

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Будівництво, архітектура та інфраструктура»

Кафедра «Транспортна інфраструктура»

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
бакалавр
(ступінь вищої освіти)

на тему: Реконструкція інтермодального терміналу з розрахунком дорожнього одягу під великі навантаження

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

Виконав:

студент групи: ДА2111
Артур БЛОКОНЬ
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(підпис студента)

Керівник:

Асистент Сергій СТАСЕНКО
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Нормоконтролер:

Старший викладач Олег
ЛУЖИЦЬКИЙ
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

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

Студент _____

(підпис)

Дніпро – 2025 рік

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

Construction, Architecture and Infrastructure

(faculty)

Transport Infrastructure

(department)

Explanatory note
to qualification work
bachelor's degree

(higher education degree)

Reconstruction of a road within a populated area

according to educational curriculum: Highways

in the Speciality: 192 Construction and Civil Engineering

Done by the student of the group: ДА2111 / Artur Bilokon /

(name, surname)

Scientific Supervisor: / assistant Serhii Stasenko /

(position, name, surname)

Normative controller: / art. teacher Oleg Luzhytskyi /

(position, name, surname)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: *Будівництво, архітектура та інфраструктура*

Кафедра: *Транспортна інфраструктура*

Рівень освіти: *перший (бакалаврський) рівень вищої освіти*

Освітня програма: *Автомобільні дороги*

Спеціальність: *Будівництво та цивільна інженерія*

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ Олексій ТЮТКІН

(підпис)

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу _____ бакалавр
(ступінь вищої освіти)

студенту Білоконю Артуру Валерійовичу

1. Тема роботи: Реконструкція інтермодального терміналу з розрахунком дорожнього одягу під великі навантаження

Керівник роботи: Стасенко Сергій Сергійович, асистент

Затверджена наказом від 03 березня 2025 р. № 328 ст

2. Строк подання студентом роботи – 12 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи:

Район проектування – Закарпатська обл.	Існуючий об'єкт, що підлягає реконструкції – «вантажний двір»
Кількість транспортних одиниць: 80 авт/добу	Дорожній одяг – встановлюється згідно ДБН В 2.3-4 та інших нормативних документів

4. Зміст пояснювальної записки:

1 Аналітична частина

1.1 Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою.

1.2 Вимоги й норми проектування

2 Основна частина

2.1 Загальна характеристика району проектування

2.2 Основні проектні рішення

2.3 Дорожній одяг

2.4 Основні об'єми робіт

3 Економічна частина

3.1 Методика визначення вартості варіантів дорожнього одягу

3.2 Визначення вартості матеріалів, що застосовуються в будівництві дорожнього одягу

4 Охорона праці

4.1 Охорона праці

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях			
5. Перелік графічного матеріалу: Конструкції дорожнього одягу, що прийняті для порівняння			
6. Консультанти розділів роботи:			
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав:	Завдання прийняв:
		(підпис, дата)	(підпис, дата)
1	Лужицький О.Ф., ст. викл.		
2	Лужицький О.Ф., ст. викл.		
3	Лужицький О.Ф., ст. викл.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відсотки
1	Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою. Мета роботи.	20.04.2025	20
2	Вимоги й норми проектування. Загальна характеристика району проектування	17.05.2025	25
3	Основні проектні рішення. Дорожній одяг. Розробка та порівняння варіантів дорожніх одягів	02.06.2025	35
4	Охорона праці	12.06.2025	10
5	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	13.06.2025	10
6	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	25.06.2023	

Студент

(підпис)

Артур БІЛОКОНЬ

Керівник роботи

(підпис)

Сергій СТАСЕНКО

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра:
(рівень освіти)

55 с., 7 рис., 13 табл., 32 джерел.

Об'єкт дослідження – реконструкція інтермодального терміналу.

Метою роботи є визначення найбільш економічно доцільного варіанту дорожнього одягу при реконструкції інтермодального терміналу.

Методи дослідження – метод порівняння вартості матеріалів дорожніх одягів за 1 м².

Одержані результати. Проведений аналіз наукової та нормативної літератури показує інтенсивний розвиток досліджень розвитку та будівництва логістичних хабів. Визначені основні принципи реконструкції інтермодальних терміналів. Розроблені варіанти конструкцій дорожнього одягу. Також виконано розрахунок вартості варіантів дорожнього одягу, що можливо застосувати на даному об'єкті та встановлено економічно доцільний варіант.

Ключові слова: дорожній одяг, цементобетон, автомобільна дорога, реконструкція, інтермодальний термінал, .

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І	
ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	11
1.1 Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою. Мета роботи	
.....	11
1.2 Вимоги й норми проєктування	15
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	21
2.1 Загальна характеристика району проєктування	21
2.2 Основні проектні рішення.....	25
2.3 Дорожній одяг	30
3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	37
3.1 Методика визначення вартості варіантів дорожнього одягу	37
3.2 Визначення вартості матеріалів, що застосовуються в будівництві	
дорожнього одягу	37
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	42
4.1 Загальні відомості щодо охорони праці на промисловому	
підприємстві. Заходи щодо охорони праці.	42
4.1.1 Вимоги безпеки	42
4.1.2 Протипожежні заходи та заходи з пожежної безпеки	43
4.1.3 Заходи з охорони праці	45
4.2 Аварійні ситуації. Порядок дій в надзвичайних ситуаціях	46
4.1.2 Домедична допомога	48
ВИСНОВОК ТА ОСНОВНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ	50
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	51

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

- ДБН – Державні будівельні норми;
ДСТУ – Державний стандарт України;
НПАОП - Правила, норми, регламенти, положення, стандарти, інструкції та інші документи, обов'язкові для виконання;
ДСН - Державні санітарні норми
В – клас цементобетону за міцністю на стиск;
В_{тб} – клас цементобетону за міцністю на розтяг при згині;
F – марка цементобетону за морозостійкістю;
W – марка цементобетону за водонепроникністю;
h – товщина шару;
АБ – асфальтобетон;
БНД – бітум нафтовий дорожній;
БМП – бітуми нафтові дорожні в'язкі, модифіковані полімерами;
ЩМА – щебенево-мастиковий асфальтобетон;
ЩПС – щебенево-піщана суміш;
ФЕМ - фігурний елемент мощення;
ПЕМ - покриття з елементів мощення.
СВОМД – суміш волога органо-мінеральна дорожня
МДХР – матеріал дорожній, виготовлений за технологією холодного ресайклінгу

Перелік термінів на основі Міжнародних стандартів ISO та термінології ЄЕК

ООН

1	Інтермодальність	Термін «інтермодальність» означає систему транспортування, яка передбачає використання двох або більше видів транспорту для перевезення однієї і тієї ж вантажної одиниці або вантажного автотранспортного засобу в рамках комплексного транспортного ланцюга [від дверей до дверей] без вантажно-розвантажувальних операцій.
2	Сталий розвиток	(англ. sustainable development) — процес змін, у якому експлуатація природних ресурсів, напрям інвестицій, орієнтація науково-технічного розвитку, розвиток особистості та інституційні зміни узгоджені один з одним і зміцнюють нинішній та майбутній потенціал для задоволення людських потреб та устремлінь.
3	Інтермодальні перевезення	Послідовне перевезення вантажів двома або більше видами транспорту в одній і тій же вантажній одиниці або автотранспортному засобі без навантаження самого вантажу при зміні виду транспорту.
4	Логістика	Процес організації ланцюга доставки та управління цим ланцюгом: постачання сировини, необхідної для виробництва, управління матеріальними ресурсами на підприємстві, доставку на склади та до розподільчих центрів, сортування, переробку, упаковку та остаточний розподіл у місцях споживання.
5	Логістичний центр	Територіальне об'єднання незалежних компаній та органів, що займаються вантажними перевезеннями (наприклад, транспортних посередників, вантажовідправників, операторів перевезень, митних органів) та супутніми послугами (наприклад, зі зберігання, технічного обслуговування та ремонту), що включає щонайменше один термінал.

ВСТУП

Розвиток, розбудова та переоснащення інтермодальних терміналів виступає одним із ключових етапів модернізації транспортної інфраструктури України, спрямованої на інтеграцію в європейський транспортний коридор. Інтермодальні термінали забезпечують безперервність ланцюга поставок, поєднуючи різні види транспорту, насамперед вітчизняну залізничну мережу та європейський тип колії, що дозволяє утворити з них єдину логістичну систему.

Сучасні термінали сприяють екологізації перевезень шляхом оптимізації маршрутів і переходу на більш ефективні види транспорту, що відповідає «Зеленому курсу» Європейського Союзу. У контексті євроінтеграції, реконструкція терміналу створить передумови для застосування стандартів ЄС у сфері обробки вантажів, поліпшить митний контроль та забезпечить сумісність із цифровими платформами управління перевезеннями.

В реаліях збройної агресії російської федерації проти України логістика, вантажоперевезення та транспортна система загалом виконують надважливі функції для держави в контексті обороноздатності, такі як оперативність та безперебійність доставок гуманітарних вантажів або переміщень військової техніки тощо.

Згідно з даними звіту Світового Банку, за результатами проведення Третьої швидкої оцінки завданої шкоди та потреб на відновлення (The Third Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment, RDNA3), загальна сума збитків, завданих транспортному сектору, станом на 31 грудня 2023 р. оцінювалася в 30,5 млрд. євро, тоді як потреби в реконструкції і негайному відновленні оцінені в 66,8 млрд. євро. Найбільших обсягів потребує відновлення автомобільних доріг державного значення (29 відсотків), залізнична інфраструктура, рухомий склад, обладнання та інші активи (24 відсотків), а також автомобільні дороги місцевого значення (16 відсотків). [1]

Реконструкція інтермодальних терміналів потребує комплексного підходу до розробки проєктних рішень, особливо для доволі вартісних елементів,

конструкцій та вузлів, одним з яких є дорожній одяг, який має сприймати великі навантаження, вибір якого нерідко залежить від економічної складової бізнес моделі підприємств. Дослідженню питання вибору та розрахунку дорожнього одягу присвячена бакалаврська робота.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою. Мета роботи

Проектування реконструкції інтермодальних терміналів передбачає ряд робіт з перебудови плану ділянки з виробничими зонами, збільшення несучої здатності конструкції дорожнього одягу.

Метою роботи є визначення конструкції дорожнього одягу для виконання реконструкції інтермодального терміналу.

На проблематику відновлення, перебудови та будівництва нових логістичних центрів, терміналів та «сухих портів» почали активно звертати увагу за останні кілька років. Наприклад, в роботі [2] авторка виокремлює у структурі таких терміналів термінальні колії та маневрові шляхи, склади контейнерного зберігання й офіси митниці, що дозволяє проводити перепакування, консолідацію й сортування вантажів. Функціональне навантаження включає транзитні перевантаження, митне очищення та супутні логістичні послуги, які оптимізують ланцюги постачання й зменшують простой в портах-джерелах. Для України розвиток логістичних інтермодальних хабів є надзвичайно важливим, оскільки це сприяє децентралізації вантажних потоків, підвищенню швидкості доставки до внутрішніх і транзитних споживачів та посиленню конкурентоспроможності транспортної мережі. У висновках наголошується, що інвестиції в інтермодальні термінали сприятимуть інтеграції української логістики з європейськими коридорами та зміцнять стійкість системи перед геополітичними викликами, особливо в умовах війни, в якій блокуються морські порти, та росте навантаження на сухопутні перевезення, які не справляються з великим та інтенсивним потоком вантажообігу.

В роботі [3] обумовлюють необхідність розвитку конструкторських рішень щодо проектування жорсткого дорожнього одягу. Сучасний розвиток методів оцінки напружено-деформованого стану армованого жорсткого дорожнього одягу ґрунтується на поєднанні універсальних гіпотез шаруватих систем із чисельними підходами, зокрема методом скінченних елементів, що дозволяє

отримувати рішення без залежності числа рівнянь від кількості шарів та враховувати анізотропію матеріалів . Запропоновані два напрями: класичний підхід із кінематичними гіпотезами для кожного шару та нові безперервні гіпотези, які забезпечують вищу ефективність і точність моделювання складових напружень у багат шарових композиційних конструкціях. Подальша інтеграція цих теоретичних моделей із сучасними чисельними методами відкриває перспективи для більш надійного й економічного проектування дорожнього покриття.

У роботі [4] розглянуто вплив типу основи на витривалість бетонного покриття з урахуванням критерію жорсткості. Дослідження показали, що витривалість монолітних цементобетонних покриттів значною мірою визначається жорсткістю та характеристиками матеріалу основи: найкращі результати спостерігалися на цементованих та піскоцементних основах при оптимальному співвідношенні товщин шарів завдяки рівномірному розподілу напружень і мінімізації динамічних прогинів , тоді як бітумоґрунтові основи практично не впливали на підвищення довговічності, а щебенева основа сприяла зменшенню прогинів на 10–15 % і певному покращенню ресурсу експлуатації. Температурні напруження виявилися незначними у порівнянні з багаторазовими циклічними навантаженнями, що спрощує програмування прогнозу термінів служби покриття. Було визначено, що для забезпечення максимальної довговічності дорожнього покриття доцільно застосовувати цементовані або піскоцементні основи з дотриманням оптимального співвідношення товщин плити та підстиляючого шару.

В роботі інших авторів [5] аналізується альтернатива конструкціям з цементобетонного дорожнього одягу. Бруковане покриття, при певних умовах, можуть цілком конкурувати з традиційним жорстким дорожнім одягом. В статті досліджено застосування бруківки для різного типу навантаження, від місцевих вулиць та підземних паркінгів, до логістичних центрів і складів, та визначені рекомендації для подальшого використання бруківки в дорожньому будівництві

та удосконалення нормативно-технічної бази, враховуючи досвід практичного та теоретичного застосування як у вітчизняній практиці, так і закордонній. Безпосереднє дослідження та розрахунки були виконані експериментальним шляхом. На існуючих об'єктах був проведений дефектний аналіз покриття, визначені його слабкі місця та дефекти, які були детально описані та надані відповідні рекомендації щодо підтримки їхнього стану. Крім того, за допомогою приладу INSPECTOR 3 були отримані та визначені деформативні характеристики покриттів з бруківочних елементів, а саме були визначені модулі пружності для різного типу та розміру елементів брукування. Також результати даного дослідження були впроваджені в норми проектування.

В дослідженні щодо брукованого покриття [6] ведеться аналіз та розробляється класифікація швів для затирання бруківки на види: за механізмом дії, за водопроникністю та за видом матеріалу заповнення. В залежності від виду та форми самого брукованого каменю авторами визначені залежності довжини швів від довжини сторони елементів мощення, та від площі лицевої поверхні мощення. Було доведено, що найменшу довжину швів при однаковій площі покриття мають елементи гексагональної форми. Крім цього дослідження включає в себе визначення оптимального гранулометричного складу сумішей для швів. Експериментально було випробувано різні варіанти матеріалів на реальних проектованих об'єктах. Результат показав, що заповнення швів у брукованих покриттях може відігравати значну роль в забезпеченні їхньої міцності та тривалого терміну експлуатації. Дослідження свідчать про доцільність застосування митого крупнозернистого піску для швів у дренуючих покриттях, тоді як для покриттів із великим поздовжнім ухилом доцільним є використання цементно-піщаного розчину з пластифікаторами, що дозволяє досягти необхідної рухливості суміші.

В дослідженні цементобетонних покриттів [7] встановлено ефективні способи покращення властивостей цементобетону шляхом використання хімічних добавок. Аналіз таблиць і графіків демонструє, як різні типи добавок, у

залежності від їх дозування, позитивно впливають на окремі характеристики цементобетонного покриття — зокрема, на міцність, пластичність, тріщиностійкість та довговічність. Такий підхід дозволяє цілеспрямовано модифікувати склад суміші відповідно до експлуатаційних вимог.

В роботі закордонних авторів [8] ведеться дослідження цементобетону з різними добавками. Було проаналізовано поведінку бетонів нормальної міцності (normal-strength concrete - NSC), високої міцності (high-strength concrete – HSC), та композитний цемент (strain hardening cementitious composites - SHCC). Дослідження показало, що бетон SHCC демонструє найкращі показники несучої здатності, жорсткості та тріщиностійкості серед розглянутих типів бетонів, суттєво перевершуючи як звичайний (NSC), так і високоміцний (HSC) бетон. Зокрема, несуча здатність покриття з SHCC зросла на 76,6% порівняно з NSC, а його жорсткість і енергоємність також виявились найвищими. HSC, у свою чергу, забезпечив менше зростання показників, але виявився найбільш економічно ефективним варіантом з точки зору вартості підвищення несучої здатності. Чисельне моделювання підтвердило здатність SHCC рівномірно розподіляти напруження завдяки високому модулю пружності, розтягувальній міцності та властивості стримувати розвиток тріщин.

В сучасних дослідженнях покриттів територій терміналів та портів [9] розроблено нову методику оцінки стану покриттів контейнерних терміналів, яка враховує специфічні вимоги портової інфраструктури. Метод базується на аналізі фактичних даних з іспанських портів та враховує кількість тріщин і зламів кутів плит, що має високу кореляцію з віком покриття. Визначено критичні порогові значення індексів NGD та If: при NGD = 0,50 рекомендовано проводити профілактичний ремонт, а при NGD = 2,0 — необхідний капітальний ремонт; показник If = 40 свідчить про доцільність проведення профілактичних заходів. Запропонована методика дає змогу планувати обслуговування, підвищуючи ефективність експлуатації терміналів. Вона також може бути адаптована для інших типів покриттів, зокрема асфальтобетонних, і для різних

інженерних об'єктів із урахуванням їхніх особливостей. Дослідження виявило, що наразі відсутня системна стратегія утримання покриттів у портах, що потребує подальшої уваги для підвищення довговічності інфраструктури.

1.2 Вимоги й норми проєктування

Інтермодальний термінал класифікується як промислове підприємство, тому для проєктування певних елементів інфраструктури необхідно використовувати досі частково чинний СНиП 2.05.07-91 Промисловий транспорт [10].

Тим не менш, основне проєктування дорожнього одягу та конструкцій при будівництві та ремонті доріг та територій регулюється такими нормативними документами як ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина I. Проєктування. Частина II. Будівництво [11, 12, 13], ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проєктування.[14], ГБН В.2.3-37641918-557:2016 Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проєктування. [15]

Конструювання дорожнього одягу

Процес проєктування дорожнього одягу охоплює всі етапи, пов'язані з розробкою та обґрунтуванням конструкції дорожнього покриття. Під час створення конструкцій нежорсткого типу здійснюється визначення таких ключових параметрів:

- обираються типи покриттів та матеріали, з яких вони виготовлятимуться;
- встановлюється кількість конструктивних шарів, їхній склад, просторове розміщення у структурі, а також проєктна товщина кожного з них;
- передбачається необхідність у морозозахисних шарах відповідно до кліматичних умов регіону, ґрунтових характеристик та особливостей зволоження робочої зони полотна;
- враховується потреба в осушенні конструкції шляхом застосування спеціальних заходів;
- застосовуються рішення, спрямовані на підвищення стійкості конструкції до утворення тріщин;

- забезпечується необхідна якість та комфортність поверхні першого експлуатаційного шару;
- розглядаються альтернативні інженерні рішення з урахуванням місцевих умов та специфіки експлуатації захисної конструкції дороги.

Конструкції дорожнього одягу можуть бути типовими або адаптованими до конкретної ділянки дороги за умови, що ділянки мають однакові характеристики щодо інтенсивності та складу транспортного потоку, а також подібні природні умови. Під час вибору проектного рішення слід орієнтуватися на перевірені, раніше апробовані конструкції.

Загальна товщина конструкції та параметри окремих її шарів визначаються, виходячи з вимог до міцності, морозостійкості та дренажних властивостей. Якщо проектна товщина, обумовлена розрахунком на міцність, виявляється меншою за необхідну для забезпечення морозостійкості, у конструкцію включають додатковий теплоізоляційний або протизамерзаючий шар. У такому випадку проектування земляного полотна відбувається паралельно з проектуванням шарів, що захищають від промерзання та забезпечують водовідведення [14,15].

Щебеневі, гравійні, шлакові основи і покриття

В контексті промислових територій дорожні покриття з щебеню, гравію або шлаку можуть мати кілька застосувань. Це можуть бути тимчасові проїзди і площадки під час будівельних робіт, або майданчики, яким немає необхідності сприймати серйозні та регулярні навантаження від великогабаритної техніки. Проте, такі матеріали доцільніше всього використовувати для влаштування основ.

Основи та покриття, виконані з щебеню, гравію або шлаку, можуть укладатися як в один, так і в декілька шарів — це залежить від проектною товщини конструкції, характеристик матеріалів та можливостей ущільнювальної техніки.

Гранична товщина шару щебеню або гравію визначається вагою ущільнювача: вона не повинна перевищувати 18 см при використанні котків із

металевими вальцями, або 25 см у щільному стані — при ущільненні котками на пневматичних колесах. Мінімально допустима товщина після ущільнення має становити не менше $1,5D$, де D — найбільший розмір зерен у складі щебеневого матеріалу.

Щебеневі, гравійні, шлакові та змішані ґрунтово-щебеневі шари допускається укладати лише в умовах плюсових температур. Роботи в холодну пору року дозволені лише з дотриманням відповідних технологічних обмежень:

- при температурі повітря від 0°C до -5°C час на операції з укладання, профілювання і ущільнення матеріалу з вологістю не більше 3% не повинен перевищувати 4 години;

- при температурі нижче -5°C цей період скорочується до 2 годин;

- у разі, якщо вологість перевищує 3%, матеріал слід попередньо обробити розчином хлоридів натрію або кальцію у концентрації 0,3–0,5% від маси матеріалу;

- ущільнення в умовах мінусової температури здійснюється без зволоження;

- у період відлиг і до весняного танення конструкції необхідно очищати від снігу та льоду, а також вживати заходів для відведення талої води.

Коли влаштовується щебеневий шар методом заклинки, щебінь першої групи перед нанесенням розклинювального матеріалу обробляється органічним в'язучим у кількості 2–3 літри на квадратний метр у перерахунку на чистий бітум. Обсяг використання матеріалу для заклинки визначається з урахуванням крупності, міцності основного щебеню та типу конструктивного шару. При будівництві шарів із щебеню фракції 40–70 мм дозволяється однократне заклинювання сумішами фракцій: 5–20 мм, 0–20 мм або 0–10 мм. Якщо застосовується щебінь фракцій 70–120(150) мм, тоді використовують заклинювальні матеріали фракції 5–40 мм.

У разі використання активних або високоактивних шлаків у складі щебеневого шару і за відсутності негайного укладання верхнього шару дорожнього покриття, ущільнений шлак потребує щоденного зволоження

протягом 10–12 діб. Добова норма води становить від 2,0 до 2,5 літра на квадратний метр поверхні. Рух транспорту по конструктивному шару дозволяється лише після його повного ущільнення. [11, 14, 15].

Таблиця 1.1 – Витрати розклинювального матеріалу [14]

Тип шару	Розмір основної фракції щебню, мм	Міцність щебню на стиск, МПа	Витрата розклинювальної фракції, м ³ на 1000 м ² при її розмірі, мм			
			20-40	10-20	5-10	0-5
Основа	40-80 (70)	800 та більше	-	25/15	15/10	-
Основа	40-80 (70)	600 та менше	-	15	10	-
Основа	80 (70)-120 (150)	600 та менше	10 (20)	-	10	10
Основа	80 (70)-120 (150)	400 та менше	10 (20)	-	-	-
Покриття	20-80 (70)	800 та більше	-	20/15	15/10	15/10
Покриття	20-80 (70)	600	-	15	10	10

Шари дорожнього одягу з СВМДД необхідно влаштовувати за температури повітря не вище ніж плюс 30° С і не нижче ніж плюс 10° С [11, 14].

Монолітні цементобетонні покриття

Одним з найпоширеніших видів покриття для промислових територій є покриття з монолітного цементобетону.

Цементобетонне покриття може бути одношаровим, або за наявності відповідного технологічного устаткування – двошаровим, що улаштовується методом зрошування шарів з одночасним ущільненням верхнього і нижнього шарів за один прохід бетоноукладача, з товщиною верхнього шару не менше ніж 6 см.

Товщина цементобетонного покриття повинна бути однаковою по всій ширині проїзної частини. Товщину цементобетонного покриття (h) визначають

розрахунком, але вона повинна бути не менше мінімально допустимих значень, згідно з таблицею 1.2.

Таблиця 1.2 – Мінімально допустима товщина цементобетонного покриття та основи під ним. [15]

Матеріал основи	Мінімально допустима товщина, см, покриття при загальному числі прикладань розрахункового навантаження, одиниць на смугу					
	понад 10^8	від 2×10^7 до 10^8	від 10^7 до 2×10^7	від 5×10^6 до 10^7	від 10^6 до 5×10^6	менше ніж 10^6
Цементобетон дорожній	24/26	22/24	20/22	18(16)/ 19(18)	17(16)/ 19(18)	15/17
Кам'яні матеріали, укріплені в'язучими	27/27	25/25	25/23	18(16)/ 21(19)	17(16)/ 20(19)	15/17
Щебінь, пісок, щебенево-піщана, гравійно-піщана суміші, шлак	-	-	22/23	20(18)/ 23(20)	18(16)/ 21(19)	16/18

У покритті влаштовують поздовжні і поперечні шви (стискання і розширення), що ділять покриття на плити визначеної довжини й ширини. Поперечні шви стиснення влаштовують між швами розширення.

Для запобігання тріщиноутворенню та забезпечення температурно-усадочної тріщиностійкості при твердінні, в ранньому віці в затверділому бетоні частину поперечних швів стиснення влаштовують першочергово як контрольні, через кожні (2–3) плити. Шви стиснення влаштовуються між контрольними швами поплитно. Глибина нарізання поперечних швів становить $1/4$ товщини плити, поздовжніх – $1/3$ товщини плити. Ширина шва (3–4 мм). У швах передбачають штирові з'єднання різного профілю:

– поперечні шви – арматура гладкого профілю класу А240К довжиною 500 мм, оброблена нанесенням полімерних матеріалів, фарб тощо;

– поздовжні шви – арматура поперечного профілю класу А400К довжиною 800 мм.[15]

Довжину плит у монолітному покритті (відстань між поперечними швами стиску) на укріпленій основі і на стабільному земляному полотні призначають за розрахунками, але не більше ніж 25 товщин покриття, на земляному полотні з очікуваними нерівномірними осіданнями (включаючи насипи висотою понад 3 м) — 22 товщини покриття, а в місцях переходу з насипу в виїмку у високій насипі, у місцях прилягання до транспортних споруд та в покриттях шириною до 6 м включно – 20 товщин покриття. Співвідношення довжини плити і ширини не повинно перевищувати 1:1,15.

Поздовжні шви у покритті із монолітного цементобетону влаштовуються при ширині покриття понад 2,3 товщини плити.

Між плитами (шарами) жорстких покриттів і основ необхідно передбачати конструктивні заходи для забезпечення незалежного горизонтального переміщення шарів (роздільні прошарки з геотекстилю, поліетиленової плівки тощо). При конструюванні двошарових покриттів методом зрошування роздільні прошарки не передбачаються.

При проектуванні жорстких покриттів на ділянках несучільних швів необхідно передбачати прошарки. Несучільними вважають такі шви, в яких поперечні і поздовжні шви покриття та нижнього шару зміщені один відносно одного на відстань понад дві товщини верхнього шару. [11]

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Загальна характеристика району проектування

Для вивчення питання реконструкції інтермодального терміналу та розрахунку дорожнього одягу ділянка проектування приймається умовно. У навчальних цілях пропонується використати об'єкт вантажний двір на станції Чоп, який необхідно реконструювати під реалії сьогодення, знаходиться в м. Чоп Закарпатської області. Місце розташування підходить під основне призначення подібних об'єктів, а саме приймання вантажів з Європи по залізниці європейського зразка, та подальше перевезення автомобільним або залізничним транспортом.

Коротка фізико-географічна характеристика об'єкту

Місто Чоп розташоване у західній частині Закарпатської області у рівнинній місцевості, у межиріччі Тиси і Латориці. Відстань до обласного центру – м. Ужгорода – 24 км, відстань до Києва – 780 км. Географічні координати – $48^{\circ}25'52''$ північної широти, $22^{\circ}12'30''$ західної довготи. Чоп – найзахідніше місто України, знаходиться на стику кордонів Словаччини, Угорщини і України. Завдяки своєму положенню є важливим автотранспортним і залізничним вузлом. Чоп – великий залізничний вузол, через який проходять і обробляються вантажі до країн Південної та Центральної Європи. Площа міста складає $6,19 \text{ км}^2$.

Природні умови міста зумовлені його розташуванням у верхів'ї Середньодунайської низовини на південний захід від масиву Карпатських гір. Висота над рівнем моря коливається в межах 102-107 метрів.

Переважають вітри західних та південних напрямків, кількість опадів – 700-750 мм на рік. Середні температури січня від $-4, -3^{\circ}\text{C}$. Середні температури липня від $+20^{\circ}\text{C}$. Ґрунти бурі широколистяних лісів та наплавні. Корисні копалини в адміністративних межах представлені будівельними глинами, піском, каоліном, андезітом. Чоп має дві річки – Тису і Латорицю. Захищений від паводків водозахисними дамбами. Дамба р. Тиса має відносну висоту 14,1 метрів, історично зафіксовані паводки у 1998 р. – 13,3 метра, у 2001 р. – 13,47

метра. Дамба р. Латориця має відносну висоту 7,6 метра, історично зафіксовані рівні у 1998 р. – 7,55 метра, у 2001 р. – 7,58 метра відповідно.

Згідно з фізико-географічною картою України, досліджувана ділянка відноситься до Карпатської гірської ландшафтної країни, розташовуючись в межах Закарпатської низовинної області.

У геоморфологічному відношенні досліджувана територія приурочена до Карпатської гірської країни, Закарпатської області пластово-аккумулятивних та пластово-денудаційних рівнин, Чопсько-Мукачевської пластово-аккумулятивної низовини на неоген-четвертинних відкладах, розташовуючись в межах Закарпатської алювіальної рівнини.

Досліджувана ділянка розташована на промисловій забудованій території. Поверхня землі ускладнена плануванням ґрунтів, інженерними та технічними спорудами. На території можуть бути старі не видимі підземні інженерні споруди та комунікації.

Рельєф більшої частини території рівнинний, а в північній частині - слабопохилий в північному напрямку.

Згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 майданчик досліджень знаходиться в III-му (Українські Карпати) архітектурно-будівельному кліматичному районі, в IIIБ Закарпатському підрайоні. Кліматичні показники підрайону наведені в таблиці 2.1 (згідно таблиці 1 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010) [16].

Карпатські гори перешкоджають проникненню холодних повітряних мас з півночі, тому клімат тут формується переважно вологими повітряними масами з Атлантичного океану і континентальним повітрям помірних широт.

Таблиця 2.1

Температура повітря, °С				Кількість опадів за рік, мм	Відносна вологість у липні, %	Середня швидкість вітру у січні, м/с
середня за		абсолютний мінімум	абсолютний максимум			
січень	липень					
-4	19	-32	39	1000	Більше 70	3

Згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна Кліматологія» таблиці №2 середні місячні температури повітря та середня температура за рік в районі м. Ужгород складає:

Таблиця 2.2

Середня місячна		Температура повітря, °С										Середня за рік температура повітря, °С	
		Середня добова амплітуда температури											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	9,8	
-2,4	-0,2	4,7	10,8	15,8	18,7	20,3	19,8	15,5	10,2	4,7	-0,5		
6,6	7,3	8,9	10,5	11,1	10,9	11,3	11,4	10,8	9,8	6,5	5,6		

Середньорічна температура повітря складає 9,8°С. Найхолодніший місяць січень має середню місячну температуру -2,4°С. Самий спекотний місяць липень має середньомісячну температуру +20,3° С.

Згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна Кліматологія» таблиці №4 переважний напрям вітру, його повторюваність та середня швидкість вітру за рік в районі м. Ужгород складає:

Таблиця 2.3

Переважний напрям вітру, його повторюваність, %												
Середня швидкість вітру, м/с												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
ПдСх,	ПдСх,	ПдСх,	ПдСх,	ПдСх,	ПнЗ,	Сх,	Сх,	ПдСх,	ПдСх,	ПдСх,	ПдСх,	
37	32	27	23	20	16	18	17	23	30	38	39	
2,2	2,5	2,9	3,1	2,7	2,4	2,3	2,1	2,3	2,3	2,4	2,2	

Кліматологічну характеристику відносної вологості зовнішнього повітря для м. Ужгород наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Середня по місяцях		Відносна вологість										Кількість опадів за рік, мм	
		Середня добова амплітуда відносної вологості											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	72	
82	77	68	62	65	67	67	69	72	75	81	84		
9	14	21	25	27	29	32	30	28	24	12	8		

Згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна Кліматологія» [16] таблиці №30 кліматологічна характеристика природньої освітленості за рік в районі м. Ужгород складає:

Таблиця 2.6

Середня по місяцях		Сумарна/розсіяна денна горизонтальна освітленість, клк										Середньорічна сумарна/розсіяна освітленість та її тривалість, клк/год
		Тривалість освітленості, рік										
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
82/ 65	160/ 108	270/ 166	400/ 230	530/ 280	585/ 300	570/ 295	500/ 250	350/ 190	220/ 115	95/ 66	60/ 48	319/176
10	11	13	15	17	18	18	16	14	12	11	9	14

2.2 Основні проектні рішення

Реконструкція інтермодального терміналу передбачає комплекс проектних рішень, які мають бути між собою пов'язані. Зазвичай, такі рішення регулюються в залежності від цілей та потужностей замовника. Проте такі рішення не можуть суперечити чинним нормативним документам. Також, часто буває, що розробка та прийняття певних рішень базується на експериментальному досвіді з проектування, будівництва та експлуатації схожих об'єктів ,термінали, «сухі порти», морські порти, тобто, логістичні центри з приймання та оброблення вантажів.

Такі рекомендації та настанови зібрані, наприклад, в довіднику Handbook of terminal planning [17]. За допомогою нього можна вирішити ключові задачі, які ставить перед собою інженер-проектувальник при розробці відповідних проектних рішень.

В збірнику пропонується трьохрівнева система планування:

- операційне планування, що включає короткострокове, середньострокове й довгострокове планування операцій з обробки, транспортування та зберігання вантажів

- планування надбудови, що включає в себе вимоги до інженерних об'єктів та регулювання внутрішніми ресурсами (проектування будівель, кранів та обладнання)
- планування інфраструктури, до якого входить проектування безпосередньо майданчика, під'їзних доріг та проїздів, та підключення до зовнішніх мереж.

Для успішного прийняття проектних рішень необхідно опанувати певні виклики:

- динаміка ринку, зростання обсягів вантажів і дедлайнів вимагає гнучкості та швидкого реагування.
- економічні пріоритети, сучасні оператори дедалі більше орієнтовані на скорочення витрат та оптимальне використання ресурсів.
- екологічні вимоги, посилення регуляцій щодо викидів, шуму та світлового забруднення; необхідність балансувати між продуктивністю й сталим розвитком [17]

Таким чином, при реконструкції ми маємо оновити та переобладнати вже існуючу систему вантажоперевезень та впровадити нові елементи.

План

Під час проектування території промислового підприємства були використані основні нормативні документи такі як [10], [11], [18].

Проектування внутрішніх доріг і майданчиків має здійснюватися з урахуванням прив'язки до генерального плану підприємства. При цьому слід враховувати умови транспортування вантажів, організацію проїздів і доступ пожежно-рятувальної техніки, забезпечення безпеки дорожнього руху та ефективного водовідведення. [10].

Якщо дозволяють умови, то рекомендовано використання таких параметрів плану і поздовжнього профілю (таблиця 2.7):

Таблиця 2.7 – Нормативні параметри для проектування доріг і внутрішньо-майданчикових ділянок

Параметри плану і поздовжнього профілю	Значення параметрів для		
	внутрішньомайданчикових ділянок, міжплощадних 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

У випадках, коли особливості рельєфу місцевості або планувальні обмеження не дозволяють повною мірою дотримуватись встановлених рекомендацій, або ж застосування нормативних параметрів є економічно невиправданим, допускається їх зменшення. Таке рішення має базуватись на техніко-економічному аналізі альтернативних варіантів із урахуванням інтенсивності та складу транспортного потоку, кліматичних умов, типу дорожнього покриття та вимог безпеки руху. При цьому слід дотримуватись

мінімально допустимих показників — зокрема, відстаней видимості та радіусів кривих, що визначені у [10] і наведені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Значення параметрів плану й профілю в залежності від розрахункової швидкості транспортних засобів згідно СНиП

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 35	20 30	15 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

Розробка генерального плану є одним з ключових елементів при розробці проєктної документації, що включає рішення з вертикального планування. Адже сюди одразу включено і поздовжні та поперечні похили внутрішніх доріг та майданчиків. Планування майданчиків та проїздів залежить не тільки від технологічних умов роботи підприємства, але й також від підбору дорожнього одягу, так як деякі типи конструкцій вимагають спеціальних умов під час будівництва, що може відобразитися на кінцевих строках будівництва та технологіям будівництва.

У процесі організації виробничих зон враховуються наступні принципи:

- організація поздовжніх та поперечних ухилів має забезпечити ефективний водовідвод, поєднуючись зі зливовою системою, що включає в себе лотки та дощоприймачі.
- функціональне зонування території з дотриманням технологічної логіки, вимог протипожежної безпеки, санітарних норм, специфіки транспортного обслуговування та вантажообігу;
- ефективне планування транспортної мережі та інженерних комунікацій, орієнтоване на забезпечення виробничих і технічних зв'язків;
- раціональне використання площі з максимально можливою інтенсивністю;
- створення зручної системи громадського обслуговування працівників;
- реалізація будівництва об'єктів поетапно — через пускові комплекси або черги;
- благоустрій території;
- впровадження заходів із захисту від можливих шкідливих впливів виробництва;
- рекультивация земель, які були порушені в ході будівельних або виробничих робіт.

Крім того, проектування повинно враховувати просторові та технічні параметри, зокрема:

- дотримання нормативних відстаней між спорудами, будівлями та інженерними мережами;
- облаштування автомобільних стоянок у зонах адміністративно-побутового призначення;
- розміри в'їзних воріт для автотранспорту та залізничного транспорту;
- забезпечення відповідності габаритів наближення рухомого складу залізничним стандартам.

Відстані від будівель та споруд до краю проїзної частини автомобільних доріг приймається відповідно до таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – 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

2.3 Дорожній одяг

Найбільш поширеним покриттям для територій терміналів, майданчиків та інших промислових територій є цементобетонне покриття. Тому варіанти дорожнього одягу були розраховані саме під цей тип покриття. Особливість розрахунку конструкцій дорожнього одягу для терміналів полягає в тому, що існує необхідність в розрахунку кількох типів дорожнього одягу, адже в різних технологічних зонах покриття сприймає різне навантаження. В нашому випадку

пропонується поділ ділянки на частину для майданчиків і доріг для проїзду великогабаритної техніки, та ділянка контейнерної площадки з зоною роботи річстакера, на які і будуть посилені навантаження. Конструкції розроблені відповідно до діючих норм.

Для цементобетонного покриття виконуються такі види розрахунків:

- на допустимий пружний прогин нежорстких шарів;
- на зсувостійкість робочого шару земляного полотна і шарів із незв'язних матеріалів;
- на розрахунок міцності монолітного цементобетонного покриття;

Додатково в конструкцію враховано застосування геоматеріалів, а саме використання геотекстилю та геосітки. Полотно геотекстилю виконує розподільчу та фільтраційну функцію, та вкладається на ущільненого ґрунту.

Схема влаштування геотекстилю наведена на рис. 2.1, 2.2

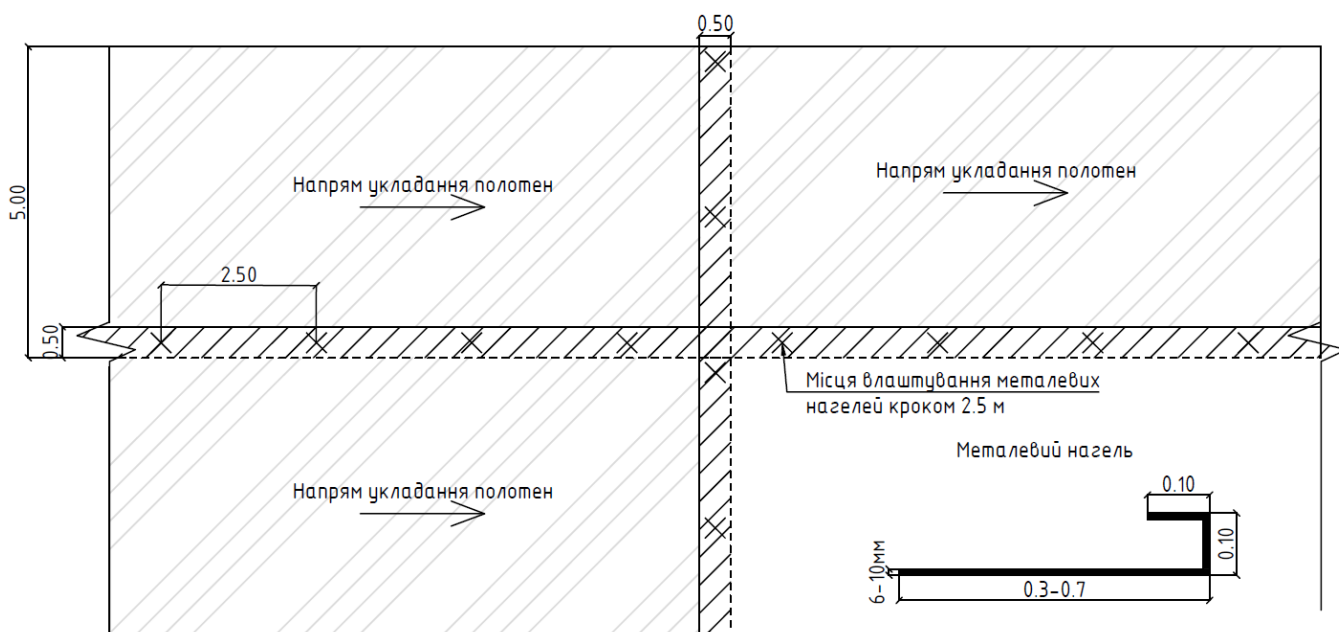


Рисунок 2.1 – Схема укладання геотекстилю

- Цементобетон дорожній $V_{btb}4.4$, B35, F200, W8 згідно ДСТУ 8858:2019
0,27 м.

Варіант 2:

- Геотекстиль згідно ГБН В.2.3-37641918-544:2014;
- Пісок великої крупності згідно ДСТУ Б В.2.7-32-95 0,28 м;
- МДХР.КВ.Кз М60 згідно ДСТУ 8976:2020 0,3 м;
- Плівка поліетиленова
- Цементобетон дорожній $V_{btb}4.4$, B30, F200, W8 згідно ДСТУ 8858:2019
0,3 м.

Для проїздів та внутрішніх доріг запропоновані наступні варіанти:

Варіант 3:

- Геосітка згідно ГБН В.2.3-37641918-544:2014;
- Пісок великої крупності згідно ДСТУ Б В.2.7-32-95 0,28 м;
- Геотекстиль згідно ГБН В.2.3-37641918-544:2014;
- ЩПС-С7 згідно ДСТУ 9177-2:2022 0,21 м;
- ЩПС.КР.Ц.М75 згідно ДСТУ 9177-3:2022 0,20 м;
- Плівка поліетиленова;
- Цементобетон дорожній $V_{btb}4.4$, B35, F200, W8 згідно ДСТУ 8858:2019
0,2 м.

Варіант 4:

- Геотекстиль згідно ГБН В.2.3-37641918-544:2014;
- Пісок великої крупності згідно ДСТУ Б В.2.7-32-95 0,27 м;
- МДХР.КВ.Кз М60 згідно ДСТУ 8976:2020 0,3 м;
- Плівка поліетиленова
- Цементобетон дорожній $V_{btb}4.4$, B30, F200, W8 згідно ДСТУ 8858:2019
0,22 м.

З розрахованих варіантів видно, що №1 та 3 за загальною товщиною більші, та використовують геосітки, для додаткового армування шарів. Варіант № 2 та 4 використовують у своїй конструкції МДХР – матеріали дорожні, виготовлені за

технологією холодного ресайклінгу. Особливість такого методу в даній ситуації в тому, що ресайклінг використовується не для зняття існуючого шару покриття, а використовує нові матеріали. Згідно розрахунку також надано протокол суміші МДХР:

Таблиця 2.10 – Таблиця основи М60 влаштованої методом перемішування на місці з використанням ресайклера за товщини влаштованого шару 30 см, з додаванням нового матеріалу 50% (ЩПС С-7 фр. 0-40).

		М60	
		на 1м ³	на 1 м ² на 30 см товщини
Цемент,	кг	227	68
Пісок (вологість 9%),	кг	950	285
ЩПС С-7 фр.0-40,	кг	900	270
Вода,	л	110	33

Графічні зображення пропонованих конструкцій ДО наведені на рис. 2.3-2.6

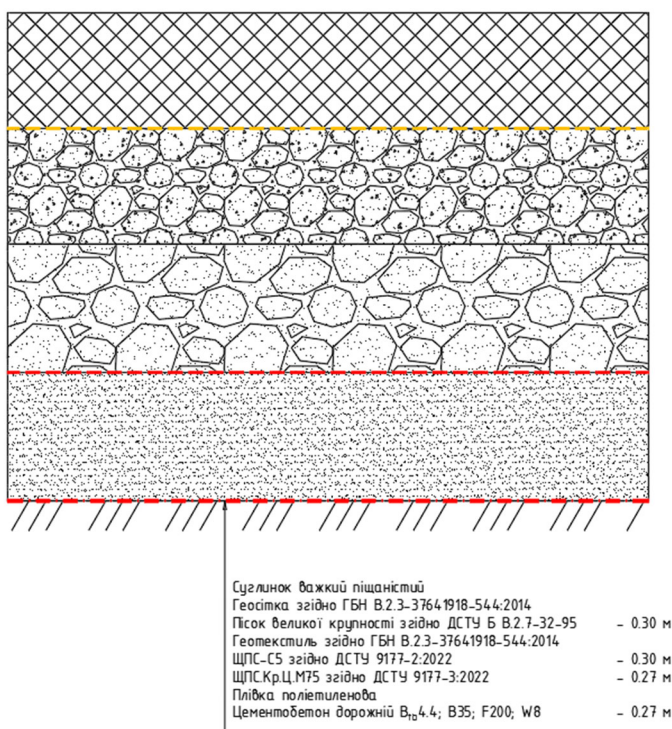


Рисунок 2.3 – ДО варіант №1

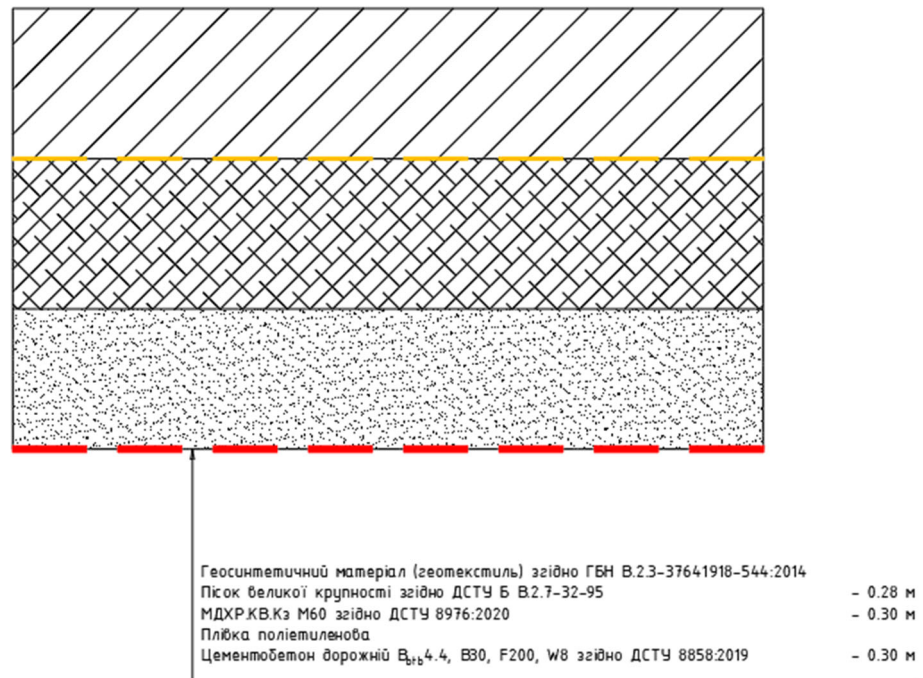


Рисунок 2.4 – ДО варіант №2

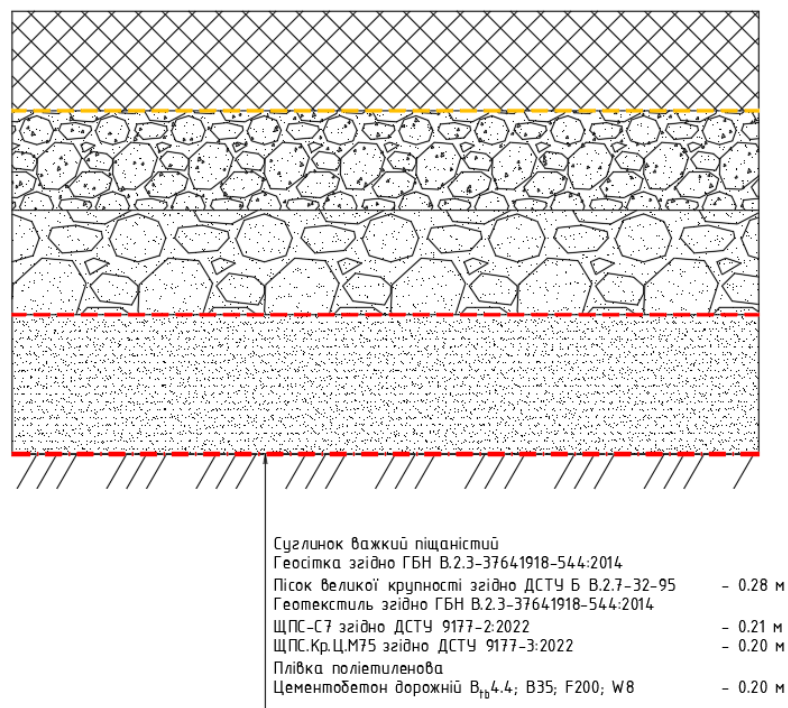


Рисунок 2.5 – ДО варіант №3

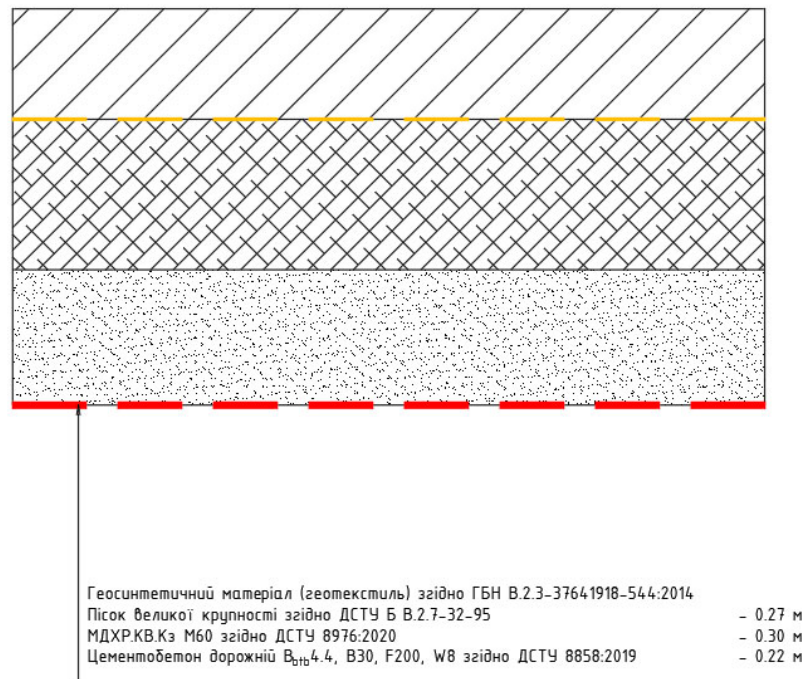


Рисунок 2.6 – ДО варіант №4

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Методика визначення вартості варіантів дорожнього одягу

Контейнерні термінали є об'єктами з інтенсивним навантаженням, де щоденно здійснюються операції з великогабаритними вантажами та важкою технікою — зокрема, автотранспортом, річстакерами тощо. У таких умовах дорожнє покриття зазнає значних вертикальних і динамічних навантажень, а також постійного впливу кліматичних чинників. Тому важливим завданням є забезпечення високої несучої здатності, довговічності та стійкості до деформацій. Одним із найбільш раціональних рішень у цьому випадку є використання жорсткого цементобетонного покриття. На відміну від гнучких конструкцій, бетон має кращу опірність до навантажень, не схильний до утворення колій чи вибоїн і забезпечує стабільні експлуатаційні характеристики протягом усього строку служби. Саме це робить цементобетонне покриття доцільним вибором для інфраструктури контейнерних терміналів. Проте остаточний вибір конструкції дорожнього одягу має ґрунтуватися на результатах всебічного техніко-економічного аналізу, який враховує не лише первинні витрати, але й довгострокову ефективність, витрати на утримання та ремонт, а також вимоги до безпеки та надійності дорожнього полотна [19].

На основі порівняння дорожнього одягу вартість будівництва за 1 м², визначається за формулою [20]:

$$K_0 = \sum_{i=0}^n C_i \cdot h_i \quad (3.1)$$

де C_i – вартість i -го шару, товщина якого 1 см;

h_i – товщина i -го шару.

3.2 Визначення вартості матеріалів, що застосовуються в будівництві дорожнього одягу

У дорожньо-будівельній галузі традиційні методи формування вартості, що базуються на калькуляції собівартості з додаванням фіксованої рентабельності, забезпечують прозорість і передбачуваність для підрядника й замовника. Проте в умовах стрімких коливань цін на матеріали та складнощів із логістикою дедалі

частіше поєднують цю базову схему розрахунку із динамічним аналізом ринкового попиту. Такий комбінований підхід дає змогу встановлювати початкову ставку, виходячи із структури витрат і бажаного рівня рентабельності, водночас оперативно коригуючи її залежно від сезонних змін, доступності ресурсів і конкуренції.

Приватні компанії славляться швидкістю ухвалення рішень і прагненням до максимальної віддачі інвестицій. Вони залучають власний капітал, кредити чи венчурні інвестиції, інвестуючи у проєкти з найвищою прогнозованою прибутковістю. Цей сектор активніше оптимізує закупівельні процеси, раціоналізує витрати та шукає гнучкі моделі співпраці з підрядниками, аби пришвидшити повернення коштів.

Державний сектор діє в рамках бюджетного фінансування, що формується за законодавчо встановленими процедурами. Кошти надходять із державних чи місцевих дорожніх фондів, іноді за підтримки міжнародних донорів, і розподіляються через тендерні закупівлі з жорсткими вимогами звітності та контролю. Тут пріоритетом є не стільки максимізація прибутку, скільки забезпечення соціальної справедливості, розвитку регіональних мереж та довгострокова надійність інфраструктури. Сьогодні оцінка зміни цін на дорожньо-будівельні матеріали представляє практичний інтерес як для замовників, так і для субпідрядників, що працюють на об'єктах дорожньої інфраструктури, оскільки дозволяє вибрати постачальника з найкращою пропозицією для вашого регіону [21].

Повномасштабне вторгнення російської федерації в Україну спричинило серйозні порушення у функціонуванні ринку будівельних матеріалів, особливо в дорожньому секторі. Одним із ключових наслідків стало ускладнення імпорту стратегічно важливих матеріалів, таких як бітум, полімерні добавки, модифікатори, а також спеціалізоване обладнання. Через зруйновані транспортні коридори, обмеження на перетин кордонів та підвищений ризик доставки, логістика стала нестабільною і значно дорожчою. Крім того, активні бойові дії призвели до прямого знищення низки українських заводів із виробництва

будівельних сумішей, цементу, асфальтобетону, а також великих складів зберігання матеріалів і техніки. Це не тільки скоротило внутрішню пропозицію, а й спричинило локальні дефіцити і різке зростання цін. У таких умовах замовники та підрядники були змушені переглядати підходи до планування, закупівель та кошторисного обґрунтування, а також формувати резерви матеріалів, адаптовані до нової воєнної реальності.

Основними ресурсами, які використовують замовники та проектувальники для ціноутворення, є дані Мінрегіонбуду або дані порталу щомісячного моніторингу цін на дорожні матеріали ДП «Національний інститут розвитку інфраструктури».

У бакалаврській роботі для порівняння використовуються ціни на матеріали з порталу щомісячного моніторингу цін на дорожні матеріали ДП «Національний інститут розвитку інфраструктури». Останні доступні результати за січень місяць 2025 року. Ціни на матеріали наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Ціни на матеріали за варіантами

№ з/п	Матеріал	Товщина шару, см	Ціна за м ³	Об'єм шару в 1м ²	Ціна шару за 1м ²
Варіант 1					
1	Геотекстиль	-	-	-	55,86
2	Пісок крупний	30	1004,77	0,3	301,43
3	Геосітка	-	-	-	128,4
4	Щебенево-піщана суміш С5	30	2137,91	0,3	641,37
5	ЩПС.КР.Ц.М75	27	5307	0,27	1432,89
6	Цементобетон дорожній В _{btb} 4.4, В35, F200, W8	27	4500	0,27	1215
Всього					3774,95
Варіант 2					
1	Геотекстиль	-	-	-	55,86
2	Пісок крупний	28	1004,77	0,28	281,34
3	МДХР.КВ.Кз М60	30	4141,54	0,3	1242,46
4	Цементобетон дорожній В _{btb} 4.4, В30, F200, W8	30	4500	0,3	1350
Всього					2929,66
Варіант 3					
1	Геотекстиль	-	-	-	55,86
2	Пісок крупний	28	1004,77	0,28	281,34
3	Геосітка	-	-	-	128,4
4	Щебенево-піщана суміш С7	21	2100	0,21	441
5	ЩПС.КР.Ц.М75	20	5307	0,20	1061,4
6	Цементобетон дорожній В _{btb} 4.4, В35, F200, W8	20	4500	0,2	900
Всього					2868,0
Варіант 4					
1	Геотекстиль	-	-	-	55,86
2	Пісок крупний	27	1004,77	0,27	271,3
3	МДХР.КВ.Кз М60	30	4141,54	0,3	1242,46
4	Цементобетон дорожній В _{btb} 4.4, В30, F200, W8	22	4500	0,22	990
Всього					2559,62

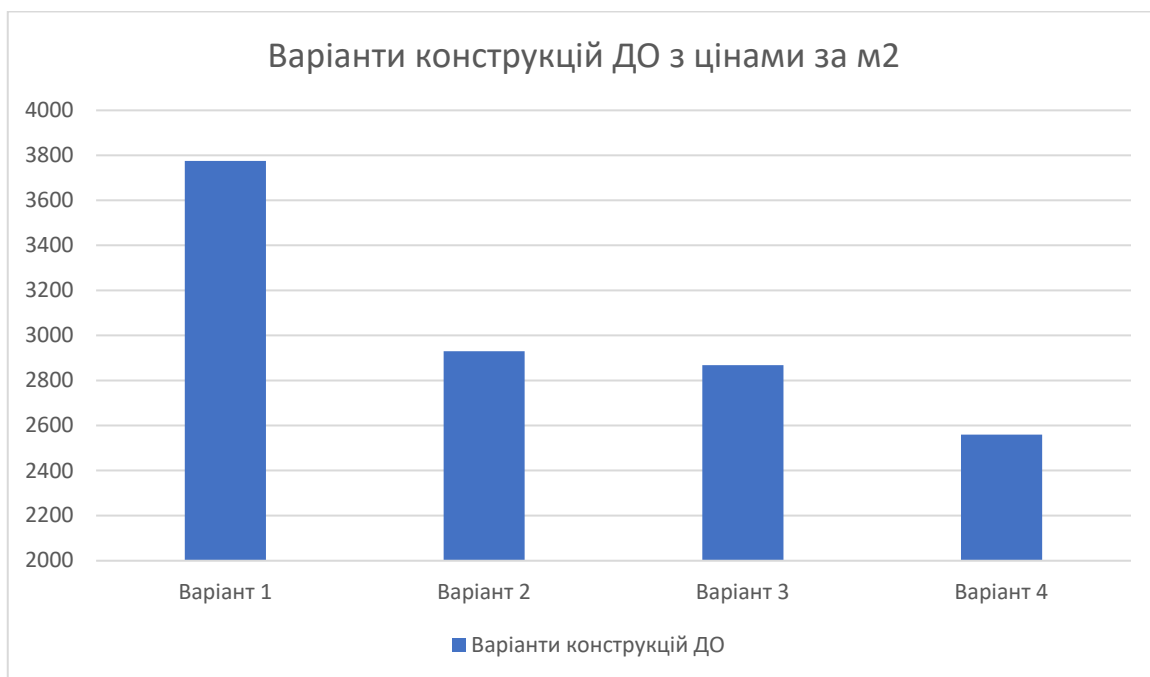


Рисунок 3.1 – Вартість 1м² дорожнього одягу по варіантам

Враховуючи, що всі варіанти дорожніх одягів забезпечують нормативний запас міцності, доцільно обирати дорожній одяг з огляду на економічну складову.

Різниця між варіантами 1 і 2, які були розраховані під ділянки з більшим навантаженням, складає 29%, тому другий варіант доцільніше застосувати. Різниця між варіантом 3 і 4, які були розраховані для інших площадок та доріг становить 12%.. Це обумовлено тим, що використана технологія холодного ресайклінгу показала себе більш економічним та не менш стійким варіантом. До того ж менша загальна товщина конструкції дозволить зекономити на земляних роботах.

Згідно проведеного аналізу, варіант 2 та 4 є найбільш економічно доцільними для влаштування на різні ділянки навантаження при реконструкції інтермодального терміналу.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні відомості щодо охорони праці на промисловому підприємстві. Заходи щодо охорони праці.

Надійність та безпека об'єкту повинна бути забезпечена на всіх етапах його життєвого циклу, а саме:

- вишукування і проєктування;
- виготовлення, транспортування та зберігання будівельних виробів;
- освоєння будівельного майданчика та зведення об'єкту, приймання об'єкту в експлуатацію;
- використання об'єкту за призначенням протягом встановленого терміну експлуатації, оцінка технічного стану, ремонт, реконструкція;
- реконструкція та подальше використання у нових умовах;
- ліквідація об'єкта.

У залежності від етапу життєвого циклу вказівки стосовно надійності об'єкта використовуються для:

- визначення умов проєктного вибору, тобто параметрів об'єкта після реконструкції з урахуванням встановлених умов його застосування;
- рішення щодо дозволу або заборони на застосування проєкту, матеріалів, виробів, результатів робіт і самого об'єкта;
- встановлення вимог до зміни окремих характеристик об'єкта (його складових частин) або режиму його використання.

4.1.1 Вимоги безпеки

При виконанні будівельно-монтажних робіт на даному об'єкті необхідно суворо дотримуватися вимог НПАОП 45.2-7.02-12. Охорона праці і промислова безпека в будівництві. Основні положення. (ДБН А.3.2-2-2009) [22].

Знаходження людей, що не мають безпосереднього відношення до виробництва робіт, в небезпечній зоні категорично забороняється.

Будівельними машинами і механізмами, транспортними засобами, навантажувально-розвантажувальними машинами, механізмами будівництво забезпечується наявним експлуатованим парком будівельних організацій.

Металеві частини будівельних машин і механізмів з електроприводом мають бути заземлені.

При роботі на об'єкті декількох організацій генпідрядник спільно з субпідрядними організаціями зобов'язаний розробити заходи щодо безпеки праці відповідно до «Положення про взаємини організацій».

При виробництві монтажних робіт необхідно виконати обгороджування небезпечних постійних зон. На обгороджуванні через 7-10 м вивісити добре видимі попереджувальні написи «Небезпечна зона».

4.1.2 Протипожежні заходи та заходи з пожежної безпеки

Пожежна безпека на ділянках робіт і робочих місцях повинна забезпечуватися відповідно до вимог «Правил пожежної безпеки в Україні» НАПБ А.01.001-2014 [23], «ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [24], «ДБН В.1.2-7:2021 Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека» [25].

На початок основних будівельних робіт на будівництві має бути забезпечене протипожежне водопостачання від пожежних гідрантів на водопровідній мережі. Біля пожежного гідранта встановити світловий покажчик згідно нормативних документів. Крім того, поблизу щита необхідно встановити ящик об'ємом не менше 0,6м³ з піском, лопату і одну бочку з водою ємністю 250л.

Відповідно до [23] на будівельному майданчику має бути розташований пожежний щит з наступним мінімальним набором пожежного інвентарю: сокири – 2шт., лом і лопати – 2шт., відра – 2шт., вогнегасники – 3шт., багри – 3шт., покривало з негорючого теплоізоляційного матеріалу.

На об'єкті мають бути проведені організаційні заходи щодо запобігання пожежі. Повинні виконуватися наступні протипожежні заходи:

- забороняється захаращувати проїзди;

- залишати після роботи будівельні відходи, особливо горючі, перешкоджаючи проїзду спеціальних автомобілів;
- розводити вогнища;
- палити в місцях зберігання і вживання легко займистих палих і небезпечних матеріалів.

Забезпечення пожежної безпеки проводити у відповідності з вимогами [24].

Відповідальність за пожежну безпеку будівельної ділянки, наявність та справне утримання засобів пожежогасіння, своєчасне виконання передбачених проектом протипожежних заходів несуть (призначаються наказом) керівники проведення робіт на цих ділянках.

Відповідальність за пожежну безпеку побутових, допоміжних та підсобних приміщень несуть посадові особи, яким підпорядковані вказані приміщення.

Тимчасові споруди, підсобні приміщення, а також будівельні майданчики повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння.

До споруд, у тому числі й тимчасових, місць відкритого зберігання будівельних матеріалів, конструкцій та устаткування має бути забезпечений вільний під'їзд.

Для опалення інвентарних будівель повинні використовуватися масляні калорифери. Сушіння одягу та взуття повинно проводитись у спеціально пристосованих для цієї мети приміщеннях із застосуванням масляних калориферів.

У разі виявлення пожежі (ознак горіння) кожний громадянин зобов'язаний:

- негайно повідомити про це телефоном в пожежну охорону. При цьому необхідно назвати адресу об'єкта, місце виникнення пожежі, обстановку пожежі, наявність людей, а також повідомити своє прізвище;
- вжити (по можливості) заходів по евакуації людей, гасіння (локалізації) пожежі та збереження матеріальних цінностей;
- у разі необхідності викликати інші аварійно-рятувальні служби (медичну, газорятувальну тощо).

По прибутті на пожежу пожежних підрозділів повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх на територію об'єкта.

Після прибуття пожежного підрозділу адміністрація та технічний персонал на об'єкті зобов'язаний брати участь у консультуванні керівника гасіння про конструктивні і технологічні особливості об'єкта, де виникла пожежа, організувати залучення до вжиття необхідних заходів, пов'язаних із ліквідацією пожежі та попередженням її розвитку, сил та засобів об'єкта.

4.1.3 Заходи з охорони праці

Заходи з охорони праці, техніки безпеки і цивільної санітарії, передбачені діючими НАОП та ДСТУ вимог інструкцій і правил:

Закону України про охорону праці, затвердженого постановою Верховної Ради України від 14.10.92г. № 2695-ХІІ [26].

Відомчі будівельні норми, СНиП та інших нормативних документів з проектування;

Санітарних норм допустимих рівнів шуму на робочих місцях «ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [27];

«НПАОП 45.2-7.02-12, НПАОП 0.00-1.15-07 «Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті» [28];

ГН 3.3.5-8-6.6.1 «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» [29];

Матеріали, що використовуються в будівельно-монтажних роботах повинні мати підтвердження радіаційної безпеки. Після проведення будівельно-монтажних робіт, виконати радіаційний контроль відповідно до НРБУ-97 «Норми радіаційної безпеки України» [30].

Для забезпечення комплексної безпеки будівництва заходи з організації будівельного виробництва мають передбачати:

1. Дотримання під час підготовки і виконання будівельних робіт вимог з охорони праці та усіх видів промислової безпеки відповідно до [31];

2. Підтримання в процесі будівництва показників міцності і стійкості конструкцій та основ об'єкта будівництва в цілому та об'єктів прилеглої забудови;

3. Дотримання безпечних умов експлуатації об'єктів прилеглої забудови відповідно до «ДБН В. 1.2-12 - 2008 «Система надійності та безпеки в будівництві. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки» [31];

4. Захист об'єкта будівництва, прилеглої території та забудови від впливу несприятливих природних або техногенних факторів;

5. Ліквідацію негативного техногенного впливу будівництва на навколишнє середовище у разі виявлення його засобами моніторингу;

6. Безпечне розміщення на будівельному майданчику виробничих та побутових приміщень і споруд для обслуговування будівництва, безпечне облаштування робочих місць. Забезпечення проїзду і обслуговування транспортних засобів;

7. Послідовність і темпи виконання робіт, які забезпечують ефективно і безпечно здійснення будівництва;

8. Максимальне зменшення обсягів і термінів робіт, які виконуються в умовах дії небезпечних і несприятливих чинників;

9. Неперевищення гранично-допустимих концентрацій небезпечних та шкідливих виробничих чинників;

10. Дотримання безпечних умов праці, санітарно-побутове та медичне забезпечення працюючих відповідно до чинного законодавства;

11. Виконання заходів з охорони та збереження навколишнього середовища;

12. Безпечні способи та порядок поводження з відходами;

13. Дотримання під час підготовки і виконання будівельних робіт вимог пожежної безпеки відповідно до [23], [24], [25].

4.2 Аварійні ситуації. Порядок дій в надзвичайних ситуаціях

Розглянемо надзвичайну ситуацію об'єктного рівня:

На будівельному майданчику працівник виконував завдання з переміщення великої кількості сипких матеріалів із зони складування до місця укладання за

допомогою фронтального навантажувача малого типу. Щоб пришвидшити процес, вирішили завантажити ковш максимально, хоча техніка не була розрахована на таке навантаження. Коли працівник під'їхав до визначеного місця, йому потрібно було виконати маневр для точного підходу до точки розвантаження. Колега допомагав йому зорієнтуватися, жестами і голосом спрямовуючи під час розвороту. Через перевантаження та втрату стійкості під час маневру частина вантажу випала з ковша і впала прямо на ноги колезі, який виконував роль помічника, внаслідок чого той зазнав серйозної травми нижньої кінцівки. Тож згідно до «Постанови Кабінету міністрів України №337 «Про затвердження Порядку виконання розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві» [32] дії цього працівника та його колег поруч мають бути:

1) Потерпілий або працівник, який виявив нещасний випадок, чи інша особа – свідок нещасного випадку повинні вжити всіх можливих заходів, необхідних для надання допомоги потерпілому та негайно повідомити про нещасний випадок безпосередньому керівникові робіт, службі охорони праці підприємства або іншій уповноваженій особі підприємства).

2) Безпосередній керівник робіт чи інша уповноважена особа підприємства (установи, організації) зобов'язані:

– терміново організувати надання першої домедичної допомоги потерпілому та забезпечити у разі потреби його направлення до закладу охорони здоров'я;

– негайно повідомити роботодавцеві про те, що сталося;

– зберегти до прибуття комісії з розслідування (спеціального розслідування) нещасного випадку, обстановку на робочому місці, машини, механізми, обладнання, устаткування у такому стані, в якому вони були на момент нещасного випадку, якщо це не загрожує життю та здоров'ю інших працівників і не призведе до більш тяжких наслідків або порушення виробничих процесів.

3) Заклад охорони здоров'я зобов'язаний невідкладно передати з використанням засобів зв'язку (факс, телефонограма, електронна пошта) та

протягом доби на паперовому носії екстрене повідомлення про звернення потерпілого з посиланням на нещасний випадок.

4) Роботодавець або особа, яка керує виробництвом під час зміни, зобов'язані діяти згідно з планом локалізації та ліквідації аварій, вжити першочергових заходів до рятування потерпілих і надання їм першої домедичної допомоги, локалізації аварії, встановлення меж небезпечної зони та обмеження доступу до неї людей, збереження до прибуття комісії з розслідування аварії обстановки на місці події.

5) Роботодавець зобов'язаний негайно повідомити про аварію, територіальному органу Держпраці, органу управління чи наглядовій раді підприємства (у разі її утворення), місцевій держадміністрації, територіальному органу ДСНС, територіальним (відокремленим) підрозділам поліції за місцем виникнення аварії та відповідному профспілковому органу, а у разі травмування або загибелі працівників також відповідному робочому органу Фонду.

Надалі виконується розслідування аварії відповідними комісіями:

у разі настання аварії першої категорії – центрального органу виконавчої влади, до сфери управління якого належить підприємство (установа, організація), чи місцевою держадміністрацією (у разі відсутності такого органу);

у разі настання аварії другої категорії – органом управління чи наглядовою радою підприємства (установи, організації) або місцевою держадміністрацією (у разі відсутності такого органу);

у разі настання аварії, яка не відноситься до аварії першої чи другої категорій, а також випадків порушення технологічних процесів – роботодавця.

4.1.2 Домедична допомога

Насамперед, необхідно викликати медичну допомогу.

Якщо все ж таки доводиться самому надавати допомогу, то це має бути безпечно, як для постраждалого, так і для того, хто надає допомогу. При наявності небезпеки намагатися її позбутися.

Оцінити стан постраждалого. Спробувати визначити тяжкість травм. Діяти послідовно, не нашкодячи ще більше. Створити безпечні умови для транспортування або утримання постраждалого.

При необхідності доглядати постраждалого до медичного закладу під час транспортування.

ВИСНОВОК ТА ОСНОВНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Для проведення реконструкції інтермодального терміналу були визначені основні критерії та принципи які варто використовувати при розробці проєктної документації. Зазначена необхідність комплексно розглядати етапи проєктування реконструкції та впроваджувати досвід закордонних об'єктів. Також розроблено 4 варіанти дорожнього одягу. Два варіанта які сприймають великі навантаження в зоні роботи річстакера, та варіанти для інших площадок та проїздів. У варіантах №1 та 3, крім розділових геоматеріалів, були застосовані й армуючі геоматеріали, а саме геосітки. Варіанти №2 та 4 мають меншу загальну товщину та не використовують геосітку у своїй конструкції

З технічної точки зору по запасу міцності варіанти доволі схожі, тому основне порівняння необхідно проводити з технологічної та економічної точки зору.

Різниця між варіантами 1 і 2, які були розраховані під ділянки з більшим навантаженням, складає 29%. Різниця між варіантом 3 і 4, які були розраховані для інших площадок та доріг становить 12%. Також варіанти 2 та 4 дозволяють зменшити об'єм підготовчих та земляних робіт, що є перевагою. Згідно цього, рекомендується прийняти варіант ДО №2 для майданчика під велике навантаження, та ДО №4 для інших площадок та проїздів.

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. Неліпович, О. (2023). СУТНІСТЬ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНЕ НАВАНТАЖЕННЯ «СУХИХ ПОРТІВ» В СУЧАСНИХ УМОВАХ. *Сталий розвиток економіки*, (1(46)), 98-105. <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2023-46-13>

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. Гамеляк І. П. Про влаштування швів в брукованих покриттях / І. П. Гамеляк, Л. М. Карафізі. // *Вісник НТУ*. – 2012. – №26. – С. 57–64.

7. 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.

8. Salama, M.I., Elayat, A., Reda, M. et al. Influence of concrete type on rigid pavement behavior under static loads. *Innov. Infrastruct. Solut.* 9, 15 (2024). <https://doi.org/10.1007/s41062-023-01316-1>

9. Marcobal-Barranco, J. R., Lara-Galera, A. L., and Camarero-Orive, A. (July 29, 2019). "Functional Assessment of Port Pavements: The Case of Container Terminals." *ASTM International. J. Test. Eval.* May 2021; 49(3): 1824–1836. <https://doi.org/10.1520/JTE20180729>

10. Будівельні норми і правила. СНиП 2.05.07-91. Промисловий транспорт: затв. та введ. в дію наказом від 28.11.1991 № 18 / Проектний науково-дослідний інститут промисловості транспорту (Промтрансдипроєкт). – Москва : Державний комітет СРСР по будівництву і інвестиціям (Держбуд СРСР), 1991 – 119 с.

11. Державні будівельні норми. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво: затв. та введ. в дію наказом від 21.09.2015 № 234 / ДП «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»). – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2015. – 104 с.

12. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. Зміна №1. ДБН В.2.3-4-2015. [Текст] – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2019. – 28 с.

13. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. Зміна № 2. ДБН В.2.3-4-2015. [Текст] – К.: Міністерство розвитку громад та територій України, 2021. – 15 с.

14. Галузеві будівельні норми. ГБН В.2.3-376419118-559:2019. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування: затв. та введ. в дію наказом від 22.02.2019 № 120 / ДП «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»). – Київ : Міністерство інфраструктури України 2019. – 62 с.

15. Галузеві будівельні норми. ГБН В.2.3-376419118-557:2016. Дорожній одяг жорсткий. Проектування: затв. та введ. в дію наказом від 22.12.2016 № 460 / Харківський національний автомобільно-дорожній університет (ХНАДУ). – Київ : Міністерство інфраструктури України, 2016. – 74 с.

16. Державний стандарт України. ДСТУ - Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від

пожежі. Будівельна кліматологія: затв. та введ. в дію наказом від 16.12.2010 № 511 / ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК). – Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011. – 79 с.

17. 1. Jürgen W. Böse. Handbook of terminal planning. Springer Cham, 2020. 562 с. ISBN 978-3-030-39990-0. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-39990-0>.

18. Державний стандарт України. ДСТУ Б. В.2.3-29:2011. Габарити наближення будівель і рухомого складу залізниць колії 1520 (1524) мм: затв. та введ. в дію наказом від 30.12.2011 № 464 / КП «НТЦ Академії будівництва України». – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2011. – 27 с.

19. 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.

20. Проектування автомобільних доріг: навч. посібник / Б. І. Піндус, В. В. Гончаренко. – Горлівка: АДІ ДВНЗ ДонНТУ, 2013. – 244 с.

21. Безуглий А. О., Бібик Ю. М., Бельська О. Л., Гресько І. Л. Аналіз динаміки цін на дорожньо-будівельні матеріали та вироби. Дороги і мости. Київ, 2022. Вип. 25. С. 8

22. Державні будівельні норми. ДБН А.3.2-2-2009 (НПАОП 45.2-7.02-12). Охорона праці і промислова безпека в будівництві. Основні положення: затв. та введ. в дію наказом від 27.01.2009 № 45 / Науково-дослідний інститут будівельного виробництва (НДІБВ). – Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2012. – 120 с.

23. Нормативний акт с пожежної безпеки. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні: затв. та введ. в дію наказом від 30.12.2014 № 1417 / Міністерство внутрішніх справ (МВС). – Київ : Міністерство внутрішніх справ (МВС), 2014. – 72 с.

24. Державні будівельні норми. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги: затв. та введ. в дію наказом від 31.10.2016 № 287

/ Український науково-дослідний інститут цивільного захисту УкрНДІЦЗ. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016. – 38 с.

25. Державні будівельні норми. ДБН В.1.2-7:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека: затв. та введ. в дію наказом від 30.12.2021 № 366 / ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК). – Київ : Мінрегіон України, 2022. – 16 с.

26. Закон України «Про охорону праці» : офіц. текст : [прийнята Постановою Верховної Ради № 2695-ХІІ від 14.10.92, ВВР, 1992, № 49, ст.669. із змінами, внесеними Законом України від 28 липня 2022 р. № 2468-ІХ : станом на 13.12.2022 р.]. – Київ : Мін-во Юстиції України, 1992. – 397 с.

27. Державні санітарні норми. ДСН 3.3.6.037 -99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку: затв. та введ. в дію наказом від 01.12.1999 № 37 / Міністерство охорони здоров'я (МОЗ). – Київ : Міністерство охорони здоров'я (МОЗ), 1999. – 18 с.

28. Державні нормативні акти з охорони праці. НПАОП 0.00-1.15-07. Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті: затв. та введ. в дію наказом від 27.03.2007 № 62 / Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. – Київ : Міністерство юстиції України, 2007. – 49 с.

29. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 27.12.2001 № 528 “Про затвердження “Гігієнічної класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу”. // Міністерство охорони здоров'я (МОЗ). – Київ : Міністерство охорони здоров'я (МОЗ), 2001. - 76 с.

30. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 14.07.1997 № 208 “Про затвердження “Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97)”. // Міністерство охорони здоров'я (МОЗ). – Київ : Міністерство охорони здоров'я (МОЗ), 1997. - НРБУ-97. Норми радіаційної безпеки України.

31. Державні будівельні норми. ДБН В. 1.2-12 – 2008. Система надійності та безпеки в будівництві. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки: затв. та введ. в дію наказом від 27.08.2008 № 385 / Науково-дослідний інститут будівельного виробництва (НДІБВ). – Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2008. – 36 с.

32. Порядок виконання розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві, затверджений постановою від 17.04.2019 № 337. – Київ : Кабінет Міністрів України, 2019. – 45 с

Додаток А. Розрахунок дорожніх одягів

Розрахунок конструкції дорожнього одягу жорсткого типу з монолітного цементобетонного покриття за методикою ГБН В.2.3- 37641918-557

Найменування дороги	
Особливість розрахунку	Перегін
Ім'я варіанти розрахунку	Варіант 1

1. Кліматичні характеристики

Дорожньо-кліматична зона	4 захід
Підзона	У IV Г.8
Кліматичний район	А-2
Схема зволоження робочого шару	3
Кількість днів у році з позитивною температурою повітря	250
Глибина промерзання ґрунту, см	80
Кліматичний коефіцієнт a_0	50.00

2. Дані про дорогу

Загальні дані:	
Категорія дороги	II
Кількість смуг руху	1
Номер розрахункової смуги	1
Термін служби покриття, років	21
Коефіцієнт надійності	0.95
Необхідні коефіцієнти міцності за критерієм:	
- пружного прогину	1.43
- зсуву	1.42
- розтягу при згині	1.39
Профіль:	
Поперечний профіль дороги	Двосхилий
Ширина смуги руху, м	3.75

Ширина узбіччя, м	3.75
Ширина укріпленої частини узбіччя, м	0.75
Закладення укусу, 1: m	1 : 4
Висота насипу, м	1.50
Ґрунт:	
Ґрунт робочого шару	Суглинок важкий піщанистий
Розрахункова вологість ґрунту, частки од.	Обчислюється за методикою: 0.88
Комплексну характеристику В визначати:	По таблиці
Комплексна характеристика В	3.50
Коефіцієнт Пуассона основи	0.27
Джерело зволоження:	
Джерело зволоження	Верховодка
Покриття:	
Армування покриття	Немає
Коефіцієнт місця розташування навантаження	Обчислюється за методикою: 1.50
Штирі в поперечних швах	Присутні
Особливості:	
Конструктивні заходи, що знижують вологість або впливають на розрахунок дренажного шару	Не передбачені

Визначення розрахункової вологості ґрунту робочого шару.

$$W_p = (\overline{W} - D \overline{W}) * (1 + V_w * i) = (0.75 - 0.000) * (1 + 0.10 * 1.71) = 0.878$$

3. Склад автомобільного потоку

Склад руху	Відомий
Коефіцієнт зростання інтенсивності, частки од.	1.040
Склад потоку заданий	В автомобілях
Зростання інтенсивності	Загальний для потоку
Інтенсивність руху на початковий рік служби, авт/добу.	1
Інтенсивність руху на кінець перспективного	2

проектного терміну служби, авт/добу.	
Розрахункова добова кількість прикладень на смугу приведенного навантаження на початковий рік служби, авт/добу.	10838.59
Розрахункова добова кількість прикладень на смугу приведенного навантаження на кінець останнього року служби, авт/добу.	21677.19
Сумарне розрахункове число прикладень на смугу за весь термін служби, авт.	86625304

Таблиця 1. Склад і характеристики автомобілів в транспортному потоці

Марка автомобіля	Вантаж., т	%	Кількість, авт.	Коеф. вантаж.	Коеф. пробігу	Зростання інт.	Коеф. привед.
Річстакер Liebherr LRS 545 Litronic	117.0	-	1	1.00	1.00	1.040	10838.595

Обчислюємо загальну інтенсивність на початковий рік служби:

$$N_0 = \sum N_{0m} = 1 = 1 \text{ авт/добу}$$

Обчислюємо розрахункову інтенсивність на кінець перспективного проектного терміну служби:

$$N = N_0 * q^t = 1 * 1.040^{21} = 2 \text{ авт/добу}$$

Обчислюємо інтенсивність, приведену до розрахункового навантаження на початковий рік служби:

$$N_{1p} = f_1 * f_2 * N_0 * \sum (d_n * S_n) = 1.00 * 1.0 * 1 * (1.000 * 10838.595) = 10838.59 \text{ авт/добу}$$

Обчислюємо інтенсивність, наведену до розрахункового навантаження на кінець перспективного проектного терміну служби:

$$N_p = f_1 * f_2 * N * \sum (d_n * S_n) = 1.00 * 1.0 * 2 * (1.000 * 10838.595) = 21677.19 \text{ авт/добу}$$

Обчислюємо сумарну розрахункову кількість прикладень розрахункового навантаження при добовій інтенсивності N_{1p} :

$$N_{pt} = N_{1p} * n_c * \frac{(q^t - 1)}{(q - 1)} = 10838.59 * 250 * \frac{(1.040^{21} - 1)}{(1.040 - 1)} = 86625304 \text{ авт.}$$

4. Розрахункове навантаження

Навантаження визначається	по ДБН В.2.3-4
Розрахункове навантаження	Стандартна
Вид розрахункового навантаження	Динамічна
Тип колеса	Двобалоних
Нормативне статичне навантаження на вісь, Qрозр/вісь кН	130.00
Тиск в шинах p, МПа	0.90
Діаметр штампа D, м	0.3460

Визначення параметрів розрахункового навантаження:

Розрахунок динамічного навантаження:

$$Q_{розр} = Q_i * K_{дин} = 65.00 * 1.3 = 84.50 \text{ кН}$$

Розрахунок діаметра штампу:

$$D = 0.01 * \sqrt{\frac{40 * Q_{розр}}{p * p}} = 0.01 * \sqrt{\frac{40 * 84.50}{p * 0.90}} = 0.3460 \text{ м}$$

5. Конструкція дорожнього одягу

Таблиця 2. Конструкція дорожнього одягу

№ шару г	Найменування матеріалу шару	Товщина шару, см		Модуль пружності, МПа			Середнє значення межі міцності на розтяг при згині R, МПа	Коефіцієнт m	Коефіцієнт Kпр	Вологість, Wр, частки од.	Коефіцієнт КЗ	Зчеплення, С, МПа		Кут внутрішнього тертя, F, град		Щільність, ρ, кг/куб.м.	
		Мінім альна, hmin	Максимальна, hmax	Пружний прогин, E	Зсув, Eзс	Згин, Eр						динаміка	статика	динаміка	статика		
1	Важкий бетон класа Bbtb 4.4	27.0	27.0	35300	1770	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2400
2	Щебенево-піщані суміші, укріплені цементом М75	27.0	27.0	1000	-	1000	0.500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2000
3	Щебенево-піщана суміш С5	30.0	30.0	280	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2000
-	Розділяючий геоматеріал	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Пісок крупний	-	-	130	-	-	-	-	-	-	7.00	0.004	0.004	35.0	35.0	-	2000
-	Армуючий геоматеріал	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Суглинок важкий піщанистий	-	-	11	-	-	-	-	-	0.878	0.00	-	-	-	-	-	2000

Розрахунок конструкції дорожнього одягу за допустимим пружним прогином.

1) Розрахунок виконується для шару Пісок крупний

(Розрахунок виконаний за номограмою ГБН В.2.3-37641918-559)

$$\frac{E_H}{E_2} = \frac{E_{ni\partial}}{E_2} = \frac{11.31}{130.00} = 0.09; \quad \frac{h_2}{D} = \frac{30.0}{34.60} = 0.87; \quad \frac{E_{2екв}}{E_2} = 0.290; \quad E_{2екв} = 0.290 * 130.00 = 37.68 \text{ МПа};$$

2) Розрахунок виконується для шару Щебенево-піщана суміш С5

(Розрахунок виконаний за номограмою ГБН В.2.3-37641918-559)

$$\frac{E_H}{E_3} = \frac{E_{ni\partial}}{E_3} = \frac{37.68}{280.00} = 0.13; \quad \frac{h_3}{D} = \frac{30.0}{34.60} = 0.87; \quad \frac{E_{3екв}}{E_3} = 0.377; \quad E_{3екв} = 0.377 * 280.00 = 105.59 \text{ МПа};$$

3) Розрахунок виконується для шару Щебенево-піщані суміші, укріплені цементом М75

(Розрахунок виконаний за номограмою ГБН В.2.3-37641918-559)

$$\frac{E_H}{E_4} = \frac{E_{ni\partial}}{E_4} = \frac{105.59}{1000.00} = 0.11; \quad \frac{h_4}{D} = \frac{27.0}{34.60} = 0.78; \quad \frac{E_{4екв}}{E_4} = 0.306; \quad E_{4екв} = 0.306 * 1000.00 = 305.91 \text{ МПа};$$

Розрахунок за умовою зсувостійкості робочого шару земляного полотна і шарів із незв'язних матеріалів.

1) Розрахунок виконується для шару Пісок крупний

Модуль пружності верхнього шару моделі обчислюють як середньозважений

$$E_2 = \frac{E_1 * h_1 + E_2 * h_2 + E_3 * h_3}{h_1 + h_2 + h_3} = \frac{1770 * 27.0 + 1000 * 27.0 + 280 * 30.0}{27.0 + 27.0 + 30.0} = 990.36 \text{ МПа}$$

$$\text{За відношеннями:} \quad \frac{E_2}{E_H} = \frac{990.36}{37.68} = 26.29 \quad \text{и} \quad \frac{h_2}{D} = \frac{84}{34.60} = 2.43$$

за допомогою номограми знаходимо питоме активне напруження зсуву від одиничного навантаження:
 $\bar{t}_a = 0.00320 \text{ МПа}$

Діючі активні напруження зсуву:

$$T = t_n + t_v = 0.0029 + -0.00462 = -0.00174 \text{ МПа}$$

$$\text{де} \quad t_n = t_a * p = 0.00320 * 0.90 = 0.0029 \text{ МПа}$$

$$t_v = 0.00001 * (5 - 0.3 * j) * (h_1 + h_2 + h_3) = 0.00001 * (5 - 0.3 * 35.0) * (27.0 + 27.0 + 30.0) = -0.00462 \text{ МПа}$$

Граничне активне напруження зсуву:

$$T_{2p} = C_{2p} * k_1 * k_2 * k_3 = 0.004 * 1.0 * 0.359 * 7.0 = 0.01006 \text{ МПа}$$

$$\text{де} \quad k_2 = 1.816 - 0.15 * \ln\left(\frac{\sum N_p}{(T_{2p} * T_{cl})}\right) = 1.816 - 0.15 * \ln(86625304 / (250 * 21)) = 0.359 \text{ МПа}$$

$$K_{мц} = \frac{T_{2p}}{T} = \frac{0.01006}{-0.00174} = -5.7944$$

Діючі напруження негативні, запас міцності на зсув приймається достатнім

Розрахунок монолітного цементобетонного покриття.

Визначаємо коефіцієнт втоми бетону при повторному навантаженні K_y :

$$K_y = 1.08 * (\sum N_p)^{-0.063} = 1.08 * (86625304)^{-0.063} = 0.341$$

Визначаємо розрахунковий опір бетону на розтяг при згині R_i^P :

$$R_i^P = V_{tb} * K_M * K_y = 4.400 * 1.200 * 0.341 = 1.803 \text{ МПа}$$

Визначаємо коефіцієнт, що враховує вплив місця розташування навантаження: $K_M = 1.50$

Визначаємо коефіцієнт, що враховує умови роботи: $K_{умв} = 0.66$

Визначаємо коефіцієнт, що враховує вплив штиркових з'єднань на умови контактування плит з основою: $K_{шт} = 1.00$

Визначаємо коефіцієнт, що враховує вплив температурного короблення плит: $K_t = 0.68$

Визначаємо коефіцієнт Пуассона основи: $m_0 = 0.27$

Визначаємо коефіцієнт Пуассона бетону: $m = 0.20$

Визначаємо пружню характеристику плити l_{np} :

$$l_{np} = h * \sqrt[3]{\frac{E * (1 - m_0^2)}{6 * E_0^2 * (1 - m^2)}} = 27 * \sqrt[3]{\frac{35300 * (1 - 0.27^2)}{6 * 305.913 * (1 - 0.20^2)}} = 71.50 \text{ см}$$

Визначаємо радіус відбитка колеса R :

$$R = \sqrt{\frac{Q_p}{0.1 * p * p_{ш}}} = \sqrt{\frac{84.5}{0.1 * p * 0.90}} = 17.29 \text{ см}$$

Визначаємо напруження розтягу при згині s_{pt} , що виникають в бетонному покритті:

$$s_{pt} = \frac{Q_p * K_m * 60 * K_{умв} * K_{шт}}{h^2 * K_t} * (0.0592 - 0.09284 * \ln \frac{R}{l_{np}}) =$$

$$= \frac{84.5 * 1.50 * 60 * 0.66 * 1.00}{272 * 0.68} * (0.0592 - 0.09284 * \ln \frac{17.29}{71.50}) = 1.934 \text{ МПа}$$

$$K_{мц} = \frac{R_i^p * K_p}{s_{pt}} = \frac{1.803 * 1.60}{1.934} = 1.4916$$

Необхідний коефіцієнт міцності $K_{мц}^{нотр} = 1.39$

$1.4916 > 1.39$ – условие прочности выполнено

$$\text{Запас міцності} = \frac{K_{мц} - K_{мц}^{нотр}}{K_{мц}^{нотр}} * 100\% = \frac{1.4916 - 1.39}{1.39} * 100\% = +7\%$$

6. Результати розрахунку дренавального шару

Матеріал дренавального шару	Пісок крупний
Вид дренажу	Площинний горизонтальний
Поперечний похил дренавального шару, ‰	25
Коефіцієнт фільтрації, м/добу.	5.00
Довжина шляху фільтрації, м	9.59
Додаткова товщина шару, см	0
Повна розрахункова товщина дренавального шару, см	30

Розрахунок товщини дренавального шару

$$h_{\phi} = 0.1 * (1 + \frac{L_{\phi}}{K_{\phi}}) = 0.1 * (1 + \frac{9.59}{5.00}) = 0.30 \text{ м}$$

Таблиця 3. Характеристики міцності конструкції дорожнього одягу.

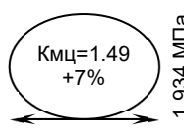
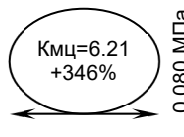
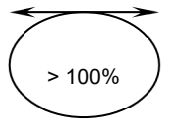
№ шару г	Найменування матеріалу шару	Розрахунок товщини шару, см	Загальний модуль пружності по шарам, Езаг, МПа	Показник міцності:			Граничне активне напруження зсуву в шарі, Тгр, МПа	Розрахункове активне напруження зсуву, Т, МПа	Граничне напруження розтягу при згині, Rзг, МПа	Розрахункове напруження розтягу в шарі, Ст, МПа	Розрахункова вологість ґрунту, Wр, частки од.	Вартість, гривні/кв.м
				критерій	розрахункове значення коеф. міцності Кмц	величина, запас (+/-),%						
1	Важкий бетон класа Bbtb 4.4	27.0	-	Розтяг	1.49	+7%	-	-	1.803	1.934	-	-
2	Щебенево-піщані суміші, укріплені цементом М75	27.0	306	Розтяг	6.21	+346%	-	-	0.500	0.080	-	-
3	Щебенево-піщана суміш С5	30.0	106	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	Розділяючий геоматеріал	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Пісок крупний	30.0	38	Зсув	-5.79	> 100%	0.01006	-0.00174	-	-	-	-
-	Армуючий геоматеріал	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Суглинок важкий піщанистий	-	11	-	-	-	-	-	-	-	0.878	-
Сумарна товщина конструкції:		114.0	Підсумкова вартість конструкції:									-

7. Інформація

* Розрахунок виконаний. Зауважень немає.

Розрахункові характеристики та результати розрахунку

Еекв
МПа

27.0	Важкий бетон класа Bbtb 4.4	E = 35300 Ерозр = 1770 Bbtb = 4.4	306	1.803 МПа	
27.0	Щебенево-піщані суміші, укріплені цементом М75	E = 1000 Rи=0.500	106	0.500 МПа	
30.0	Щебенево-піщана суміш С5	E = 280			
	Розділяючий геоматеріал		38		
30.0	Пісок крупний	E = 130 F = 35.0 C = 0.004		0.01006	
	Армуючий геоматеріал		11		
	Суглинок важкий піщанистий	Wp = 0.878 E = 11 F = 7.0 C = 0.007			

E, C, R - МПа; F - град.

Нр. = 114.0 см.

Розрахунок конструкції дорожнього одягу жорсткого типу з монолітного цементобетонного покриття за методикою ГБН В.2.3- 37641918-557

Найменування дороги	
Особливість розрахунку	Перегін
Ім'я варіанти розрахунку	Варіант 2

1. Кліматичні характеристики

Дорожньо-кліматична зона	4 захід
Підзона	У IV Г.8
Кліматичний район	A-2
Схема зволоження робочого шару	3
Кількість днів у році з позитивною температурою повітря	250
Глибина промерзання ґрунту, см	80
Кліматичний коефіцієнт a_0	50.00

2. Дані про дорогу

Загальні дані:	
Категорія дороги	II
Кількість смуг руху	1
Номер розрахункової смуги	1
Термін служби покриття, років	21
Коефіцієнт надійності	0.95
Необхідні коефіцієнти міцності за критерієм:	
- пружного прогину	1.43
- зсуву	1.42
- розтягу при згині	1.39
Профіль:	
Поперечний профіль дороги	Двосхилий
Ширина смуги руху, м	3.75
Ширина узбіччя, м	3.75

Ширина укріпленої частини узбіччя, м	0.75
Закладення укусу, 1: m	1 : 4
Висота насипу, м	1.50
Ґрунт:	
Ґрунт робочого шару	Суглинок важкий піщанистий
Розрахункова вологість ґрунту, частки од.	Обчислюється за методикою: 0.88
Комплексну характеристику В визначати:	По таблиці
Комплексна характеристика В	3.50
Коефіцієнт Пуассона основи	0.27
Джерело зволоження:	
Джерело зволоження	Верховодка
Покриття:	
Армування покриття	Немає
Коефіцієнт місця розташування навантаження	Обчислюється за методикою: 1.50
Штирі в поперечних швах	Присутні
Особливості:	
Конструктивні заходи, що знижують вологість або впливають на розрахунок дренажного шару	Не передбачені

Визначення розрахункової вологості ґрунту робочого шару.

$$W_p = (\overline{W} - D \overline{W}) * (1 + V_w * t) = (0.75 - 0.000) * (1 + 0.10 * 1.71) = 0.878$$

3. Склад автомобільного потоку

Склад руху	Відомий
Коефіцієнт зростання інтенсивності, частки од.	1.040
Склад потоку заданий	В автомобілях
Зростання інтенсивності	Загальний для потоку
Інтенсивність руху на початковий рік служби, авт/добу.	5
Інтенсивність руху на кінець перспективного проектного терміну служби, авт/добу.	11

Розрахункова добова кількість прикладень на смугу приведенного навантаження на початковий рік служби, авт/добу.	54192.97
Розрахункова добова кількість прикладень на смугу приведенного навантаження на кінець останнього року служби, авт/добу.	119224.54
Сумарне розрахункове число прикладень на смугу за весь термін служби, авт.	433126520

Таблиця 1. Склад і характеристики автомобілів в транспортному потоці

Марка автомобіля	Вантаж., т	%	Кількість, авт.	Коеф. вантаж.	Коеф. пробігу	Зростання інт.	Коеф. привед.
Річстакер Liebherr LRS 545 Litronic	117.0	-	5	1.00	1.00	1.040	10838.595

Обчислюємо загальну інтенсивність на початковий рік служби:

$$N_0 = \sum N_{0m} = 5 = 5 \text{ авт/добу}$$

Обчислюємо розрахункову інтенсивність на кінець перспективного проектного терміну служби:

$$N = N_0 * q^t = 5 * 1.040^{21} = 11 \text{ авт/добу}$$

Обчислюємо інтенсивність, приведену до розрахункового навантаження на початковий рік служби:

$$N_{1p} = f_1 * f_2 * N_0 * \sum (d_n * S_n) = 1.00 * 1.0 * 5 *$$

$$(1.000 * 10838.595) = 54192.97 \text{ авт/добу}$$

Обчислюємо інтенсивність, наведену до розрахункового навантаження на кінець перспективного проектного терміну служби:

$$N_p = f_1 * f_2 * N * \sum (d_n * S_n) = 1.00 * 1.0 * 11 *$$

$$(1.000 * 10838.595) = 119224.54 \text{ авт/добу}$$

Обчислюємо сумарну розрахункову число прикладень розрахункового навантаження при добовій інтенсивності N_{1p} :

$$N_{pt} = N_{1p} * n_c * \frac{(q^t - 1)}{(q - 1)} = 54192.97 * 250 * \frac{(1.040^{21} - 1)}{(1.040 - 1)} = 433126520 \text{ авт.}$$

4. Розрахункове навантаження

Навантаження визначається	по ДБН В.2.3-4
Розрахункове навантаження	Стандартна
Вид розрахункового навантаження	Динамічна
Тип колеса	Двобалоних
Нормативне статичне навантаження на вісь, Qрозр/вісь кН	130.00
Тиск в шинах p, МПа	0.90
Діаметр штампа D, м	0.3460

Визначення параметрів розрахункового навантаження:

Розрахунок динамічного навантаження:

$$Q_{розр} = Q_i * K_{дин} = 65.00 * 1.3 = 84.50 \text{ кН}$$

Розрахунок діаметра штамп:

$$D = 0.01 * \sqrt{\frac{40 * Q_{розр}}{p * p}} = 0.01 * \sqrt{\frac{40 * 84.50}{p * 0.90}} = 0.3460 \text{ м}$$

5. Конструкція дорожнього одягу

Таблиця 2. Конструкція дорожнього одягу

№ шару г	Найменування матеріалу шару	Товщина шару, см		Модуль пружності, МПа			Середнє значення межі міцності на розтяг при згині R, МПа	Коефіцієнт m	Коефіцієнт Kпр	Вологість, Wр, частки од.	Коефіцієнт КЗ	Зчеплення, С, МПа		Кут внутрішнього тертя, F, град		Щільність, р, кг/куб.м.
		Мінім альна, hmin	Максимальна, hmax	Пружний прогин, E	Зсув, Езс	Згин, Ер						динаміка	статика	динаміка	статика	
1	Важкий бетон класа Bbtb 4.4	30.0	30.0	35300	1770	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	2400
-	Розділяючий геоматеріал	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Матеріал за технологією холодного ресайклінгу з додаванням мінеральних матеріалів, укріплені цементом М60	30.0	30.0	970	-	970	0.550	-	-	-	-	-	-	-	-	2000
3	Пісок крупний	-	-	130	-	-	-	-	-	-	7.00	0.004	0.004	35.0	35.0	2000
-	Армуючий геоматеріал	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Суглинок важкий піщанистий	-	-	11	-	-	-	-	-	0.878	0.00	-	-	-	-	2000

Розрахунок конструкції дорожнього одягу за допустимим пружним прогином.

1) Розрахунок виконується для шару Пісок крупний

(Розрахунок виконаний за номограмою ГБН В.2.3-37641918-559)

$$\frac{E_H}{E_6} = \frac{E_{ni\partial}}{E_2} = \frac{11.31}{130.00} = 0.09; \quad \frac{h_6}{D} = \frac{28.0}{34.60} = 0.81; \quad \frac{E_{2екв}}{E_2} = 0.276; \quad E_{2екв} = 0.276 * 130.00 = 35.89 \text{ МПа};$$

2) Розрахунок виконується для шару Матеріал за технологією холодного ресайклінгу з додаванням мінеральних матеріалів, укріплені цементом М60

(Розрахунок виконаний за номограмою ГБН В.2.3-37641918-559)

$$\frac{E_H}{E_6} = \frac{E_{ni\partial}}{E_3} = \frac{35.89}{970.00} = 0.04; \quad \frac{h_6}{D} = \frac{30.0}{34.60} = 0.87; \quad \frac{E_{3екв}}{E_3} = 0.158; \quad E_{3екв} = 0.158 * 970.00 = 153.21 \text{ МПа};$$

Розрахунок за умовою зсувостійкості робочого шару земляного полотна і шарів із незв'язних матеріалів.

1) Розрахунок виконується для шару Пісок крупний

Модуль пружності верхнього шару моделі обчислюють як середньозважений

$$E_6 = \frac{E_1 * h_1 + E_2 * h_2}{h_1 + h_2} = \frac{1770 * 30.0 + 970 * 30.0}{30.0 + 30.0} = 1370.00 \text{ МПа}$$

$$\text{За відношеннями:} \quad \frac{E_6}{E_H} = \frac{1370.00}{35.89} = 38.17 \quad \text{и} \quad \frac{h_6}{D} = \frac{60}{34.60} = 1.73$$

за допомогою номограми знаходимо питоме активне напруження зсуву від одиничного навантаження:
 $\frac{1}{t_a} = 0.00361 \text{ МПа}$

Діючі активні напруження зсуву:

$$T = t_n + t_v = 0.0032 + -0.00330 = -0.00005 \text{ МПа}$$

$$\text{де} \quad t_n = t_a * p = 0.00361 * 0.90 = 0.0032 \text{ МПа}$$

$$t_v = 0.00001 * (5 - 0.3 * j) * (h_1 + h_2) = 0.00001 * (5 - 0.3 * 35.0) * (30.0 + 30.0) = -0.00330 \text{ МПа}$$

Граничне активне напруження зсуву:

$$T_{2p} = C_{2p} * k_1 * k_2 * k_3 = 0.004 * 1.0 * 0.118 * 7.0 = 0.00330 \text{ МПа}$$

$$\text{де} \quad k_2 = 1.816 - 0.15 * \ln\left(\frac{\sum N_p}{(T_{2p} * T_{cl})}\right) = 1.816 - 0.15 * \ln(433126520 / (250 * 21)) = 0.118 \text{ МПа}$$

$$K_{мц} = \frac{T_{2p}}{T} = \frac{0.00330}{-0.00005} = -61.1837$$

Діючі напруження негативні, запас міцності на зсув приймається достатнім

Розрахунок монолітного цементобетонного покриття.

Визначаємо коефіцієнт втоми бетону при повторному навантаженні K_y :

$$K_y = 1.08 * (\sum N_p)^{-0.063} = 1.08 * (433126520)^{-0.063} = 0.309$$

Визначаємо розрахунковий опір бетону на розтяг при згині R_i^P :

$$R_i^P = V_{tb} * K_M * K_y = 4.400 * 1.200 * 0.309 = 1.629 \text{ МПа}$$

Визначаємо коефіцієнт, що враховує вплив місця розташування навантаження: $K_M = 1.50$

Визначаємо коефіцієнт, що враховує умови роботи: $K_{умв} = 0.66$

Визначаємо коефіцієнт, що враховує вплив штир'ювих з'єднань на умови контактування плит з основою: $K_{шт} = 1.00$

Визначаємо коефіцієнт, що враховує вплив температурного короблення плит: $K_t = 0.68$

Визначаємо коефіцієнт Пуассона основи: $m_0 = 0.27$

Визначаємо коефіцієнт Пуассона бетону: $m = 0.20$

Визначаємо пружню характеристику плити l_{np} :

$$l_{np} = h * \sqrt[3]{\frac{E * (1 - m_0^2)}{6 * E_0^3 * (1 - m^2)}} = 30 * \sqrt[3]{\frac{35300 * (1 - 0.27^2)}{6 * 153.207 * (1 - 0.20^2)}} = 100.04 \text{ см}$$

Визначаємо радіус відбитка колеса R :

$$R = \sqrt{\frac{Qp}{0.1 * p * p_{ш}}} = \sqrt{\frac{84.5}{0.1 * p * 0.90}} = 17.29 \text{ см}$$

Визначаємо напруження розтягу при згині s_{pt} , що виникають в бетонному покритті:

$$s_{pt} = \frac{Qp * K_m * 60 * K_{умв} * K_{шт}}{h^2 * K_t} * (0.0592 - 0.09284 * \ln \frac{R}{l_{np}}) =$$

$$= \frac{84.5 * 1.50 * 60 * 0.66 * 1.00}{30^2 * 0.68} * (0.0592 - 0.09284 * \ln \frac{17.29}{100.04}) = 1.822 \text{ МПа}$$

$$K_{мц} = \frac{R_i^p * K_p}{s_{pt}} = \frac{1.629 * 1.60}{1.822} = 1.4304$$

Необхідний коефіцієнт міцності $K_{мц}^{нотр} = 1.39$

$1.4304 > 1.39$ – условие прочности выполнено

$$\text{Запас міцності} = \frac{K_{мц} - K_{мц}^{нотр}}{K_{мц}^{нотр}} * 100\% = \frac{1.4304 - 1.39}{1.39} * 100\% = +2\%$$

6. Результати розрахунку дренавального шару

Матеріал дренавального шару	Пісок крупний
Вид дренажу	Площинний горизонтальний
Поперечний похил дренавального шару, ‰	25
Коефіцієнт фільтрації, м/добу.	5.00
Довжина шляху фільтрації, м	8.59
Додаткова товщина шару, см	0
Повна розрахункова товщина дренавального шару, см	28

Розрахунок товщини дренавального шару

$$h_{\phi} = 0.1 * (1 + \frac{L_{\phi}}{K_{\phi}}) = 0.1 * (1 + \frac{8.59}{5.00}) = 0.28 \text{ м}$$

Таблиця 3. Характеристики міцності конструкції дорожнього одягу.

№ шару г	Найменування матеріалу шару	Розрахунок товщини шару, см	Загальний модуль пружності по шарам, Езаг, МПа	Показник міцності:			Граничне активне напруження зсуву в шарі, Тгр, МПа	Розрахункове активне напруження зсуву, Т, МПа	Граничне напруження розтягу при згині, Rзг, МПа	Розрахункове напруження розтягу в шарі, Ст, МПа	Розрахункова вологість ґрунту, Wр, частки од.	Вартість, гривні/кв.м
				критерій	розрахункове значення коеф. міцності Кміц	величина, запас (+/-),%						
1	Важкий бетон класа Bbтb 4.4	30.0	-	Розтяг	1.43	+2%	-	-	1.629	1.822	-	-
-	Розділяючий геоматеріал	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Матеріал за технологією холодного ресайклінгу з додаванням мінеральних матеріалів, укріплені цементом М60	30.0	153	Розтяг	5.89	+323%	-	-	0.550	0.093	-	-
3	Пісок крупний	28.0	36	Зсув	-61.18	> 100%	0.00330	-0.00005	-	-	-	-
-	Армуючий геоматеріал	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Суглинок важкий піщанистий	-	11	-	-	-	-	-	-	-	0.878	-
Сумарна товщина конструкції:		88.0	Підсумкова вартість конструкції:									-

7. Інформація

* Розрахунок виконаний. Зауважень немає.

Розрахункові характеристики та результати розрахунку

Еекв
МПа

Нр. = 88.0 см.	30.0	Важкий бетон класа Bbtb 4.4	E = 35300 Ерозр = 1770 Bbtb = 4.4	153	1.629 МПа		1.822 МПа
		Розділяючий геоматеріал					
	30.0	Матеріал за технологією холодного ресайклінгу з додаванням мінеральних матеріалів, укріплені цементом М60	E = 970 Rи=0.550	36	0.550 МПа		0.093 МПа
	28.0	Пісок крупний	E = 130 F = 35.0 C = 0.004		0.00330		
		Армуючий геоматеріал		11			
		Суглинок важкий піщанистий	Wp = 0.878 E = 11 F = 7.0 C = 0.007				

E, C, R - МПа; F - град.

**Розрахунок конструкції дорожнього одягу жорсткого типу
з монолітного цементобетонного покриття за методикою ГБН В.2.3-
37641918-557**

Найменування дороги	
Особливість розрахунку	Перегін
Ім'я варіанти розрахунку	Варіант 3

1. Кліматичні характеристики

Дорожньо-кліматична зона	4 захід
Підзона	У IV Г.8
Кліматичний район	А-2
Схема зволоження робочого шару	3
Кількість днів у році з позитивною температурою повітря	250
Глибина промерзання ґрунту, см	80
Кліматичний коефіцієнт a_0	50.00

2. Дані про дорогу

Загальні дані:	
Категорія дороги	II
Кількість смуг руху	1
Номер розрахункової смуги	1
Термін служби покриття, років	21
Коефіцієнт надійності	0.95
Необхідні коефіцієнти міцності за критерієм:	
- пружного прогину	1.43
- зсуву	1.42
- розтягу при згині	1.39
Профіль:	
Поперечний профіль дороги	Двосхилий
Ширина смуги руху, м	3.75
Ширина узбіччя, м	3.75

Ширина укріпленої частини узбіччя, м	0.75
Закладення укосу, 1: m	1 : 4
Висота насипу, м	1.50
Ґрунт:	
Ґрунт робочого шару	Суглинок важкий піщанистий
Розрахункова вологість ґрунту, частки од.	Обчислюється за методикою: 0.88
Комплексну характеристику В визначати:	По таблиці
Комплексна характеристика В	3.50
Коефіцієнт Пуассона основи	0.27
Джерело зволоження:	
Джерело зволоження	Верховодка
Покриття:	
Армування покриття	Немає
Коефіцієнт місця розташування навантаження	Обчислюється за методикою: 1.50
Штирі в поперечних швах	Присутні
Особливості:	
Конструктивні заходи, що знижують вологість або впливають на розрахунок дренажного шару	Не передбачені

Визначення розрахункової вологості ґрунту робочого шару.

$$W_p = (\overline{W} - D \overline{W}) * (1 + V_w * t) = (0.75 - 0.000) * (1 + 0.10 * 1.71) = 0.878$$

3. Склад автомобільного потоку

Склад руху	Відомий
Коефіцієнт зростання інтенсивності, частки од.	1.040
Склад потоку заданий	В автомобілях
Зростання інтенсивності	Загальний для потоку
Інтенсивність руху на початковий рік служби, авт/добу.	80
Інтенсивність руху на кінець перспективного проектного терміну служби, авт/добу.	182

Розрахункова добова кількість прикладень на смугу приведенного навантаження на початковий рік служби, авт/добу.	93.06
Розрахункова добова кількість прикладень на смугу приведенного навантаження на кінець останнього року служби, авт/добу.	211.71
Сумарне розрахункове число прикладень на смугу за весь термін служби, авт.	743763

Таблиця 1. Склад і характеристики автомобілів в транспортному потоці

Марка автомобіля	Вантаж., т	%	Кількість, авт.	Коеф. вантаж.	Коеф. пробігу	Зростання інт.	Коеф. привед.
VOLVO FH12 380R +KOGEL AN24P (20)	49.0	-	80	1.0	1.0	1.040	1.163

Обчислюємо загальну інтенсивність на початковий рік служби:

$$N_0 = \sum N_{0m} = 80 = 80 \text{ авт/добу}$$

Обчислюємо розрахункову інтенсивність на кінець перспективного проектного терміну служби:

$$N = N_0 * q^t = 80 * 1.040^{21} = 182 \text{ авт/добу}$$

Обчислюємо інтенсивність, приведену до розрахункового навантаження на початковий рік служби:

$$N_{1p} = f_1 * f_2 * N_0 * \sum (d_n * S_n) = 1.00 * 1.0 * 80 *$$

$$(1.000 * 1.163) = 93.06 \text{ авт/добу}$$

Обчислюємо інтенсивність, наведену до розрахункового навантаження на кінець перспективного проектного терміну служби:

$$N_p = f_1 * f_2 * N * \sum (d_n * S_n) = 1.00 * 1.0 * 182 *$$

$$(1.000 * 1.163) = 211.71 \text{ авт/добу}$$

Обчислюємо сумарну розрахункову число прикладень розрахункового навантаження при добовій інтенсивності N_{1p} :

$$N_{pt} = N_{1p} * n_c * \frac{(q^t - 1)}{(q - 1)} = 93.06 * 250 * \frac{(1.040^{21} - 1)}{(1.040 - 1)} = 743763 \text{ авт.}$$

4. Розрахункове навантаження

Навантаження визначається	по ДБН В.2.3-4
Розрахункове навантаження	Стандартна
Вид розрахункового навантаження	Динамічна
Тип колеса	Двобалоних
Нормативне статичне навантаження на вісь, Qрозр/вісь кН	130.00
Тиск в шинах p, МПа	0.90
Діаметр штампа D, м	0.3460

Визначення параметрів розрахункового навантаження:

Розрахунок динамічного навантаження:

$$Q_{розр} = Q_i * K_{дин} = 65.00 * 1.3 = 84.50 \text{ кН}$$

Розрахунок діаметра штамп:

$$D = 0.01 * \sqrt{\frac{40 * Q_{розр}}{p * p}} = 0.01 * \sqrt{\frac{40 * 84.50}{p * 0.90}} = 0.3460 \text{ м}$$

5. Конструкція дорожнього одягу

Таблиця 2. Конструкція дорожнього одягу

№ шару г	Найменування матеріалу шару	Товщина шару, см		Модуль пружності, МПа			Середнє значення межі міцності на розтяг при згині R, МПа	Коефіцієнт m	Коефіцієнт Kпр	Вологість, Wр, частки од.	Коефіцієнт КЗ	Зчеплення, С, МПа		Кут внутрішнього тертя, F, град		Щільність, ρ, кг/куб.м.	
		Мінім альна, hmin	Максимальна, hmax	Пружний прогин, E	Зсув, Eзс	Згин, Eр						динаміка	статика	динаміка	статика		
1	Важкий бетон класа Bbtb 4.4	20.0	20.0	35300	1770	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2400
2	Щебенево-піщані суміші, укріплені цементом М75	20.0	20.0	1000	-	1000	0.500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2000
3	Щебенево-піщана суміш С7	21.0	21.0	220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2000
-	Розділяючий геоматеріал	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Пісок крупний	-	-	130	-	-	-	-	-	-	7.00	0.004	0.004	35.0	35.0	-	2000
-	Армуючий геоматеріал	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Суглинок важкий піщанистий	-	-	11	-	-	-	-	-	0.878	0.00	-	-	-	-	-	2000

Розрахунок конструкції дорожнього одягу за допустимим пружним прогином.

1) Розрахунок виконується для шару Пісок крупний

(Розрахунок виконаний за номограмою ГБН В.2.3-37641918-559)

$$\frac{E_H}{E_6} = \frac{E_{ni\partial}}{E_2} = \frac{11.31}{130.00} = 0.09; \quad \frac{h_6}{D} = \frac{28.0}{34.60} = 0.81; \quad \frac{E_{2екв}}{E_2} = 0.276; \quad E_{2екв} = 0.276 * 130.00 = 35.89 \text{ МПа};$$

2) Розрахунок виконується для шару Щебенево-піщана суміш С7

(Розрахунок виконаний за номограмою ГБН В.2.3-37641918-559)

$$\frac{E_H}{E_6} = \frac{E_{ni\partial}}{E_3} = \frac{35.89}{220.00} = 0.16; \quad \frac{h_6}{D} = \frac{21.0}{34.60} = 0.61; \quad \frac{E_{3екв}}{E_3} = 0.349; \quad E_{3екв} = 0.349 * 220.00 = 76.84 \text{ МПа};$$

3) Розрахунок виконується для шару Щебенево-піщані суміші, укріплені цементом М75

(Розрахунок виконаний за номограмою ГБН В.2.3-37641918-559)

$$\frac{E_H}{E_6} = \frac{E_{ni\partial}}{E_4} = \frac{76.84}{1000.00} = 0.08; \quad \frac{h_6}{D} = \frac{20.0}{34.60} = 0.58; \quad \frac{E_{4екв}}{E_4} = 0.206; \quad E_{4екв} = 0.206 * 1000.00 = 205.96 \text{ МПа};$$

Розрахунок за умовою зсувостійкості робочого шару земляного полотна і шарів із незв'язних матеріалів.

1) Розрахунок виконується для шару Пісок крупний

Модуль пружності верхнього шару моделі обчислюють як середньозважений

$$E_6 = \frac{E_1 * h_1 + E_2 * h_2 + E_3 * h_3}{h_1 + h_2 + h_3} = \frac{1770 * 20.0 + 1000 * 20.0 + 220 * 21.0}{20.0 + 20.0 + 21.0} = 983.93 \text{ МПа}$$

За відношеннями: $\frac{E_6}{E_H} = \frac{983.93}{35.89} = 27.41$ *и* $\frac{h_6}{D} = \frac{61}{34.60} = 1.76$

за допомогою номограми знаходимо питоме активне напруження зсуву від одиничного навантаження:

$$\bar{t}_a = 0.00463 \text{ МПа}$$

Діючі активні напруження зсуву:

$$T = t_n + t_v = 0.0042 + -0.00335 = 0.00081 \text{ МПа}$$

$$\text{де } t_n = t_a * p = 0.00463 * 0.90 = 0.0042 \text{ МПа}$$

$$t_v = 0.00001 * (5 - 0.3 * j) * (h_1 + h_2 + h_3) = 0.00001 * (5 - 0.3 * 35.0) * (20.0 + 20.0 + 21.0) = -0.00335 \text{ МПа}$$

Граничне активне напруження зсуву:

$$T_{gr} = C_{gr} * k_1 * k_2 * k_3 = 0.004 * 1.0 * 1.073 * 7.0 = 0.03004 \text{ МПа}$$

$$\text{де } k_2 = 1.816 - 0.15 * \ln\left(\frac{\sum N_p}{(T_{др} * T_{сл})}\right) = 1.816 - 0.15 * \ln(743763 / (250 * 21)) = 1.073 \text{ МПа}$$

$$K_{мц} = \frac{T_{gr}}{T} = \frac{0.03004}{0.00081} = 37.0032$$

Необхідний коефіцієнт міцності $K_{мц}^{потр} = 1.42$

$37.0032 > 1.42$ - умова виконана

$$\text{Запас міцності} = \frac{K_{мц} - K_{мц}^{потр}}{K_{мц}^{потр}} * 100\% = \frac{37.0032 - 1.42}{1.42} * 100\% = +2505\%$$

Розрахунок монолітного цементобетонного покриття.

Визначаємо коефіцієнт втоми бетону при повторному навантаженні K_y :

$$K_y = 1.08 * (\sum N_p)^{-0.063} = 1.08 * (743763)^{-0.063} = 0.461$$

Визначаємо розрахунковий опір бетону на розтяг при згині R_i^P :

$$R_i^P = B_{tb} * K_M * K_y = 4.400 * 1.200 * 0.461 = 2.433 \text{ МПа}$$

Визначаємо коефіцієнт, що враховує вплив місця розташування навантаження: $K_M = 1.50$

Визначаємо коефіцієнт, що враховує умови роботи: $K_{умв} = 0.66$

Визначаємо коефіцієнт, що враховує вплив штир'ювих з'єднань на умови контактування плит з основою: $K_{шт} = 1.00$

Визначаємо коефіцієнт, що враховує вплив температурного короблення плит: $K_t = 0.84$

Визначаємо коефіцієнт Пуассона основи: $m_0 = 0.27$

Визначаємо коефіцієнт Пуассона бетону: $m = 0.20$

Визначаємо пружню характеристику плити l_{np} :

$$l_{np} = h * \sqrt[3]{\frac{E * (1 - m_0^2)}{6 * E_0^3 * (1 - m^2)}} = 20 * \sqrt[3]{\frac{35300 * (1 - 0.27^2)}{6 * 205.956 * (1 - 0.20^2)}} = 60.43 \text{ см}$$

Визначаємо радіус відбитка колеса R :

$$R = \sqrt{\frac{Q_p}{0.1 * p * p_{ш}}} = \sqrt{\frac{84.5}{0.1 * p * 0.90}} = 17.29 \text{ см}$$

Визначаємо напруження розтягу при згині s_{pt} , що виникають в бетонному покритті:

$$s_{pt} = \frac{Q_p * K_M * 60 * K_{умв} * K_{шт}}{h^2 * K_t} * (0.0592 - 0.09284 * \ln \frac{R}{l_{np}}) =$$

$$= \frac{84.5 * 1.50 * 60 * 0.66 * 1.00}{20^2 * 0.84} * (0.0592 - 0.09284 * \ln \frac{17.29}{60.43}) = 2.620 \text{ МПа}$$

$$K_{мц} = \frac{R_i^P * K_p}{s_{pt}} = \frac{2.433 * 1.60}{2.620} = 1.4858$$

Необхідний коефіцієнт міцності $K_{мц}^{нотр} = 1.39$

$1.4858 > 1.39$ – условие прочности выполнено

$$\text{Запас міцності} = \frac{K_{мц} - K_{мц}^{нотр}}{K_{мц}^{нотр}} * 100\% = \frac{1.4858 - 1.39}{1.39} * 100\% = +6\%$$

6. Результати розрахунку дренавального шару

Матеріал дренавального шару	Пісок крупний
Вид дренажу	Площинний горизонтальний
Поперечний похил дренавального шару, ‰	25
Коефіцієнт фільтрації, м/добу.	5.00
Довжина шляху фільтрації, м	8.63
Додаткова товщина шару, см	0
Повна розрахункова товщина дренавального шару, см	28

Розрахунок товщини дренального шару

$$h_{\phi} = 0.1 * (1 + \frac{L_{\phi}}{K_{\phi}}) = 0.1 * (1 + \frac{8.63}{5.00}) = 0.28 \text{ м}$$

Таблиця 3. Характеристики міцності конструкції дорожнього одягу.

№ шару г	Найменування матеріалу шару	Розрахунок товщини шару, см	Загальний модуль пружності по шарам, Езаг, МПа	Показник міцності:			Граничне активне напруження зсуву в шарі, Тгр, МПа	Розрахункове активне напруження зсуву, Т, МПа	Граничне напруження розтягу при згині, Rзг, МПа	Розрахункове напруження розтягу в шарі, Сг, МПа	Розрахункова вологість ґрунту, Wр, частки од.	Вартість, гривні/кв.м
				критерій	розрахункове значення коеф. міцності Кмц	величина, запас (+/-),%						
1	Важкий бетон класа Bbtb 4.4	20.0	-	Розтяг	1.49	+6%	-	-	2.433	2.620	-	-
2	Щебенево-піщані суміші, укріплені цементом М75	20.0	206	Розтяг	2.85	+104%	-	-	0.500	0.175	-	-
3	Щебенево-піщана суміш С7	21.0	77	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	Розділяючий геоматеріал	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Пісок крупний	28.0	36	Зсув	37.00	+2505%	0.03004	0.00081	-	-	-	-
-	Армуючий геоматеріал	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Суглинок важкий піщанистий	-	11	-	-	-	-	-	-	-	0.878	-
Сумарна товщина конструкції:		89.0	Підсумкова вартість конструкції:									-

7. Інформація

* Товщина шару цементобетону недостатня. Мінімальна товщина за рекомендаціями: 26.0 см

Розрахункові характеристики та результати розрахунку

Еекв
МПа

20.0	Важкий бетон класа Bbtb 4.4	E = 35300 Eрозр = 1770 Bbtb = 4.4	206	2.433 МПа	Кмц=1.49 +6%	2.620 МПа
20.0	Щебенево-піщані суміші, укріплені цементом М75	E = 1000 Rи=0.500	77	0.500 МПа	Кмц=2.85 +104%	0.175 МПа
21.0	Щебенево-піщана суміш С7	E = 220				
	Розділяючий геоматеріал		36			
28.0	Пісок крупний	E = 130 F = 35.0 C = 0.004		0.03004	Кмц=37.00 +2505%	0.00081
	Армуючий геоматеріал		11			
	Суглинок важкий піщанистий	Wp = 0.878 E = 11 F = 7.0 C = 0.007				

Нр. = 89.0 см.

E, C, R - МПа; F - град.

**Розрахунок конструкції дорожнього одягу жорсткого типу
з монолітного цементобетонного покриття за методикою ГБН В.2.3-
37641918-557**

Найменування дороги	
Особливість розрахунку	Перегін
Ім'я варіанти розрахунку	Варіант 4

1. Кліматичні характеристики

Дорожньо-кліматична зона	4 захід
Підзона	У IV Г.8
Кліматичний район	А-2
Схема зволоження робочого шару	3
Кількість днів у році з позитивною температурою повітря	250
Глибина промерзання ґрунту, см	80
Кліматичний коефіцієнт a_0	50.00

2. Дані про дорогу

Загальні дані:	
Категорія дороги	II
Кількість смуг руху	1
Номер розрахункової смуги	1
Термін служби покриття, років	21
Коефіцієнт надійності	0.95
Необхідні коефіцієнти міцності за критерієм:	
- пружного прогину	1.43
- зсуву	1.42
- розтягу при згині	1.39
Профіль:	
Поперечний профіль дороги	Двосхилий
Ширина смуги руху, м	3.75
Ширина узбіччя, м	3.75

Ширина укріпленої частини узбіччя, м	0.75
Закладення укосу, 1: m	1 : 4
Висота насипу, м	1.50
Ґрунт:	
Ґрунт робочого шару	Суглинок важкий піщанистий
Розрахункова вологість ґрунту, частки од.	Обчислюється за методикою: 0.88
Комплексну характеристику В визначати:	По таблиці
Комплексна характеристика В	3.50
Коефіцієнт Пуассона основи	0.27
Джерело зволоження:	
Джерело зволоження	Верховодка
Покриття:	
Армування покриття	Немає
Коефіцієнт місця розташування навантаження	Обчислюється за методикою: 1.50
Штирі в поперечних швах	Присутні
Особливості:	
Конструктивні заходи, що знижують вологість або впливають на розрахунок дренажного шару	Не передбачені

Визначення розрахункової вологості ґрунту робочого шару.

$$W_p = (\overline{W} - D \overline{W}) * (1 + V_w * t) = (0.75 - 0.000) * (1 + 0.10 * 1.71) = 0.878$$

3. Склад автомобільного потоку

Склад руху	Відомий
Коефіцієнт зростання інтенсивності, частки од.	1.040
Склад потоку заданий	В автомобілях
Зростання інтенсивності	Загальний для потоку
Інтенсивність руху на початковий рік служби, авт/добу.	80
Інтенсивність руху на кінець перспективного проектного терміну служби, авт/добу.	182

Розрахункова добова кількість прикладень на смугу приведенного навантаження на початковий рік служби, авт/добу.	93.06
Розрахункова добова кількість прикладень на смугу приведенного навантаження на кінець останнього року служби, авт/добу.	211.71
Сумарне розрахункове число прикладень на смугу за весь термін служби, авт.	743763

Таблиця 1. Склад і характеристики автомобілів в транспортному потоці

Марка автомобіля	Вантаж., т	%	Кількість, авт.	Коеф. вантаж.	Коеф. пробігу	Зростання інт.	Коеф. привед.
VOLVO FH12 380R +KOGEL AN24P (20)	49.0	-	80	1.0	1.0	1.040	1.163

Обчислюємо загальну інтенсивність на початковий рік служби:

$$N_0 = \sum N_{0m} = 80 = 80 \text{ авт/добу}$$

Обчислюємо розрахункову інтенсивність на кінець перспективного проектного терміну служби:

$$N = N_0 * q^t = 80 * 1.040^{21} = 182 \text{ авт/добу}$$

Обчислюємо інтенсивність, приведену до розрахункового навантаження на початковий рік служби:

$$N_{1p} = f_1 * f_2 * N_0 * \sum (d_n * S_n) = 1.00 * 1.0 * 80 *$$

$$(1.000 * 1.163) = 93.06 \text{ авт/добу}$$

Обчислюємо інтенсивність, наведену до розрахункового навантаження на кінець перспективного проектного терміну служби:

$$N_p = f_1 * f_2 * N * \sum (d_n * S_n) = 1.00 * 1.0 * 182 *$$

$$(1.000 * 1.163) = 211.71 \text{ авт/добу}$$

Обчислюємо сумарну розрахункову число прикладень розрахункового навантаження при добовій інтенсивності N_{1p} :

$$N_{pt} = N_{1p} * n_c * \frac{(q^t - 1)}{(q - 1)} = 93.06 * 250 * \frac{(1.040^{21} - 1)}{(1.040 - 1)} = 743763 \text{ авт.}$$

4. Розрахункове навантаження

Навантаження визначається	по ДБН В.2.3-4
Розрахункове навантаження	Стандартна
Вид розрахункового навантаження	Динамічна
Тип колеса	Двобалоних
Нормативне статичне навантаження на вісь, Qрозр/вісь кН	130.00
Тиск в шинах p, МПа	0.90
Діаметр штампа D, м	0.3460

Визначення параметрів розрахункового навантаження:

Розрахунок динамічного навантаження:

$$Q_{розр} = Q_i * K_{дин} = 65.00 * 1.3 = 84.50 \text{ кН}$$

Розрахунок діаметра штамп:

$$D = 0.01 * \sqrt{\frac{40 * Q_{розр}}{p * p}} = 0.01 * \sqrt{\frac{40 * 84.50}{p * 0.90}} = 0.3460 \text{ м}$$

5. Конструкція дорожнього одягу

Таблиця 2. Конструкція дорожнього одягу

№ шару г	Найменування матеріалу шару	Товщина шару, см		Модуль пружності, МПа			Середнє значення межі міцності на розтяг при згині R, МПа	Коефіцієнт m	Коефіцієнт Kпр	Вологість, Wр, частки од.	Коефіцієнт Kз	Зчеплення, С, МПа		Кут внутрішнього тертя, F, град		Щільність, р, кг/куб.м.
		Мінім альна, hmin	Макси мальна, hmax	Пружний прогин, E	Зсув, Eзс	Згин, Eр						динаміка	статика	динаміка	статика	
1	Важкий бетон класа Bbtb 4.4	22.0	22.0	35300	1770	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	2400
-	Розділяючий геоматеріал	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Матеріал за технологією холодного ресайклінгу з додаванням мінеральних матеріалів, укріплені цементом М60	30.0	30.0	970	-	970	0.550	-	-	-	-	-	-	-	-	2000
3	Пісок крупний	-	-	130	-	-	-	-	-	-	7.00	0.004	0.004	35.0	35.0	2000
-	Армуючий геоматеріал	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Суглинок важкий піщанистий	-	-	11	-	-	-	-	-	0.878	0.00	-	-	-	-	2000

Розрахунок конструкції дорожнього одягу за допустимим пружним прогином.

1) Розрахунок виконується для шару Пісок крупний

(Розрахунок виконаний за номограмою ГБН В.2.3-37641918-559)

$$\frac{E_H}{E_6} = \frac{E_{нид}}{E_2} = \frac{11.31}{130.00} = 0.09; \quad \frac{h_6}{D} = \frac{27.0}{34.60} = 0.78; \quad \frac{E_{2екв}}{E_2} = 0.271; \quad E_{2екв} = 0.271 * 130.00 = 35.17 \text{ МПа};$$

2) Розрахунок виконується для шару Матеріал за технологією холодного ресайклінгу з додаванням мінеральних матеріалів, укріплені цементом М60

(Розрахунок виконаний за номограмою ГБН В.2.3-37641918-559)

$$\frac{E_H}{E_3} = \frac{E_{нид}}{E_3} = \frac{35.17}{970.00} = 0.04; \quad \frac{h_6}{D} = \frac{30.0}{34.60} = 0.87; \quad \frac{E_{3екв}}{E_3} = 0.155; \quad E_{3екв} = 0.155 * 970.00 = 150.09 \text{ МПа};$$

Розрахунок за умовою зсувостійкості робочого шару земляного полотна і шарів із незв'язних матеріалів.

1) Розрахунок виконується для шару Пісок крупний

Модуль пружності верхнього шару моделі обчислюють як середньозважений

$$E_6 = \frac{E_1 * h_1 + E_2 * h_2}{h_1 + h_2} = \frac{1770 * 22.0 + 970 * 30.0}{22.0 + 30.0} = 1308.46 \text{ МПа}$$

За відношеннями: $\frac{E_6}{E_H} = \frac{1308.46}{35.17} = 37.21$ и $\frac{h_6}{D} = \frac{52}{34.60} = 1.50$

за допомогою номограми знаходимо питоме активне напруження зсуву від одиничного навантаження:

$$\bar{t}_a = 0.00470 \text{ МПа}$$

Діючі активні напруження зсуву:

$$T = t_n + t_v = 0.0042 + -0.00286 = 0.00137 \text{ МПа}$$

$$\text{де } t_n = t_a * p = 0.00470 * 0.90 = 0.0042 \text{ МПа}$$

$$t_v = 0.00001 * (5 - 0.3 * j) * (h_1 + h_2) = 0.00001 * (5 - 0.3 * 35.0) * (22.0 + 30.0) = -0.00286 \text{ МПа}$$

Граничне активне напруження зсуву:

$$T_{gp} = C_{gp} * k_1 * k_2 * k_3 = 0.004 * 1.0 * 1.073 * 7.0 = 0.03004 \text{ МПа}$$

$$\text{де } k_2 = 1.816 - 0.15 * \ln\left(\frac{\sum N_p}{T_{gp} * T_{сл}}\right) = 1.816 - 0.15 * \ln(743763 / (250 * 21)) = 1.073 \text{ МПа}$$

$$K_{мц} = \frac{T_{gp}}{T} = \frac{0.03004}{0.00137} = 21.9173$$

Необхідний коефіцієнт міцності $K_{мц}^{потр} = 1.42$

$21.9173 > 1.42$ - умова виконана

$$\text{Запас міцності} = \frac{K_{мц} - K_{мц}^{потр}}{K_{мц}^{потр}} * 100\% = \frac{21.9173 - 1.42}{1.42} * 100\% = +1443\%$$

Розрахунок монолітного цементобетонного покриття.

Визначаємо коефіцієнт втоми бетону при повторному навантаженні K_y :

$$K_y = 1.08 * (\sum N_p)^{-0.063} = 1.08 * (743763)^{-0.063} = 0.461$$

Визначаємо розрахунковий опір бетону на розтяг при згині R_i^P :

$$R_i^P = V_{tb} * K_M * K_y = 4.400 * 1.200 * 0.461 = 2.433 \text{ МПа}$$

Визначаємо коефіцієнт, що враховує вплив місця розташування навантаження: $K_M = 1.50$

Визначаємо коефіцієнт, що враховує умови роботи: $K_{умв} = 0.66$

Визначаємо коефіцієнт, що враховує вплив штир'євих з'єднань на умови контактування плит з основою: $K_{цт} = 1.00$

Визначаємо коефіцієнт, що враховує вплив температурного короблення плит: $K_t = 0.79$

Визначаємо коефіцієнт Пуассона основи: $m_0 = 0.27$

Визначаємо коефіцієнт Пуассона бетону: $m = 0.20$

Визначаємо пружню характеристику плити l_{np} :

$$l_{np} = h * \sqrt[3]{\frac{E * (1 - m_0^2)}{6 * E_0^3 * (1 - m^2)}} = 22 * \sqrt[3]{\frac{35300 * (1 - 0.27^2)}{6 * 150.094 * (1 - 0.20^2)}} = 73.87 \text{ см}$$

Визначаємо радіус відбитка колеса R :

$$R = \sqrt{\frac{Qp}{0.1 * p * p_{ш}}} = \sqrt{\frac{84.5}{0.1 * p * 0.90}} = 17.29 \text{ см}$$

Визначаємо напруження розтягу при згині s_{pt} , що виникають в бетонному покритті:

$$s_{pt} = \frac{Qp * K_m * 60 * K_{умв} * K_{цт}}{h^2 * K_t} * (0.0592 - 0.09284 * \ln \frac{R}{l_{np}}) =$$
$$= \frac{84.5 * 1.50 * 60 * 0.66 * 1.00}{22^2 * 0.79} * (0.0592 - 0.09284 * \ln \frac{17.29}{73.87}) = 2.547 \text{ МПа}$$

$$K_{мц} = \frac{R_i^p * K_p}{s_{pt}} = \frac{2.433 * 1.60}{2.547} = 1.5284$$

Необхідний коефіцієнт міцності $K_{мц}^{нотр} = 1.39$

$1.5284 > 1.39$ – условие прочности выполнено

$$\text{Запас міцності} = \frac{K_{мц} - K_{мц}^{нотр}}{K_{мц}^{нотр}} * 100\% = \frac{1.5284 - 1.39}{1.39} * 100\% = +9\%$$

6. Результати розрахунку дренавального шару

Матеріал дренавального шару	Пісок крупний
Вид дренажу	Площинний горизонтальний
Поперечний похил дренавального шару, ‰	25
Коефіцієнт фільтрації, м/добу.	5.00
Довжина шляху фільтрації, м	8.25
Додаткова товщина шару, см	0
Повна розрахункова товщина дренавального шару, см	27

Розрахунок товщини дренавального шару

$$h_{\phi} = 0.1 * (1 + \frac{L_{\phi}}{K_{\phi}}) = 0.1 * (1 + \frac{8.25}{5.00}) = 0.27 \text{ м}$$

Таблиця 3. Характеристики міцності конструкції дорожнього одягу.

№ шару г	Найменування матеріалу шару	Розрахунок товщини шару, см	Загальний модуль пружності по шарам, Езаг, МПа	Показник міцності:			Граничне активне напруження зсуву в шарі, Тгр, МПа	Розрахункове активне напруження зсуву, Т, МПа	Граничне напруження розтягу при згині, Rзг, МПа	Розрахункове напруження розтягу в шарі, Gr, МПа	Розрахункова вологість ґрунту, Wр, частки од.	Вартість, гривні/кв.м
				критерій	розрахункове значення коеф. міцності Кмц	величина, запас (+/-),%						
1	Важкий бетон класа Bbtb 4.4	22.0	-	Розтяг	1.53	+9%	-	-	2.433	2.547	-	-
-	Розділяючий геоматеріал	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Матеріал за технологією холодного ресайклінгу з додаванням мінеральних матеріалів, укріплені цементом М60	30.0	150	Розтяг	4.30	+209%	-	-	0.550	0.128	-	-
3	Пісок крупний	27.0	35	Зсув	21.92	+1443%	0.03004	0.00137	-	-	-	-
-	Армуючий геоматеріал	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Суглинок важкий піщанистий	-	11	-	-	-	-	-	-	-	0.878	-
Сумарна товщина конструкції:		79.0	Підсумкова вартість конструкції:									-

7. Інформація

* Товщина шару цементобетону недостатня. Мінімальна товщина за рекомендаціями: 26.0 см

Розрахункові характеристики та результати розрахунку

Еекв
МПа

Нр. = 79.0 см.	22.0	Важкий бетон класа Bbtb 4.4	E = 35300 Ерозр = 1770 Bbtb = 4.4		2.433 МПа	Кмц=1.53 +9%	2.547 МПа	
		Розділяючий геоматеріал		150				
	30.0	Матеріал за технологією холодного ресайклінгу з додаванням мінеральних матеріалів, укріплені цементом М60	E = 970 Rи=0.550		35	0.550 МПа	Кмц=4.30 +209%	0.128 МПа
	27.0	Пісок крупний	E = 130 F = 35.0 C = 0.004			0.03004	Кмц=21.92 +1443%	0.00137
		Армуючий геоматеріал			11			
		Суглинок важкий піщанистий	Wp = 0.878 E = 11 F = 7.0 C = 0.007					

Е, С, R - МПа; F - град.