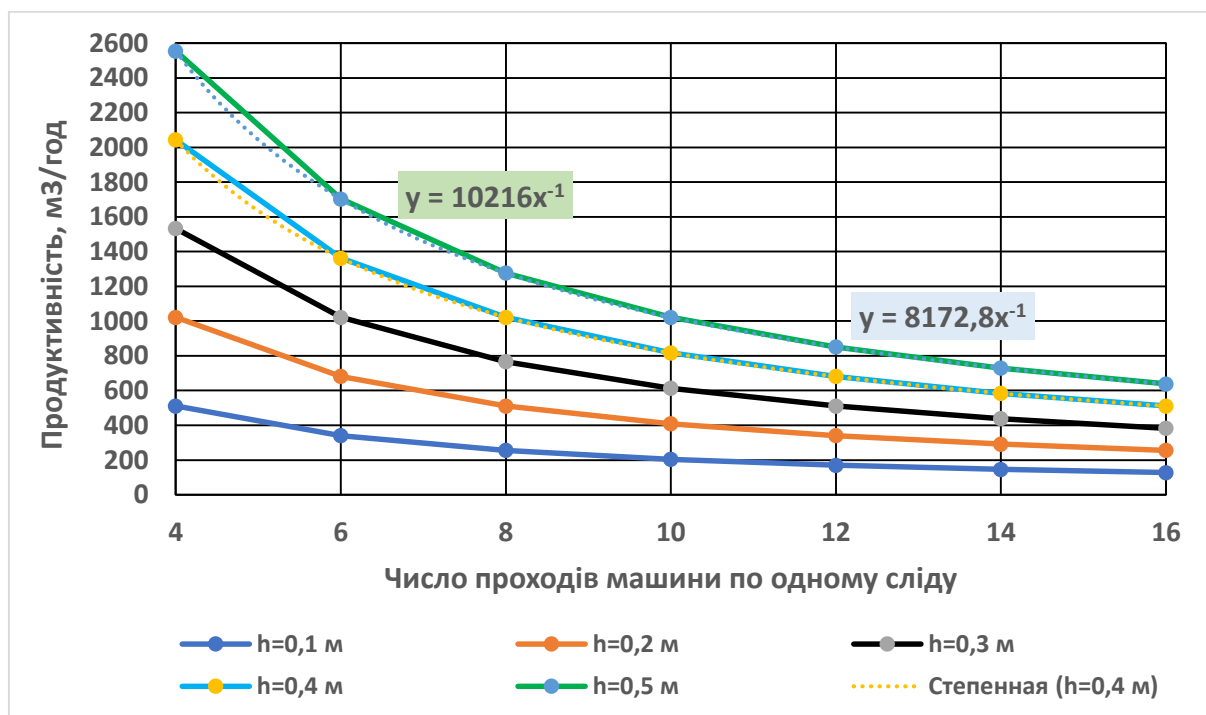


Рисунок 3.5 – Продуктивність котка в залежності від числа проходів машини

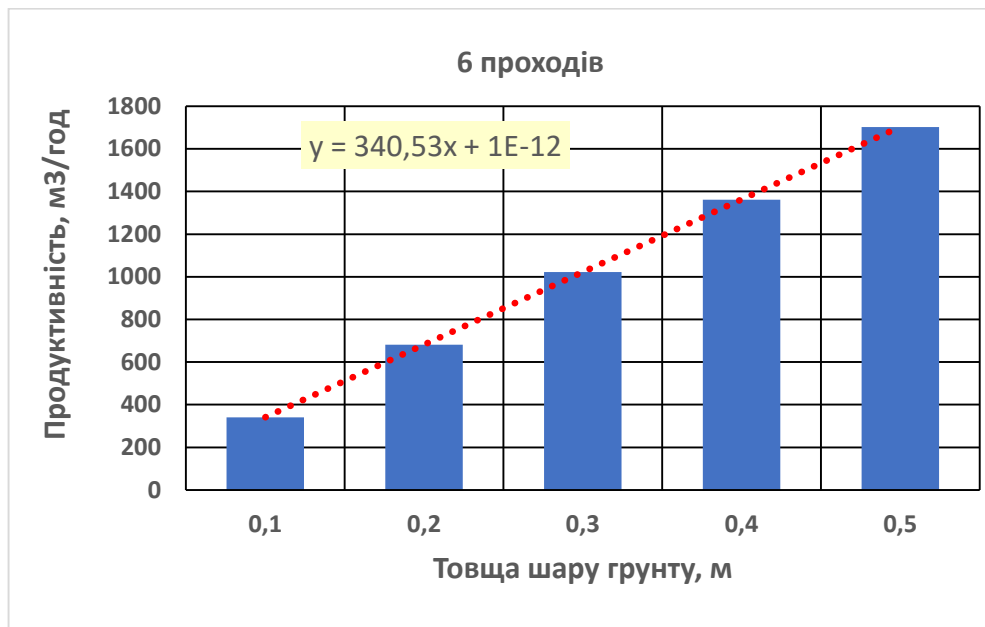


Рисунок 3.6 – Продуктивність котка в залежності від товщини шару ґрунту

Для визначення терміну роботи машини з ущільнення ґрунту використовується формула 3.2.

Для прикладу розглянемо ділянку поздовжнього профілю, що наведена на рисунку 3.7.

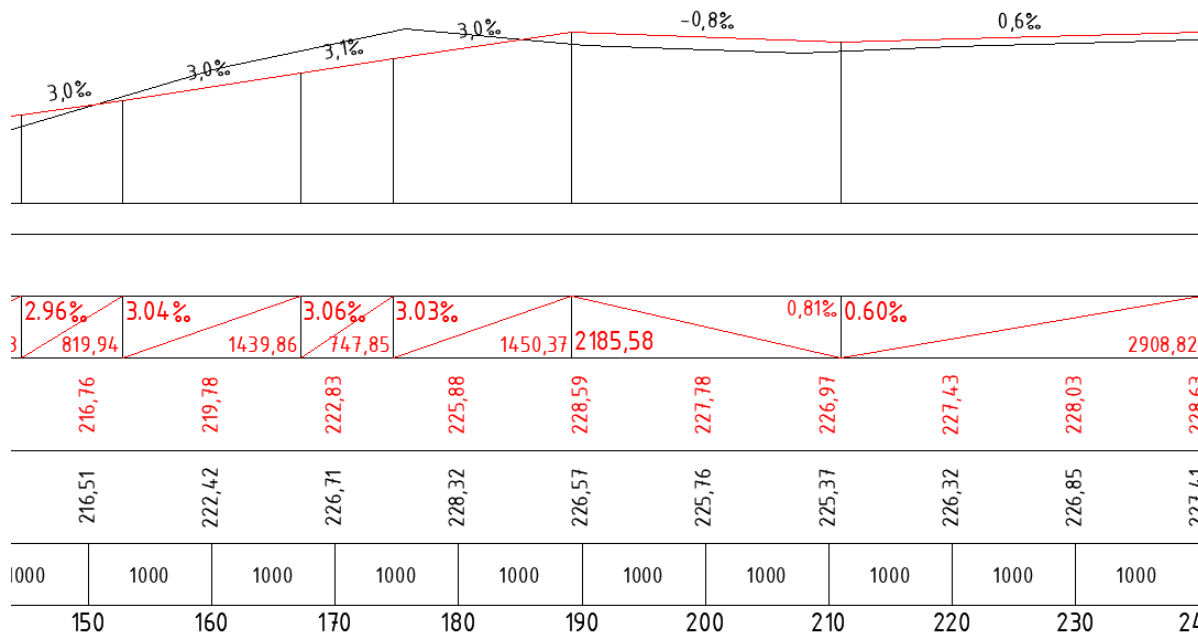
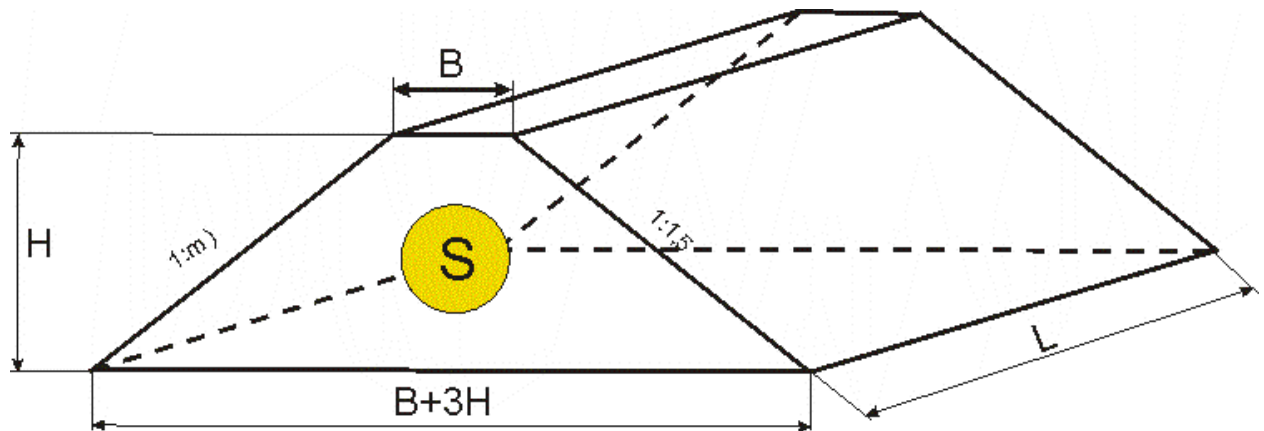


Рисунок 3.7 – Поздовжній профіль ділянки автодороги пк 150 – пк 240

Визначаємо об'єм ґрунту на захватці пк 190 – пк 200. Висота насипу (різниця між проєктної відміткою і відміткою землі) – 2,02 м.

Площа поперечного перерізу насипу  $S$  (рис. 3.8) визначається за формулою (3.3).



$$S = \frac{B + B + 3H}{2} \cdot H \quad (3.3)$$

Підставляючи значення в формулу (3.3), отримаємо:

$$S = \frac{7 + 7 + 3 \cdot 2,02}{2} \cdot 2,02 = 20,26 \text{ м}^2$$

$$\text{Об'єм насипу: } Q = S \cdot L \text{ м}^3$$

$$Q = 20,26 \cdot 1000 = 20260 \text{ м}^3$$

Продуктивність котка при товщині шару ґрунту 0,3 м і кількості проходок – 6 за формулою (3.1) дорівнює  $\Pi_e = 1578 \text{ м}^3 / \text{год}$ .

Час  $T$ , необхідний для виконання роботи з ущільнення ґрунту насипу об'ємом  $Q$  визначається за формулою (3.2):

$$T = \frac{Q}{\Pi_e} = \frac{20260}{1578} = 12,9 \text{ год} = 2 \text{ зміни}$$

### Висновки до розділу 3

На основі аналізу характеристик різних типів машин для ущільнення земляного полотна автомобільної дороги (життєвий цикл, продуктивність, поточне утримання, вартість) та з застосуванням «матриці пріоритетів» визначено раціональний тип ущільнюючої машини, яким є коток.

На основі аналізу графіків залежності продуктивності котка від кількості проходів, довжини захватки і товщини шару ґрунту встановлено наступне:

– продуктивність котка зростає від довжини захватки за логарифмічною функцією. При зміні довжини від 100 м до 500 м продуктивність збільшується приблизно в два рази;

– продуктивність котка залежить від товщини шарів, що ущільнюються, та від числа проходок. Зміна продуктивності відбувається за степеневим законом: при кількості проходок 2 – 6 продуктивність зростає більш інтенсивно, а після 10...12 проходок темп суттєво знижується;

– спостерігається лінійна залежність продуктивності котка від товщини шару ґрунту, що ущільнюється.

На прикладі розглянутої ділянки автомобільної дороги визначено термін виконання робіт котком з ущільнення ґрунту при 6-ти проходках, який склав дві зміни.

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         | 63    |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         |       |

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 4.1 Заходи з охорони праці при ущільненні земляного полотна автомобільної дороги

Охорона праці при ущільненні земляного полотна автодороги є важливою складовою будь-якого будівництва дороги. Вона спрямована на забезпечення безпеки працівників, які виконують ці роботи, а також на запобігання негативного впливу на навколишнє середовище.

Основні заходи з охорони праці при ущільненні земляного полотна автодороги включають в себе:

1. Забезпечення безпеки руху транспорту і пішоходів. На ділянці будівництва дороги необхідно встановити відповідні дорожні знаки і огороження, які б попереджали про небезпеку і перешкоджали проникненню на територію будівництва сторонніх осіб.

2. Забезпечення безпеки праці працівників. Працівники, які виконують роботи з ущільнення земляного полотна, повинні бути забезпечені відповідним спецодягом і засобами індивідуального захисту, такими як каски, рукавички, захисні окуляри, респіратори.

3. Забезпечення дотримання технології виконання робіт. Перед початком робіт необхідно провести інструктаж працівників з техніки безпеки і навчити їх правильному виконанню робіт.

4. Забезпечення дотримання санітарно-гігієнічних норм. На території будівництва дороги необхідно забезпечити наявність питної води, туалетів і місць для відпочинку працівників.

Особливу увагу при ущільненні земляного полотна автодороги необхідно приділяти таким питанням:

– забезпечення безпеки руху техніки. Техніка, яка використовується для ущільнення земляного полотна, повинна бути в справному стані і відповідати вимогам безпеки. Працівники, які керують технікою, повинні мати відповідну

кваліфікацію.

– забезпечення безпеки праці при використанні важких механізмів. При використанні важких механізмів, таких як катки, бульдозери, екскаватори, необхідно дотримуватися всіх заходів безпеки, передбачених інструкцією по експлуатації цих механізмів.

– забезпечення безпеки праці при роботі з буровим обладнанням. При роботі з буровим обладнанням необхідно дотримуватися всіх заходів безпеки, передбачених інструкцією по експлуатації цього обладнання.

За дотриманням правил охорони праці при ущільненні земляного полотна автодороги повинен здійснюватися контроль. Відповідальність за забезпечення охорони праці при виконанні цих робіт покладається на керівника будівництва.

Нижче наведено деякі конкретні рекомендації щодо охорони праці при ущільненні земляного полотна автодороги:

Перед початком робіт необхідно провести ретельний огляд території будівництва, щоб виявити та усунути будь-які потенційні небезпеки.

Працівники, які виконують роботи з ущільнення земляного полотна, повинні бути забезпечені касками, рукавичками, захисними окулярами і респіраторами.

Працівники повинні бути навчені правильному виконанню робіт і дотриманню правил безпеки.

Техніка, яка використовується для ущільнення земляного полотна, повинна бути в справному стані і відповідати вимогам безпеки.

Працівники, які керують технікою, повинні мати відповідну кваліфікацію.

При використанні важких механізмів необхідно дотримуватися всіх заходів безпеки, передбачених інструкцією по експлуатації цих механізмів.

При роботі з буровим обладнанням необхідно дотримуватися всіх заходів безпеки, передбачених інструкцією по експлуатації цього обладнання.

Дотримання цих рекомендацій допоможе забезпечити безпеку працівників і запобігти негативному впливу на навколишнє середовище при ущільненні

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         |       |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 65    |

земляного полотна автодороги.

Вимоги безпеки, планування, організацію і виконання земляних робіт викладено в офіційному документі НПАОП 45.2-7.02-12 Охорона праці і промислова безпека у будівництві [26].

Розглянемо, які саме машини використовуються для ущільнення земляного полотна.

Грунтовий каток Hamm 3625 HT Hammtronic виробляється німецькою компанією Hamm, яка є одним із провідних світових виробників будівельної техніки (рис. 4.1). Каток Hamm 3625 HT Hammtronic широко застосовується в будівництві доріг, а також при ремонті і реконструкції дорожніх покриттів.

Основні параметри грунтового катка Hamm 3625 HT Hammtronic: маса 25 т, потужність двигуна: 250 кВт, швидкість руху 0 – 20 км/год. Каток призначений для ущільнення асфальтобетонних і ґрунтових покриттів, а також для трамбування ґрунту.

Каток має ряд переваг, які роблять його одним із найпопулярніших ґрунтових катків на ринку: висока продуктивність – до 1000 м<sup>2</sup> асфальтобетонного покриття за годину, має спеціальні кулачкові вали, які забезпечують рівномірне ущільнення по всій площі поверхні, каток оснащений електронною системою управління Hammtronic, яка дозволяє оператору контролювати всі параметри роботи.

Грунтовий каток VOLVO SD160B виробляється шведською компанією Volvo Construction Equipment, яка є одним із провідних світових виробників будівельної техніки (рис. 4.2). Каток призначений для ущільнення асфальтобетонних і ґрунтових покриттів, а також для трамбування ґрунту.

Основні параметри грунтового катка VOLVO SD160B: маса 21 т, потужність двигуна 180 кВт, швидкість руху: 0 – 15 км/год

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         |       |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 66    |



Рисунок 4.1 – Грунтовый каток Hamm 3625 HT Hammtronic

Коток має спеціальні кулачкові вали, які забезпечують рівномірне ущільнення по всій площі поверхні, може ущільнити до 800 м2 асфальтобетонного покриття за годину.

Коток оснащений електронною системою управління Volvo CareTrack, яка дозволяє оператору контролювати всі параметри роботи.

Коток VOLVO SD160B широко застосовується в будівництві доріг, а також при ремонті і реконструкції дорожніх покриттів.

Порівняно з котком Hamm 3625 HT Hammtronic, каток VOLVO SD160B має ряд переваг: маса менше на 15%, що покращує маневреність і знижує витрати на транспортування, має більш потужний двигун, що забезпечує більш високу продуктивність.

Електронна система управління Volvo CareTrack забезпечує більший контроль і безпеку експлуатації.

Незважаючи на ці переваги, каток VOLVO SD160B має і ряд недоліків: ціна вище, ніж у катка Hamm 3625 HT Hammtronic, немає електронної системи управління Hammtronic, яка забезпечує більш точне ущільнення.



Рисунок 4.2 – Грунтовий коток VOLVO SD160B

Вібраційний коток Barret DS - 20t виробляється чеською компанією Barret, яка є одним із провідних світових виробників будівельної техніки (рисунок 4.3). Коток призначений для ущільнення асфальтобетонних і ґрунтових покриттів, а також для трамбування ґрунту. Основні параметри вібраційного катка Barret DS - 20t: маса 1700 кг, потужність двигуна 40 кВт, швидкість руху 0 – 160 м/хв.

Коток має ряд переваг, які роблять його одним із найпопулярніших вібраційних катків на ринку: коток має невеликі розміри і низьку вагу, що полегшує роботу в обмежених просторах і забезпечує високу маневреність.

Коток має потужний двигун і систему вібрації, які забезпечують рівномірне ущільнення по всій площі поверхні, оснащений сучасною системою управління, яка дозволяє оператору контролювати всі параметри роботи.

Порівняно з котком Hamm 3625 HT Hammtronic, коток Barret DS - 20t має ряд переваг: ціна значно нижча, має меншу масу, що покращує маневреність і знижує витрати на транспортування. Незважаючи на ці переваги, коток Barret DS – 20t має і ряд недоліків: – має меншу продуктивність, ніж каток Hamm 3625 HT Hammtronic, немає електронної системи управління Hammtronic, яка забезпечує більш точне ущільнення.



Рисунок 4.3 – Вібраційний каток Barret DS-20T

Для збільшення терміну служби автомобільних доріг потрібні не тільки нові технології, але і засоби операційного контролю технологічних операцій проведених при їх будівництві. Багато нових вітчизняних приладів за своїми метрологічними характеристиками не тільки наблизилися до зарубіжних аналогів, а й по деяких позиціях перевершили їх.

Ущільнення може виконуватися, наприклад, 13-тонним вібраційним катком ДУ-85 (рисунок 4.4). Для контролю ущільнення використовувався прилад НМР LFG pro+, що видавав ряд параметрів, в тому числі динамічний модуль пружності.



Рисунок 4.4 – Ущільнення ґрунту при відсипанні насипу

Дорожня основа разом з земляним полотном і підстиляючих шаром служать своєрідною опорою або фундаментом для асфальтобетонного покриття. Від того, як буде виконано дорожня основа залежить, чи буде дорожній одяг міцним або після нетривалої експлуатації з'явиться колійність, просідання, тріщини та інші дефекти.

Актуальним на сьогодні залишається питання оцінка безпеки руху транспортних засобів на перетині автомобільної дороги й залізниці в одному рівні. Отримані результати будуть корисні для проведення заходів із підвищення безпеки руху транспорту на залізничних переїздах [27].

#### **4.2 Захист навколишнього середовища при будівництві земляного полотна автомобільної дороги**

Серед основних завдань, що повинні забезпечити реалізацію окреслених в Національній транспортній стратегії України до 2030 р. [1] пріоритетних напрямків, відмічено забезпечення безпечного функціонування транспортно-

дорожнього комплексу та зниження негативного впливу транспорту на навколишнє природне середовище.

Будівництво земляного полотна автодороги може мати значний вплив на навколишнє середовище. Цей вплив може проявлятися в наступних формах:

**1. *Порушення природного середовища.*** Будівництво дороги вимагає використання ґрунту, розчищення лісів і чагарників, будівництва дренажних систем. Це може призвести до руйнування природних біотопів, знищення рослин і тварин.

Природні біотопи утворюються в результаті взаємодії природних факторів, таких як клімат, рельєф, ґрунт, рослинність і тваринний світ. Вони можуть бути різноманітними за своїми розмірами, формою і складом.

Ліс – це біотоп, який характеризується наявністю деревної рослинності.

Луг – це біотоп, який характеризується наявністю трав'янистої рослинності.

Болото – це біотоп, який характеризується наявністю вологих умов.

Пустельна зона – це біотоп, який характеризується сухими умовами.

Гори – це біотоп, який характеризується наявністю гірського рельєфу.

Природні біотопи відіграють важливу роль у природі. Вони є домівкою для різноманітних рослин і тварин, а також виконують важливі екологічні функції, такі як забезпечення чистоти повітря і води, регулювання клімату, захист від ерозії, збереження біорізноманіття.

Людська діяльність може негативно впливати на природні біотопи. Наприклад, вирубування лісів, забруднення навколишнього середовища і зміна клімату можуть призвести до знищення природних біотопів і деградації біорізноманіття.

**2. *Забруднення повітря.*** При будівництві дороги використовуються машини і обладнання, які викидають в повітря шкідливі речовини, такі як оксиди вуглецю, оксиди азоту, сірчиста кислота. Це може призвести до погіршення якості повітря в навколишньому середовищі.

**3. Забруднення води.** При будівництві дороги може відбуватися забруднення води стічної рідиною, яка містить важкі метали, нафтопродукти та інші шкідливі речовини. Це може призвести до забруднення ґрунтових вод і водойм.

**4. Вплив на мікроклімат.** Будівництво дороги може призвести до зміни мікроклімату в навколишньому середовищі. Наприклад, дорога може перешкоджати природному перебігу повітряних мас, що може призвести до підвищення температури повітря влітку і зниження температури повітря взимку.

Для оцінки впливу будівництва земляного полотна автодороги на навколишнє середовище використовуються різні методи. Одним з найпоширеніших методів є оцінка впливу на навколишнє середовище (ОВНС). ОВНС – це процес, який дозволяє визначити потенційні негативні наслідки проекту для навколишнього середовища і розробити заходи для їх запобігання або зменшення [28].

В рамках ОВНС проводиться оцінка таких факторів, як:

- порушення природного середовища. Оцінюється площа, яку буде зайнята дорогою, кількість вирубаних дерев, кількість знищених рослин і тварин;
- забруднення повітря. Оцінюється кількість шкідливих речовин, які будуть викидатися в повітря при будівництві дороги.
- забруднення води. Оцінюється кількість шкідливих речовин, які можуть потрапити у воду при будівництві дороги.
- вплив на мікроклімат. Оцінюється потенційний вплив дороги на температуру повітря, кількість опадів і інші кліматичні фактори.

Перелік джерел, що впливають на навколишнє середовище при будівництві й наступній експлуатації автомобільної дороги включають:

- викиди транспортних засобів (відпрацьовані гази, шум, пил, що забруднюють повітря, ґрунт і водні стоки на прилеглій території);
- зміни у природних і господарських системах внаслідок вилучення земель, переформування рельєфу, зміни умов поверхневого та підземного стоку, зміни

біосистеми і господарських угідь, існуючої інфраструктури;

– забруднення атмосфери, ґрунту та водойм під час роботи дорожніх машин, виробничий шум, розповсюдження пилу, тимчасове вилучення земель.

Перелік забруднюючих речовин це альдегіди, вуглекислий газ, вуглеводневі сполуки, оксид вуглецю, оксиди азоту, кадмій, свинець, сірчаний ангідрид, солі, нафтопродукти, сажа, пил, акустичне та електромагнітне забруднення, вібрація (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Вміст шкідливих речовин у повітрі  
(у чисельнику дані за 2000 рік, у знаменнику – 2030 рік)

| Показники                                    | Відстань, м |       |       |      |      |      |      | Нормативи |
|----------------------------------------------|-------------|-------|-------|------|------|------|------|-----------|
|                                              | 20          | 50    | 100   | 150  | 200  | 250  | 300  |           |
| Вміст речовин у повітрі, мг / м <sup>3</sup> |             |       |       |      |      |      |      |           |
| Вуглецю окис                                 | 1,33        | 0,91  | 0,69  | 0,63 | 0,60 | 0,38 | 0,57 | 5,0       |
|                                              | 3,24        | 1,87  | 1,12  | 0,92 | 0,82 | 0,76 | 0,73 |           |
| Азоту двоокис                                | 0,03        | 0,02  | 0,02  | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,08<br>5 |
|                                              | 0,06        | 0,04  | 0,02  | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |           |
| Зміст свинцю у ґрунті, мг / кг               | 441,5       | 113,5 | 37,8  | 18,9 | 6,3  | 3,2  | 0,02 | 32,0      |
|                                              | 1476,0      | 379,5 | 126,5 | 63,3 | 21,1 | 10,6 | 0,06 |           |
| Транспортний шум, ДБ'а                       | -           | 67,0  | 64,2  | 62,4 | 61,1 | 60,0 | 59,0 | 55,0      |
|                                              | -           | 71,2  | 68,4  | 66,6 | 65,3 | 64,2 | 63,3 |           |
| К <sub>еб</sub>                              | 0,56        | 0,20  | 0,06  | 0,04 | 0,03 | 0,08 | 0,03 | 1,0       |
|                                              | 0,84        | 0,60  | 0,15  | 0,07 | 0,05 | 0,03 | 0,03 |           |
| К <sub>кін</sub>                             | 14,45       | 5,18  | 2,72  | 2,10 | 1,64 | 1,57 | 1,43 | 4,0       |
|                                              | 47,36       | 13,44 | 5,1   | 3,63 | 2,24 | 1,54 | 1,51 |           |

Умовні позначення: К<sub>еб</sub> – коефіцієнт екологічної безпеки; К<sub>кін</sub> – комплексно – інтегрований показник.

Коефіцієнт екологічної безпеки – це кількісний показник, який характеризує ступінь відповідності стану навколишнього середовища нормативним вимогам. Він розраховується як відношення фактичного стану навколишнього середовища до нормативного стану. Фактичний стан навколишнього середовища визначається на основі даних спостережень за станом повітря, води, ґрунтів, рослинності та тваринного світу. Нормативний стан навколишнього середовища визначається на основі нормативних документів, які

встановлюють допустимі рівні забруднення навколишнього середовища.

Коефіцієнт екологічної безпеки може бути розрахований для різних територій, об'єктів або видів діяльності. Наприклад, коефіцієнт екологічної безпеки для міста можна розрахувати як відношення середньої концентрації забруднюючих речовин у повітрі до допустимої концентрації цих речовин. Аналогічно, коефіцієнт екологічної безпеки для підприємства можна розрахувати як відношення середнього обсягу викидів забруднюючих речовин у повітря до допустимого обсягу цих викидів.

Діапазон значень коефіцієнта екологічної безпеки залежить від того, для якої території, об'єкта або виду діяльності він розраховується. Якщо коефіцієнт екологічної безпеки дорівнює 1, то це означає, що фактичний стан навколишнього середовища відповідає нормативному стану, тобто навколишнє середовище знаходиться в безпечному стані. Якщо коефіцієнт екологічної безпеки менше 1, то це означає, що фактичний стан навколишнього середовища гірший, ніж нормативний стан, тобто навколишнє середовище знаходиться в небезпеці. Якщо коефіцієнт екологічної безпеки більше 1, то це означає, що фактичний стан навколишнього середовища кращий, ніж нормативний стан. Це означає, що навколишнє середовище знаходиться в безпечному стані.

Наприклад, якщо коефіцієнт екологічної безпеки для міста дорівнює 0,8, то це означає, що середня концентрація забруднюючих речовин у повітрі перевищує допустиму концентрацію на 20%. Це означає, що в місті є проблеми з забрудненням повітря.

Аналогічно, якщо коефіцієнт екологічної безпеки для підприємства дорівнює 1,2, то це означає, що середній обсяг викидів забруднюючих речовин у повітря менше допустимого обсягу на 20%. Це означає, що підприємство здійснює заходи з охорони навколишнього середовища.

Коефіцієнти екологічної безпеки, які близькі до 0, вказують на наявність серйозних проблем з навколишнім середовищем. Коефіцієнти екологічної безпеки, які близькі до 2, вказують на те, що навколишнє середовище знаходиться

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         |       |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 74    |

в безпечному стані і є потенціал для його поліпшення.

У загальному випадку, діапазон значень коефіцієнта екологічної безпеки можна визначити як від 0 до 2.

Коефіцієнт екологічної безпеки є важливим показником, який дозволяє оцінити стан навколишнього середовища і розробити заходи щодо його поліпшення.

Комплексно-інтегровані показники використовуються для оцінки стану навколишнього середовища, стану здоров'я населення, ефективності діяльності підприємств та інших об'єктів. Він може бути розрахований як відношення суми значень окремих показників до їх середнього значення.

Для визначення комплексно-інтегрованого показника необхідно визначити, які показники необхідно врахувати. Ці показники можуть бути різними, залежно від об'єкта або процесу, який оцінюється.

Наприклад, для оцінки стану навколишнього середовища можуть бути використані такі показники:

- концентрація забруднюючих речовин у повітрі, воді та ґрунті;
- стан рослинності та тваринного світу;
- екологічні наслідки господарської діяльності.

Для оцінки ефективності діяльності підприємств можуть бути використані такі показники:

- обсяги виробництва;
- викиди забруднюючих речовин;
- витрати на охорону навколишнього середовища.

Після визначення показників, які необхідно врахувати, необхідно визначити їх ваги. Ваги показують, наскільки важливим є кожен показник.

Ваги можуть бути встановлені експертно або на основі аналізу даних. Комплексно-інтегрований показник розраховується за формулою:

$$K_{\text{кіп}} = \Sigma(w_i * p_i) / \Sigma w_i,$$

де  $K_{\text{кіп}}$  – комплексно-інтегрований показник;

$w_i$  – вага  $i$  – го показника;

$p_i$  – значення  $i$ -го показника.

Якщо значення комплексно-інтегрованого показника  $p_i > 1$ , то це означає, що стан об'єкта або процесу є задовільним. Якщо значення комплексного показника  $p_i < 1$ , то це означає, що стан об'єкта або процесу є незадовільним.

Комплексно-інтегровані показники є важливим інструментом для оцінки стану об'єктів або процесів. Вони дозволяють оцінити стан об'єкта або процесу з урахуванням різних аспектів і прийняти ефективні рішення щодо його поліпшення.

На основі результатів ОВНС розробляються заходи для зменшення негативного впливу будівництва дороги на навколишнє середовище. Ці заходи можуть включати в себе:

Використання екологічно безпечних матеріалів і технологій. Наприклад, при будівництві дороги можна використовувати матеріали, які не містять шкідливих речовин, або технології, які дозволяють зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу.

Виконання компенсаційних заходів. Наприклад, при вирубці лісу можна висаджувати новий ліс.

В Україні оцінка впливу на навколишнє середовище є обов'язковим етапом при будівництві будь-якого об'єкта, включаючи автомобільні дороги.

Вартість займаних земель під смугу відведення під автодорогу оцінюється відповідно до Порядку визначення розміру відшкодування за втрату права користування земельними ділянками, що вилучаються (викупуваються) для суспільних потреб, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 16 січня 2002 року № 21. Методика визначення розміру відшкодування за втрату права користування земельними ділянками, що вилучаються (викупуваються) для суспільних потреб, затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 16 січня 2002 року № 22.

Методика передбачає, що вартість земельної ділянки визначається шляхом

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         |       |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 76    |

застосування коефіцієнтів, які враховують такі фактори, як:

– вид використання земельної ділянки. Для земельної ділянки, яка буде зайнята під смугу відведення під автодорогу, застосовується коефіцієнт 1,0;

– розташування земельної ділянки. Для земельної ділянки, яка розташована в населеному пункті, застосовується коефіцієнт 1,2. Для земельної ділянки, яка розташована поза населеним пунктом, застосовується коефіцієнт 1,0;

– категорія земельної ділянки. Для земельної ділянки, яка відноситься до земель сільськогосподарського призначення, застосовується коефіцієнт 0,8.

Для земельної ділянки, яка відноситься до земель інших категорій, застосовується коефіцієнт 1,0:

– клас якості ґрунтів. Для земельної ділянки, яка відноситься до 1-го класу якості ґрунтів, застосовується коефіцієнт 1,5. Для земельної ділянки, яка відноситься до 2-го класу якості ґрунтів, застосовується коефіцієнт 1,3. Для земельної ділянки, яка відноситься до 3-го класу якості ґрунтів, застосовується коефіцієнт 1,1;

– стан земельної ділянки. Для земельної ділянки, яка знаходиться в задовільному стані, застосовується коефіцієнт 1,0. Для земельної ділянки, яка знаходиться в незадовільному стані, застосовується коефіцієнт 0,8.

Для визначення вартості земельної ділянки також враховується її площа.

Таким чином, вартість займаних земель під смугу відведення під автодорогу визначається шляхом множення площі земельної ділянки на коефіцієнт, який враховує вид використання земельної ділянки, її розташування, категорію, клас якості ґрунтів і стан [29].

Наприклад, якщо земельна ділянка, яка буде зайнята під смугу відведення під автодорогу, розташована в населеному пункті, відноситься до земель сільськогосподарського призначення, має 1 га площі, 1-й клас якості ґрунтів і задовільний стан, то її вартість становитиме:  
 $1 \text{ га} * 1,2 * 0,8 * 1,5 * 1,0 = 120 \text{ тис. грн.}$

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         | 77    |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         |       |

Вартість займаних земель під смугу відведення під автодорогу виплачується землевласнику або землекористувачу у грошовій формі.

Рекультивація земель – це комплекс робіт, спрямованих на відновлення продуктивності та народногосподарської цінності земель, порушених господарською діяльністю людини або природними процесами.

Рекультивація земель проводиться в таких випадках:

- при вилученні земель для суспільних потреб. Наприклад, при будівництві автомобільних доріг, залізниць, промислових підприємств тощо;
- при порушенні земель техногенними аваріями;
- при порушенні земель природними процесами. Наприклад, при ерозії, засолені, заболочуванні тощо.

Положення про рекультивацію земель, затверджене постановою Кабінету Міністрів України від 27 лютого 2003 року № 266. Це Положення визначає порядок проведення рекультивації земель.

Рекультивація земель здійснюється в кілька етапів:

*Етап проектування.* На цьому етапі розробляється проект рекультивації земель, який визначає цілі, завдання, технологію та обсяги робіт.

*Етап виконання робіт.* На цьому етапі проводяться роботи з відновлення продуктивності і народногосподарської цінності земель.

*Етап приймання робіт.* На цьому етапі приймається комісією відповідність виконаних робіт проектним вимогам.

Технологія рекультивації земель залежить від виду порушених земель і цілей рекультивації. Загалом, рекультивація земель включає такі основні роботи:

- видалення забруднених ґрунтів. Якщо ґрунти забруднені шкідливими речовинами, то вони видаляються і утилізуються;
- внесення добрив і органічних речовин. Це робиться для підвищення родючості ґрунтів;
- внесення мінеральних добрив. Це робиться для забезпечення нормального росту рослин;

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         | 78    |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         |       |

- внесення органічних добрив. Це робиться для підвищення родючості ґрунтів і поліпшення його структури;
- посів або посадка рослин. На рекультивованих землях можна вирощувати сільськогосподарські культури, лісові насадження або використовувати їх для інших цілей.

Рекультивація земель є важливим заходом, який дозволяє відновити продуктивність і народногосподарську цінність земель, порушених господарською діяльністю людини або природними процесами.

Роботи з рекультивації земель проводять власники або землекористувачі земель, порушених господарською діяльністю людини або природними процесами, особи, які отримали дозвіл на вилучення земель для суспільних потреб, особи, які відповідальні за техногенні аварії, що призвели до порушення земель.

В Україні роботи з рекультивації земель, як правило, проводять підприємства, які спеціалізуються на цих роботах. Ці підприємства мають відповідну техніку і обладнання, а також кваліфікований персонал.

Відповідно до Положення про рекультивацію земель, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 27 лютого 2003 року № 266, роботи з рекультивації земель можуть проводитися як самими власниками або землекористувачами порушених земель, так і за їх рахунок іншими суб'єктами, в тому числі спеціалізованими підприємствами.

Роботи з рекультивації земель повинні проводитися відповідно до проектів, розроблених спеціалізованими організаціями.

Висновки до розділу 4

Охорона праці при ущільненні земляного полотна автодороги є важливою складовою будь-якого будівництва дороги. Вона спрямована на забезпечення безпеки працівників, які виконують ці роботи, а також на запобігання негативного впливу на навколишнє середовище.

Для збільшення терміну служби автомобільних доріг потрібні не тільки

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         | 79    |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         |       |

нові технології але й дотримання забезпечення безпеки праці працівників і санітарно-гігієнічних норм.

Виходячи з вимог безпеки, планування, організації і технології виконання земляних робіт розглянуто різні типи ґрунтоущільнюючих машин: ґрунтовий каток Hamm 3625 HT Hammtronic, ґрунтовий каток VOLVO SD160B, вібраційний каток Barret DS - 20t, вібраційний каток ДУ-85 та надана оцінка умов застосування цих машин, що буде сприяти кращим методам організації праці робітників.

На основі аналізу фактичних даних показана доцільність застосування коефіцієнта екологічної безпеки і комплексно-інтегрованого показника, які характеризують ступінь відповідності стану навколишнього середовища нормативним вимогам і є важливими для розробити заходів щодо поліпшення навколишнього середовища, здоров'я населення й ефективності діяльності підприємств.

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         |       |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 80    |

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Комплексний підхід, що застосовується в кваліфікаційній роботі, передбачає оцінку сумісної роботи земляного полотна, дорожньої основи і покриття. Від того, як буде відсипане й ущільнене земляне полотно, виконана дорожня основа залежить, чи буде дорожній одяг міцним і довговічним. Проведений аналіз наукових праць дозволив визначити мету й напрямок дослідження, що включає таке питання як підвищення надійності роботи земляного полотна й автодорожнього покриття за рахунок оптимального розподілу об'ємів ґрунту при будівництві ділянки автомобільної дороги.

Відповідно до завдання на кваліфікаційну роботу проведено аналіз об'єкта дослідження. Встановлено, що об'єктом є логістичний термінал «Сухий порт», який розташований близько ст. Мостиська та безпосередньо пов'язаний автомобільним і залізничним сполученням. Проєкт має важливе значення для розвитку логістичної інфраструктури України. Він дозволить поліпшити логістичні зв'язки між Західною Україною і морськими портами України.

При проєктуванні під'їзної автомобільної дороги до терміналів рекомендується використовувати нормативні параметри плану і поздовжнього профілю та інші проєктні параметри, що забезпечить нормальне функціонування об'єктів.

На основі аналізу характеристик різних типів машин для ущільнення земляного полотна автомобільної дороги (життєвий цикл, продуктивність, поточне утримання, вартість) та з застосуванням «матриці пріоритетів» визначено раціональний тип ущільнюючої машини, який більш повно відповідає вимогам безпеки, планування, організації і технології виконання земляних робіт.

На основі аналізу фактичних даних показана доцільність застосування коефіцієнта екологічної безпеки і комплексно-інтегрованого показника, які характеризують ступінь відповідності стану навколишнього середовища нормативним вимогам і є важливими для розробити заходів щодо поліпшення навколишнього середовища, здоров'я населення й ефективності діяльності підприємств.

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 81    |

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Національна транспортна стратегія України до 2030 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#n13>.

2. Питання фінансування об'єктів будівництва, реконструкції, капітального та поточного середнього ремонту автомобільних доріг загального користування державного значення у 2022 році за рахунок запозичень, залучених під державні гарантії. Постанова Кабінету міністрів України від 19 січня 2022 р. № 64. Київ. [https://zakononline.com.ua/documents/show/508393\\_698135](https://zakononline.com.ua/documents/show/508393_698135)

3. Гамеляк І. П. Аналіз методів розрахунку покриттів із кам'яних елементів брукування / І. П. Гамеляк, Л. М. Карафізі. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2012. – №86. – С. 133–145.

4. Гамеляк І. П. Досвід впровадження дорожніх покриттів із елементів мощення / І. П. Гамеляк, Л. М. Карафізі. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2016. – №97. – С. 26–41.

5. Мозговий В. В. Міцність дорожнього одягу – основа якості автомобільних доріг / В. В. Мозговий, А. М. Онищенко, О. М. Куцман. // Автошляховик України. – 2013. – №4. – С. 32–35.

6. Застосування ресурсозберігаючих технологій при проектуванні дорожніх одягів автомобільних доріг / О. Ю. Кірічек, Ю. Б. Балашова, В. В. Дем'яненко, К. С. Руденко. // Будівельні конструкції. – 2016. – №83 (2). – С. 637–648.

7. Солодкий С. Й. Вплив типу основи на витривалість монолітних цементобетонних дорожніх покриттів / С. Й. Солодкий, І. Ю. Думич. // Автошляховик України. – 2014. – №2. – С. 23–26.

8. Гамеляк І. П. Розвиток методів оцінки напружено-деформованого стану армованого жорсткого дорожнього одягу / І. П. Гамеляк, В. М. Цибульський, А. М. Харченко. // Technical sciences: the analysis of trends and development prospects. – 2021. – С. 98–100.

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 82    |

9. Особливості технології підсилення дорожніх покриттів шарами цементобетону / [І. П. Гамеляк, А. М. Дмитриченко, В. М. Нагайчук та ін.]. // Дороги і мости. – 2020. – №22. – С. 63–78.

10. Безуглий А. О. Техніко-економічне обґрунтування вибору варіанту конструкцій дорожнього одягу / А. О. Безуглий, С. І. Ілляш, О. Ю. Тимошук. // Дороги і мости. – 2015. – №15. – С. 27–34.

11. Особливості проектування нежорстких дорожніх одягів із застосуванням армованих асфальтобетонних шарів для автомобільних / В. В. Мозговий, О. М. Куцман, С. А. Баран, І. І. Боровик. // Вісник Національного транспортного університету. – 2016. – №1. – С. 283–216.

12. Модифіковані цементобетони для покриття доріг / [В. В. Чистяков, А. Г. Шургая, Ю. М. Дорошенко та ін.]. // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2012. – №43. – С. 212–216.

13. Петренко О. І. Особливості функціонування сухих портів в Україні / О. І. Петренко, А. М. Пашкович. // Збірник наукових праць НУК. – 2021. – №3. – С. 58–64.

14. Li-juan W. Curling behavior mechanism of cement concrete pavement at early age / W. Li-juan, H. Chang-bin, S. Zeng-hua. // Engineering Mechanics. – 2021. – №38(10). – С. 215–228.

15. Jeevitha D. N. Damage Detection and Classification of Road Surfaces / D. N. Jeevitha, S. G. Vivekanand, H. Sharma. // International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET). – 2022. – №10. – С. 4408–4414.

16. Durability of premium road surfaces: Madrid inter.noise (Madrid, june 16-19, 2019)

17. Державний стандарт України. ДСТУ – Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія.

18. Державний стандарт України. ДСТУ Б В.2.7-30:2013. Матеріали нерудні для щебених і гравійних основ та покриттів автомобільних доріг. Загальні технічні умови.

19. Державні будівельні норми України. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. ДБН В.2.3-4-2015. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2015. – 104 с.

20. Галузеві будівельні норми. ГБН В.2.3-37641918-544:2014. Автомобільні дороги. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги.

21. Моніторинг цін на дорожні матеріали від ДП «ДерждорНДІ» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://dorndi.org.ua/ua/price-monitoring>.

22. Транспортна задача. Методичні вказівки та завдання до самостійної роботи з дисципліни «Дослідження операцій». / Укл.: Казнадій С. П., Мурашківська В. П. – Чернігів: ЧНТУ, 2016. – 23 с.

23. ДСТУ 9186:2022 Настанова з проектування земляного полотна автомобільних доріг. ДП «УкрНДНЦ» <http://uas.gov.ua>

24. ДСТУ-Н Б В.2.3-32:2016 Настанова з улаштування земляного полотна автомобільних доріг. «ДерждорНДІ». Київ, Мінрегіон України, 2016.

25. Науково-технічний супровід проектування автомобільних доріг та аеродромів: метод. рекомендації до практичних занять / уклад.: М. Б. Курган, О. Ф. Лужицький, Н. П. Хмелевська; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Дніпро, 2022. – 53 с.

26. НПАОП 45.2-7.02-12 (ДБН А.3.2-2-2009). Охорона праці і промислова безпека в будівництві. Основні положення.

27. Курган М. Б. Оцінка безпеки руху транспортних засобів на перетині автомобільної дороги й залізниці в одному рівні / М. Б. Курган, Д. М. Курган,

М. А. Гусак, М. О. Гаврилов, О. Ф. Лужицький // Наука та прогрес транспорту, 2022, № 2 (98). – С. 45-58.

28. Альбом типових проектних рішень конструкцій земляного полотна автомобільних доріг загального користування. АД А.2.4-37641918-006:2018 / Державне агентство автомобільних доріг України, Національний транспортний університет. – К., 2018.

29. Курган М. Б. Мінімізація смуги відведення земель під час ландшафтного проектування автомобільної дороги / М. Б. Курган, М. А. Гусак, О. Ф. Лужицький, Н. П. Хмелевська // Наука та прогрес транспорту, 2023, № 2 (102). – С. 17-28. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2023/288133>.

.

.

|     |     |          |        |      |                         |       |
|-----|-----|----------|--------|------|-------------------------|-------|
|     |     |          |        |      | 051. ДА2221.МР.2024.000 | Аркуш |
|     |     |          |        |      |                         |       |
| Ар. | Зм. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 85    |

