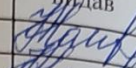

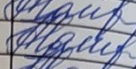

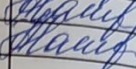

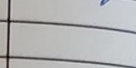

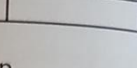







## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Данкевич Н.О., к.т.н., доц.		
Розділ 2	Данкевич Н.О., к.т.н., доц.		
Розділ 3	Данкевич Н.О., к.т.н., доц.		
Розділ 4	Данкевич Н.О., к.т.н., доц.		
Розділ 4	Данкевич Н.О., к.т.н., доц.		

7. Дата видачі завдання

02 червня 2022 р.

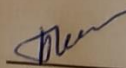
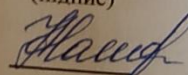
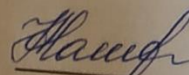
## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1.	Аналіз стану проблем при експлуатації цементобетонного покриття автомобільних доріг	10.09.2022	
2.	Конструктивно-технологічні основи цементобетонного покриття автомобільних доріг	30.09.2022	
3.	Розробка технологічної карти на улаштування цементобетонного покриття автомобільної дороги	28.10.2022	
4.	Технологічні особливості при виконання ремонтних робіт цементобетонного покриття	20.11.2022	
5.	Розрахунок техніко-економічного обґрунтування цементобетонного покриття автомобільної дороги з морозостійким модифікованим захисним шаром	25.12.2022	
5.	Оформлення та підготовка до захисту	25.01.2022	

Студент

Керівник роботи/проекту

Нормоконтроль пройдено

  
(підпис)Пінчук В.П.  
(прізвище та ініціали)  
(підпис)Данкевич Н.О.  
(прізвище та ініціали)  
(підпис)Данкевич Н.О.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Пінчук В.П. Обґрунтування технології будівництва доріг з важкого бетону з морозостійким модифікованим захисним шаром.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник Н.О. Данкевич. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебня, кафедра промислово та цивільного будівництва, 2022.

В роботі проаналізовано досвід будівництва і експлуатації доріг з жорсткими дорожніми покриттями, а також методи управління структурою і властивостями цементобетонних дорожніх покриттів для забезпечення їх довговічності в типових умовах експлуатації. З'ясовано, що отримання бетонів з високою міцністю та довговічністю при забезпеченні достатньої рухомості суміші можливе при використанні ефективних модифікаторів. Визначено, що найбільш перспективним напрямком застосування технології морозостійких бетонів із модифікованим захисним шаром є будівництво двошарових бетонних доріг.

Ключові слова: автомобільні дороги, цементобетонне покриття, довговічність, міцність, морозостійкість, будівельно-експлуатаційні властивості.

Список публікацій магістранта:

1. Данкевич Н.О., Пінчук В.П. Обґрунтування технології будівництва доріг з важкого бетону з морозостійким модифікованим захисним шаром. *Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України: зб. тез всеукр. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 18-20 жовт. 2022р. Запоріжжя, 2022. С. 363-364*



## ABSTRAKT

Pinchuk V.P. Substantiation of technology of roads construction from heavy concrete with a frost-resistant modified protective layer.

Qualifying final work for obtaining a higher education master's degree in specialty 192 Construction and civil engineering, scientific supervisor N.O. Dankevych. Zaporizhzhya National University, Y.M Potebnya Engineering Educational and Scientific Institute, Department of Industrial and Civil Engineering, 2022.

The paper analyzes the condition of life and operation of roads with hard road surfaces, as well as methods for managing the structure and authority of cement concrete road surfaces to ensure their durability in typical operating conditions. It has been stated that the selection of concrete with a high quality and durability with a safe, sufficient dryness is possible with a victorious effective modifier. It is indicated that the most promising direct application of the technology of frost-resistant concrete from a modified frost ball is the construction of two-ball concrete roads.

Keywords: automobile roads, cement-concrete pavement. dovgovichnist, mitsnist, morozostiykist, . budivelno-exploitation authorities.

List of postgraduate publications

1. Данкевич Н.О., Пінчук В.П. Обґрунтування технології будівництва доріг з важкого бетону з морозостійким модифікованим захисним шаром. *Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України: зб. тез всеукр. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 18-20 жовт. 2022р. Запоріжжя, 2022. С. 363-364*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ.....	11
1.1 Вітчизняний і закордонний досвід будівництва доріг із одягом жорсткого типу.....	11
1.2 Причини та види утворення тріщин в цементобетонному покритті автомобільних доріг.....	17
1.3 Оцінку експлуатаційного стану цементобетонних покриттів	23
2 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ.....	30
2.1 Конструктивні особливості дорожніх цементобетонних покриттів та основ.....	30
2.2 Технологічні рішення та основні машини для виконання цементобетонного покриття.....	36
2.2.1 Приготування та транспортування бетонної суміші.....	36
2.2.2 Додатки для підвищення морозостійкості бетону.....	39
2.2.3 Методи укладання цементобетонних покриттів.....	41
3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КАРТИ НА УЛАШТУВАННЯ ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ....	57
3.1 Галузь застосування.....	57
3.2 Вказівки до виконання робіт .....	58
3.3 Вказівки до організації праці.....	66
3.4 Розрахунок калькуляції трудових витрат та проектування графіка виконання робіт з улаштування одношарового цементобетонного покриття .....	72
3.5 Основні техніко-економічні показники.....	76
3.6 Матеріально-технічні ресурси.....	76

4	ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПРИ ВИКОНАННЯ РЕМОНТНИХ РОБІТ ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ.....	79
4.1	Ремонт поверхневого шару цементобетонного покриття.....	79
4.2	Призначення та обґрунтування технології капітального ремонту цементобетонних покриттів.....	88
5	РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ОБґРУНТУВАННЯ ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ З МОРОЗОСТІЙКИМ МОДИФІКОВАНИМ ЗАХИСНИМ ШАРОМ.....	92
5.1	Практичне застосування розроблених математичних моделей у технологічних розрахунках.....	92
5.2	Визначення техніко-економічної ефективності технології будівництва доріг з важкого бетону з морозостійким модифікованим захисним шаром.....	100
	ВИСНОВКИ.....	102
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	104

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження:** В даний час на існуючих дорогах в Україні та за кордоном поширена ситуація, коли конструкція дорожнього покриття не відповідає вимогам щодо довговічності та несучої здатності. Це пов'язано з постійним збільшенням інтенсивності руху транспорту (особливо в Україні та країнах СНД), заторами вантажів, появою нових типів транспортних засобів із підвищеним навантаженням на вісь. Наслідком такої ситуації є швидке руйнування дорожніх покриттів, формування колії. При цьому доводиться частіше ремонтувати покриття нежорсткого дорожнього одягу, скорочуються міжремонтні терміни, тому збільшуються витрати на утримання та подальший ремонт дорожнього одягу [1,2,3]

У розвинених країнах для поліпшення цієї ситуації розробка та застосування нових технологій, що дозволяють або швидко відремонтувати покриття існуючих доріг, або побудувати шари покриття з підвищеними характеристиками міцності, з більшою довговічністю. Головним напрямком може бути різні модифікації технологій регенерації та переробки, коли за один прохід верхній шар зруйнованого покриття обробляється з додаванням невеликої кількості нових дорожньо-будівельних матеріалів.

Найбільш перспективним напрямом застосування технології морозостійких бетонів із модифікованим захисним шаром є будівництво двошарових бетонних доріг та аеродромних покриттів.

Цементобетонні покриття та основи автомобільних доріг відносяться до одного з найбільш довговічних типів конструкцій.

Розрахунковий термін служби бетонних доріг становить 30...40 років, за мінімальних експлуатаційних витрат за їх утримання. В Україні її розрахунковий термін служби цементобетонних покриттів становить 20...25 років.



Найважливішим властивістю дорожнього бетону є його деформативність, що характеризує здатність бетону деформуватися під впливом навантажень та температури.

В даний час асфальтобетонне покриття за вартістю виявилось порівнянним з бетонним, але з урахуванням підвищених термінів служби монолітний бетон виявився значно вигіднішим. При цьому збереглися всі переваги жорстких покриттів перед жорсткими.

Жорсткі дорожні покриття мають багато експлуатаційних переваг, основними з яких є відсутність колійності та більша довговічність в порівнянні з асфальтобетонними покриттями. Цементобетонне покриття розподіляє навантаження на більшу площу земляного полотна в порівнянні з більш «гнучким» асфальтобетоном, в темний час доби відбиває світло краще ніж асфальт, що забезпечує хорошу видимість для водіїв.

Аналізуючи вітчизняний та зарубіжний досвід, слід зазначити, що лише цементобетонні покриття (ЦБ) здатні служити не вимагаючи ремонту до 50 років. Необхідними умовами є дотримання діючих будівельних норм у процесі проектування та будівництва та точне дотримання всіх технологічних правил у процесі експлуатації.

Збільшення обсягів будівництва доріг з цементобетонними покриттями та основами у перспективі, у міру збільшення їх частки у загальній протяжності доріг, дозволить скоротити витрати на ремонт дорожніх покриттів за рахунок запобігання колії та загальному підвищенню термінів служби».

Зростаючим вимогам руху, особливо на вантажонапружених магістралях, як показує вітчизняний та світовий досвід, найбільше відповідають цементобетонні покриття.

Висока довговічність таких покриттів та знижені витрати на їх утримання визначають більш високу ефективність порівняно із звичайними покриттями.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення важливої науково-практичної задачі – підвищення довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг за рахунок використання важкого бетону з морозостійким модифікуючим захисним шаром з урахуванням спільного впливу усадки цементобетону, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

**Метою магістерської роботи:** є аналіз і обґрунтування доцільності використання важкого бетону з морозостійким модифікуючим захисним шаром для будівництва та ремонту автомобільних доріг для підвищення експлуатаційної надійності.

Для досягнення поставленої в процесі дослідження мети вирішені **наступні завдання:**

- 1) Проаналізувати вітчизняний та закордонний досвід будівництва доріг із одягом жорсткого типу;
- 2) Визначити причини та види утворення тріщин в цементобетонному покритті автомобільних доріг;
- 3) Розглянути конструктивно-технологічну структуру цементобетонного покриття автомобільних доріг;
- 4) Розробити технологічну карту на улаштування цементобетонного покриття автомобільної дороги;
- 5) Проаналізувати технологічні особливості при виконання ремонтних робіт цементобетонного покриття;
- 6) Техніко-економічного обґрунтування використання цементобетонного покриття автомобільної дороги з морозостійким модифікованим захисним шаром.

**Об'єктом дослідження:** експлуатаційні властивості жорсткого дорожнього покритті з морозостійким модифікуючим захисним шаром.

**Предмет дослідження** – закономірності впливу морозостійкого бетону з модифікуючим захисним шаром на підвищення довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг.

**Методами дослідження послужили:** фізико-механічні характеристики модифікованих бетонів, аналітичні, стандартизовані та спеціальні методики дослідження властивостей цементобетонну, методів дослідження утворення тріщини в цементобетонному покритті автомобільних доріг; числового моделювання; математичної статистики.

**Наукова новизна:** проаналізовано та обґрунтовано метод оцінки довговічності цементобетонного покриття на автомобільних дорогах з використанням морозостійкого модифікованого захисного шару, що дозволяє проектувати цементобетонне покриття підвищеної довговічності із заданим строком служби.

**Практична цінність:** полягає в тому, що на підставі аналізу та техніко-економічного обґрунтування підтверджена економічна ефективність використання важкого бетону з морозостійким модифікованим захисним шаром, який дозволяє проектувати цементобетонне покриття на автомобільних дорогах підвищеної довговічності із заданим строком служби.

**Апробація результатів магістерської роботи.** Основні положення роботи докладалися в 2022 році на всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» (Запоріжжя, 2022р.) за результатами якої опублікована збірка тез доповідей.

**Структура і об'єм магістерської роботи.** Магістерська робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел. Повний об'єм магістерської роботи складає 107 сторінок тексту, у тому числі 17 рисунки, 12 таблиць. Список використаних джерел містить 36 найменування.

# 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

## 1.1 Вітчизняний і закордонний досвід будівництва доріг із одягом жорсткого типу

В даний час на існуючих дорогах в Україні та за кордоном поширена ситуація, коли конструкція дорожнього покриття не відповідає вимогам щодо довговічності та несучої здатності. Це пов'язано з постійним збільшенням інтенсивності руху транспорту (особливо в Україні та країнах СНД), заторами вантажів, появою нових типів транспортних засобів із підвищеним навантаженням на вісь.

Розвиток дорожньої інфраструктури передбачає будівництво сучасних автомагістралей з високими транспортно-експлуатаційними характеристиками, що є надзвичайно актуальним завданням для безпеки і комфорту перевезення пасажирів і вантажів [18,19].

За даними професора Гамеляка І.П. в Україні, як і в усьому світі спостерігається динамічне зростання інтенсивності руху (більш ніж у два рази за десять років) та навантаження на вісь (з 60 - 100 кН до 115 - 130 кН) та тиску в пневматику (з 0,45 - 0,60 МПа до 0,85 - 0,90 МПа) [1-3, 18].

Зараз в Україні найбільш розповсюджене будівництво дорожніх одягів не жорсткого типу і сягає 35,20 % мережі доріг згідно [14]. Необхідно враховувати той фактор, що клімат в останні роки характеризується наявністю влітку тривалого періоду, коли температура повітря перевищує + 30°C, +35°C [2]. За таких умов асфальтобетон нагрівається до температури вище + 60°C ...+ 65°C, при тому, що розрахункова температура асфальтобетонних шарів згідно з нормами на проектування нежорстких дорожніх одягів не перевищує + 40 °С, а температура випробувань навіть в

діючому стандарті на асфальтобетон обмежена  $+ 50^{\circ}\text{C}$  [2]. При таких умовах модуль пружності асфальтобетонного покриття знижується, що є однією із причин можливості утворення колій і виникнення супутніх дефектів [2].

Наслідком такої ситуації є швидке руйнування дорожніх покриттів, формування колій. У промислово розвинених країнах (США, Канада, Австралія, Великобританія, Німеччина, Швеція, Франція, Норвегія, Іспанія та багато інших) розширюється будівництво дорожніх покриттів із твердих бетонних сумішей, що ущільнюються укочуванням бетону.

Тому рішенням цієї проблеми може стати будівництво доріг із цементобетонним покриттям

Вітчизняний і закордонний досвід будівництва доріг із одягом жорсткого типу підтверджує перспективність широкого впровадження цементних бетонів, як матеріалу покриття, для забезпечення надійної та безвідмовної їх експлуатації протягом тривалого періоду при незначних витратах на утримання. Закордоном розрахунковий період експлуатації покриттів жорсткого типу становить 35–50 років, в Україні - 25–40 років.

До переваг жорстких дорожніх одягів можна віднести:

- високу міцність цементобетону (у 5–7 разів) і загальну жорсткість покриття порівняно з асфальтобетоном;
- значну довговічність цементобетону;
- зростання міцності цементобетону у часі за рахунок поглиблення гідратації цементу;
- високу корозійну стійкість, морозостійкість і водонепроникність при застосуванні сучасних хімічних добавок;
- доступне обладнання для швидкісного будівництва бетонного покриття з високими показниками рівності;
- досить стабільний показник коефіцієнта зчеплення цементобетонного покриття з колесами автомобіля і слабкою залежністю його від ступеня зволоження;

- більш низькі витрати на експлуатацію (покриття майже не потребує утримання, крім догляду за швами);

- здатність бетонної плити розподіляти навантаження від транспортних засобів на велику площу дозволяє використовувати її при будівництві на слабких ґрунтах, на дорогах, матеріал основи яких має незначний модуль деформації, на високих насипах;

- підвищена безпека руху за рахунок кращих кольорових показників видимості поверхні під час поганих умов проїзду (число ДТП на 32 % менше порівняно з асфальтобетоном).

Проте, такі недоліки, як висока ймовірність утворення тріщин у бетонних плитах та їх відображення з шарів основи на шари покриття, високі капітальні витрати на будівництво, неможливість відкриття руху відразу після будівництва - необхідність витримування 14 діб до набору від 70 % до 75 % міцності та 28 діб до отримання марочної міцності, високий рівень шуму і вібрації при проїзді транспортного засобу, необхідність влаштування температурних і робочих швів, не технологічність при ремонті стримують впровадження цементних бетонів у практику дорожнього будівництва. Більшість перерахованих недоліків можна усунути використовуючи сучасні матеріали та технології.

В Україні недостатньо виробляється бітуму, на даний час 80 % бітуму є імпортованим матеріалом [2,3,18]. Натомість за даними [6] в Україні налічується 12 цементних заводів, які в повній мірі здатні забезпечувати будівництво доріг з цементобетонним покриттям. Згідно [4] за оцінками UIF будівництво 1000 км в рік цементобетонних доріг може забезпечити зростання ВВП до 2030 року від 8,5 до 19,4 млрд. дол. Через 20 років ефект буде становити до 31 млрд. дол. [2,3,18]. У ДБН В.2.3-4 зазначено, що при проектуванні дорожнього одягу для автомобільних доріг, на яких у складі транспортних потоків очікується понад 15 % великовантажних транспортних засобів, параметри навантаження від яких перевищують розрахункові (зерновози, контейнеровози, рефрижератори тощо) на таких дорогах



необхідно передбачати лише жорсткий дорожній одяг [14]. Перша дослідна ділянка дорожнього цементобетонного покриття довжиною 45 м була влаштована в 1865 році в Шотландії в місті Inverness (Joseph Mitchell), а згодом в місті Единбург. Згідно даними [18] до першої декади ХХ століття в Європі практично не будували цементобетонні дороги. Лідером за кількістю цементобетонних доріг є США, де вони складають близько 60% від загальної протяжності [18]. Перша американська «бетонка» була влаштована J.Y. McClintock в м. Рочестері (шт. Нью-Йорк) в 1893 році [18]. Проте через 2,5 роки дане покриття зруйнувалося. За даними J.Y. McClintock причиною руйнування були хаотичні тріщини в результаті дії температури та дії навантаження від дії підков коней [18]. В 1891 році в місті Белфонтейн, штат Огайо George Bartholomew влаштував першу експериментальну ділянку цементобетонного покриття на пішохідній доріжці вздовж Main Street, а через три роки покриття на вулиці Court Street [18]. Влаштоване цементобетонне покриття було двошаровим, із плит 1,5×1,5 м, які відокремлені папером, змоченим дьогтем. Довжина ділянки 67 м, ширина - 3 м. Нижній шар було влаштовано із цементобетону, товщиною 10 см. Покриття на вулиці Court Street, яке влаштовано у 1894 році зберіглося і по цей день згідно даних [18]. Перші цементобетонні покриття доріг були товщиною 15 см та мали деформаційні шви. Активне будівництво бетонних доріг почалося на початку 50-х років минулого століття. Згідно з вимогами Міністерства Транспорту США (U.S. Department Of Transportation (US DOT)) дороги категорій Interstate Highways (індекс I), US Highways (індекс US) їх необхідно було влаштовувати із цементобетону [18]. При цьому для різних регіонів технології будівництва дещо відрізнялися так як при цьому враховували кліматичні та сейсмічні особливості місцевості. Переїнявши досвід США, в Японії, Китаї, Індії, Австралії та деяких країнах Європи активно почали будувати дороги з цементобетону. Наприклад, в Китаї за останні 15 років влаштували більше 70 000 кілометрів цементобетонних доріг. У Німеччині 25 % автомагістралей мають цементобетонне покриття; в

Австрії приблизно 2/3 протяжності магістральних доріг (motorways) мають цементобетонне покриття. У Бельгії, цементобетонні шосе складають 40 %, а доля місцевих доріг побудованих за цементобетонною технологією складає близько 60 %. В Білорусії при будівництві другої Мінської кільцевої дороги (МКАД-2) в якості покриття використовували цементобетон. Проте в Україні протяжність автомобільних доріг із цементобетонним покриттям складає близько 2400 км, в той час як загальна протяжність доріг загального користування складає близько 170 тис. км, тобто 1,4 % від мережі [2 - 4, 11, 18]. Аналізуючи світовий досвід будівництва доріг з цементобетонним покриттям [2-4,11,18] основними перевагами у порівнянні з асфальтобетонними покриттями є: більша міцність (в 3...5 разів), значна довговічність; можливість цементобетону нарощувати міцність з часом в 1,12 рази за 10 років або 1,21 рази за 20 років; відсутність явища колійності [18]; наявність вітчизняної сировини; менше нагрівання за рахунок світлої поверхні; можливість переробки та повторного використання тощо [15], підвищена безпека руху за рахунок кращих кольорових показників огляду поверхні під час поганих умов проїзду, в тому числі у ночі (число ДТП на 32 % менша у порівнянні з асфальтобетоном за рахунок відбивання світла фар бетонним покриттям) [15]; більш низькі витрати на експлуатацію (покриття майже не потребує утримання крім догляду за швами) [15]. Недоліки доріг з цементобетонним покриттям: покриття потребує високої культури під час технології влаштування, великі фінансові затрати на проведення ремонту, наявність швів, складність зимового утримання [11,18]. Аналізуючи світовий досвід будівництва цементобетонних доріг набули поширення три типи монолітних цементобетонних покриттів [3]: цементобетон з поперечними швами на відстані близько 5 м один від одного зі сталевими штирями в поперечних швах і з анкерними штирями в поздовжніх (JPCP – Jointed plain concrete pavement) – цементобетонні покриття звичайного типу [3,18]; армований цементобетон (залізобетон) з поперечними швами на відстані від 9 до 12 м зі сталеву сіткою, яка повинна стримувати розкриття поперечних

тріщин, і зі сталевими штирями в поперечних швах і з анкерними штирями в поздовжніх (JRCP Jointed reinforced concrete pavement) та неперервноармований цементобетон без поперечних швів, у якому арматури більше, ніж в армованому цементобетоні (CRCP – Continuously reinforced concrete pavement) [3,11]. Велика кількість поздовжньої арматури впливає на відстань між виникаючими поперечними волосяними тріщинами. Часто такий вид покриття армують і в поперечному напрямку [3]. Товщина такого виду покриття зазвичай рівна 85-90% від товщини цементобетонних покриттів звичайного типу для тих же умов роботи [3]. Дорожній одяг жорсткого типу із покриттям з монолітного цементобетону, як правило, у загальному випадку, має наступні конструктивні шари: покриття, вирівнюючий шар, основа та додаткові шари основи, що виконують морозозахисні дренажні і теплоізолюючі функції [18]. За кількістю шарів покриття може складатися із одного або двох шарів [18]. Цементобетонне покриття автомобільних доріг переважно влаштовують одношарове товщиною 18 - 30 см в залежності від категорії автомобільної дороги [18].

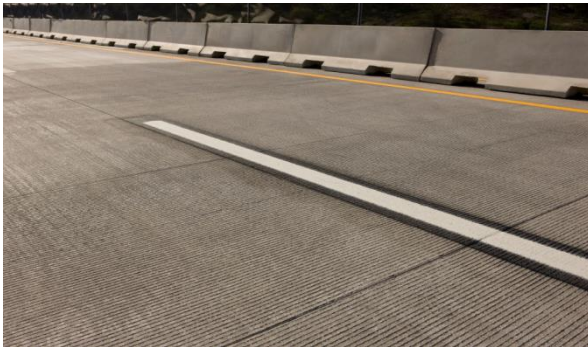


Рисунок 1.1 – Улаштування цементобетонного покриття

На основі аналізу зарубіжного досвіду будівництва цементобетонних доріг та встановлено, що в якості основи використовують пісний цементобетон, пористий асфальтобетон, щебенево-піщані суміші, фракціонований щебінь. У Канаді найбільш поширеним є застосування в якості основи високопористого асфальтобетону, натомість у Європі -

щільного асфальтобетону або щебенево-піщаної суміші, укріпленої цементом. Застосування в якості основи ґрунту укріпленого цементом більше не рекомендують використовувати в ряді штатів США і Європі, зокрема, і у Німеччині. Раніше в Німеччині прагнули забезпечити зчеплення між цементобетоном і основою, що містила цемент [11]. Наразі, навпаки, з метою відокремлення цементобетонного покриття від укріпленої цементом основи застосовують тонкий шар гарячої асфальтобетонної суміші або полотно з геотекстиля товщиною близько 5 мм.

В Україні в якості покриття застосовують цементобетон з поперечними швами на відстані близько 4,5 м один від одного зі сталевими штирями в поперечних швах і з анкерними штирями в поздовжніх. В якості основи застосовують ґрунт укріплений цементом, піщано-щебеневої суміші, оброблені цементом та з метою відокремлення від цементовмісної основи застосовують геотекстиль або плівки товщиною від 3 до 5 мм [3].

## **1.2 Причини та види утворення тріщин в цементобетонному покритті автомобільних доріг**

Цементобетонні покриття автомобільних доріг у процесі експлуатації під впливом транспортних навантажень та природно-кліматичних факторів поступово зношуються. Руйнування покриттів, як правило, має місце у випадках, коли напруги та деформації, що виникають у плитах, перевищують допустимі значення. До характерних деформаціям та руйнуванням цементобетонних покриттів відносять: утворення тріщин, відколи кутів і країв плит, луцення поверхневого шару бетону, поява вибоїн та раковин, вертикальні зміщення плит та їх короблення, руйнування стикових з'єднань та заповнювачів швів.

Для забезпечення необхідного транспортно-експлуатаційного стани цементобетонних покриттів організують дорожню службу, оснащену спеціальними машинами, механізмами та інструментами. Ремонт покриттів складається з підготовчих та основних робіт. Підготовчі роботи включають підвіз та складування ремонтних матеріалів, забезпечення необхідним комплектом інструментів, машин та механізмів, підготовку ділянки покриття для ремонту. До основних робіт відносять приготування ремонтних матеріалів, їх розподіл та остаточну обробку, обробку та догляд за відремонтованими ділянками покриття; контроль якості робіт. Види та склад робіт, що виконуються дорожньою службою, визначено чинною класифікацією робіт з ремонту та утримання автомобільних доріг.

Зарубіжний досвід будівництва доріг із цементобетонним покриттям декларує довговічність таких доріг 30 - 50 років [2-4, 11,18], а вітчизняні будівельні норми [18] в залежності від категорії дороги 18 – 23 роки. Проте внаслідок комплексної дії усадки, зміни температури та дії навантаження на покриття і невідповідності цементобетону умовам експлуатації, в таких випадках руйнування може відбутися значно раніше спрогнозованого терміну служби цементобетонного покриття автомобільних доріг [13]. Сучасні дослідження, проведені в різних країнах, в тому числі і в Україні, показали, що деякі види цементобетону (наприклад - пропарені) дають приріст міцності тільки протягом 1 року. У решти цементобетонів спостерігається приріст міцності тільки протягом перших п'яти років. Все частіше фіксуються випадки зниження міцності цементобетонів в часі [16]. Встановлено, що умови твердіння дійсно впливають на кінетику росту міцності в часі.

Під впливом транспортних навантажень і природно-кліматичних чинників в процесі експлуатації на цементобетонних покриттях автомобільних доріг з'являються деформації і руйнування: лущення поверхневого шару бетону, вибоїни і раковини, сколи кутів і країв плит,

тріщини, вертикальні зміщення плит і їх викривлення, руйнування стикових з'єднань і заповнювачів швів, проломи, просіли і спучення.

Накопичення деформацій і руйнувань призводить до зниження міцних і інших експлуатаційних якостей покриттів і вимагає проведення ремонтно-відновних робіт.

Причинами передчасних ушкоджень цементобетонних покриттів, як правило, являються: порушення технології будівництва; відсутність якісних мінеральних матеріалів, хімічних добавок; отримання низьких марок бетону; недостатнє повітря у бетоні; надмірна дія сольових розчинів на ранній стадії тверднення бетону. Зниження експлуатаційного стану цементобетонних покриттів у більшості регіонів України пов'язане також з низькою якістю їх змісту, невиконанням своєчасно ремонтних робіт, відсутністю сучасних ремонтних машин і механізмів, високою трудомісткістю технології ремонту покриттів. Дорожні організації приступають до ремонту цементобетонних покриттів у той момент, коли вже накопичилася значна кількість дефектів і різко знизився їх експлуатаційний стан. В цьому випадку зростає складність виконання ремонтних робіт і, як наслідок, збільшується вартість ремонту(таблиця 1.1).

Висока трудомісткість технології ремонту, а також відсутність об'єктивного методу оцінки експлуатаційного стану цементобетонних покриттів, що дозволяє призначити конкретний вид ремонтних робіт, привели до «бездіяльності» дорожніх організацій. Дорожні організації, орієнтовані в основному на ремонт асфальтобетонних покриттів, звели ремонт цементобетонних покриттів до перекриття їх шарами асфальтобетону.

Практика експлуатації автомобільних доріг, а також численні спостереження, виконані при обстеженні автомобільних доріг з цементобетонним покриттям в різних регіонах України, показали, що першим дефектом, що проявляється, в асфальтобетонних шарах посилення є



тріщини. Такі тріщини називають відбитими. Кількість відбитих тріщин на поверхні знову влаштованих покриттів з часом швидко росте.

Таблиця 1.1 - Дефекти цементобетонних покриттів

№ з/п	Вид дефекту цементобетонних покриттів	Короткий опис дефекту
1	Подовжні, поперечні і діагональні тріщини	Ці тріщини, що ділять плиту на частини, є результатом комбінації кліматичної дії, навантажень, що повторюються, і усадкової напруги
2	Сколи в кутах	Вифарбовування або сколювання плити в межах 0,6 м від кута
3	Спучування покриття	Відбувається, як прищепило, на пучинистих ділянках, а також при жаркій погоді, коли не забезпечується вільна деформація(подовження) жорсткого покриття
4	Облом кута плити	Обломом кута вважається, якщо тріщина в плиті перетинає шви на відстані, що не перевищує половину сторони плити відносно цього кута
5	Уступи	Є різницею у висоті по краях шва або тріщини. Виникає в результаті здуття або консолідації основи
6	Сколки в швах	Руйнування кромки плити в межах 0,6 м від шва
7	Латочка на покритті	Вважається область покриття, де первинне покриття було зняте і замінене ремонтним матеріалом
8	Раковини	Є невеликим шматком покриття, що відколовся від поверхні
9	Лущення, поверхнєве розтріскування	Відноситься до сітки неглибоких, тонких або волосяних тріщин, що поширюються по поверхні бетону і перетинаються під кутом 120°
10	Подовжні, поперечні і діагональні тріщини	Ці тріщини, що ділять плиту на частини, є результатом комбінації кліматичної дії, навантажень, що повторюються, і усадкової напруги
11	Сколки в кутах	Вифарбовування або сколювання плити в межах 0,6 м від кута

Будь-яка тріщина (рис.1.2), що з'явилася в покритті, призводить до порушення його цілісності покриття і, як наслідок, до погіршення розподільної здатності, послаблення усієї дорожньої конструкції. небезпечним є і те, що тріщини стають причинами погіршення воднотеплового режиму дорожнього одягу і земляного полотна. Вода, проникаючи крізь шари дорожнього одягу в земляне полотно, перезволожує його, зменшуючи здатність, що несе, і частенько сприяючи пучиноутворюванню. З часом, внаслідок зниження міцності ґрунту земляного полотна в зоні тріщини і концентрації в цій же зоні напруги, в конструкції розвиваються деформації і руйнування, починаючи з кромки тріщини.



Рисунок 1.2 - Пошкодження цементобетонного покриття: автомобільних доріг а) усадочні тріщини; б) поперечні тріщини; в) тріщини просідання; г) поздовжні тріщини; д) руйнування кромки швів; е) лущення

Одним із пошкоджень цементобетонного покриття автомобільних доріг є пошкодження поперечних швів. Причиною такого пошкодження є порушення їх герметичності, а також міцність та деформативність основи. На основі дослідження встановлено, що внаслідок одночасної дії навантаження та перепадів температури на поверхні та нижній грані цементобетонної плити протягом навіть доби виникає так званий «клавішний ефект». В наслідок відбувається поступове деформування та руйнування основи саме в цих місцях. В результаті порушеної герметизації шва, вода потрапляє у простір між плитою та основою, що прискорює руйнування [3].

Поряд з відбитими тріщинами виникають перенапруження і, як наслідок, з'являються додаткові силові тріщини, що переходять потім в сітку тріщин, призводять зрештою до утворення вибоїн. Вибоїни в покритті стає причиною погіршення рівності проїжджої частини, зниження швидкості, комфортності, безпеки руху і збільшення вартості перевезень. В результаті потрібно додаткові ресурси на відновлення проїжджої частини автомобільної дороги.

Дослідження, вітчизняних та зарубіжних вчених, показали, що на тих дорогах, де не ведеться боротьба з відбитими тріщинами, термін служби дорожнього одягу знижується майже удвічі, тобто з 20 до 10-12 років.

У світовій практиці при капітальному ремонті цементобетонних покриттів автомобільних доріг застосовують наступні основні способи посилення жорсткого дорожнього одягу:

- облаштування шарів посилення з асфальтобетонних сумішей поверх старого цементобетонного покриття без порушення його цілістності;
- те ж, з попереднім дробленням старого цементобетонного покриття і ретельним ущільненням отриманого таким чином матеріалу основи;
- облаштування шару посилення з цементобетону, армобетону, фібробетону, модифікованого цементобетону.

### 1.3 Оцінку експлуатаційного стану цементобетонних покриттів

Існуючі методи оцінки тріщиностійкості дорожніх цементобетонів [18] є:

- 1) методи, що ґрунтуються на візуальному спостереженні тріщини;
- 2) непрямі методи оцінки за фізико-механічними властивостями цементобетонну - граничною розтяжністю, деформацією усадки тощо;
- 3) методи, що ґрунтуються на моделюванні;
- 4) методи механіки руйнування [18].

На основі досліджень науковцями [18] наведено класифікацію (табл.1.2) дефектів і руйнувань, які поділяться на категорії дефектів, що виникають до введення дороги в експлуатацію та ті, що виникають в процесі експлуатації.

Таблиця 1.2 - Класифікація утворення тріщин в цементобетонному покритті

Тріщини, що з'явилися до введення дороги в експлуатацію		Тріщини, що утворюються в процесі експлуатації дороги	
1	Усадочні тріщини	1	Усадочні тріщини
		2	Лущення
		3	Викришування
		4	Тріщини просідання
		5	Поперечні тріщини
2	Поперечні тріщини	6	Поперечні тріщини біля швів розширення
		7	Поперечні затухаючі тріщини
		8	Тріщини защемлення
3	Поперечні тріщини біля швів розширення	9	Тріщини-шви
		10	Поздовжні тріщини
		11	Косі тріщини
		12	Відколи кутів плит
		13	Сітка тріщин
4	Незадовільна рівність покриття після влаштування	14	Пошкодження швів
		15	Незадовільна рівність
		16	Здимлення плит
		17	Відображені тріщини

Оцінку експлуатаційного стану цементобетонних покриттів виконують на підставі результатів візуального огляду їх поверхні.

Перед проведенням обстеження вивчають наявну проектну і експлуатаційну документацію, включаючи дані про попередні обстеження покриття.

При обстеженні рекомендується заносити виявлені дефекти або у вигляді умовних зображень в плані, або у вигляді числових записів на карті. При нагоді використовують метод фотореєстрації дефектів, у тому числі за допомогою аерофотографування.

У тих випадках, коли за результатами візуального обстеження не вдалося встановити і розпізнати приховані дефекти, використовують інструментальні методи дефектації: ультразвукової, тепловізорний, радіоізотопний, георадаційні.

В якості звітних матеріалів має бути складений акт обстеження покриття, в якому містяться :

- пояснювальна записка з конструкціями дорожнього одягу;
- дефектувальний план;
- відомість дефектів;
- дані спеціального буріння і дослідження матеріалів покриття.

На підставі результатів візуального обстеження визначають узагальнений показник ушкоджень по формулі:

$$S = S_{\text{тр}} \times m_{\text{тр}} + S_{\text{ск}} \times m_{\text{ск}} + S_{\text{ш}} \times m_{\text{ш}} \quad (1.1)$$

де  $S$  - узагальнений показник ушкодження покриття;

$S_{\text{тр}}$  - показник наскрізних тріщин;

$S_{\text{ск}}$  - показник сколов кромки;

$S_{\text{ш}}$  - показник лущення;

$m_{\text{тр}}$  - коефіцієнт ваговитості наскрізних тріщин:  $m_{\text{тр}} = 0,05$ ;

$m_{ск}$  - коефіцієнт ваговитості сколов кромок :  $m_{ск} = 0,10$ ;

$m_{ш}$  - коефіцієнт ваговитості лущення:  $m_{ш} = 0,03$ .

Показник  $S_{тр}$  обчислюють за формулою:

$$S_{тр} = \frac{n_{тр}}{n_{заг}} \times 100 \quad (1.2)$$

де  $n_{тр}$  - кількість плит, що мають наскрізні тріщини;

$n_{заг}$  - загальна кількість плит на обстеженій ділянці покриття.

Показник  $S_{ск}$  визначають по формулі:

$$S_{ск} = \frac{n_{ск}}{n_{заг}} \times 100 \quad (1.3)$$

де  $n_{ск}$  - кількість плит, що мають сколки кромок.

Показник  $S_{ш}$  обчислюють за формулою:

$$S_{ш} = \frac{n_{ш}}{n_{заг}} \times 100 \quad (1.4)$$

де  $n_{ш}$  - кількість плит, що мають лущення поверхні покриття.

Придатність цементобетонного покриття до експлуатації оцінюють показником експлуатаційного стану покриття  $\Pi$ , який визначають по формулі:

$$\Pi = 5,0 - S \quad (1.5)$$

Стадії експлуатаційно-технічного стану цементобетонного покриття залежно від показника  $\Pi$  представлені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Стадії експлуатаційно-технічного стану цементобетонного покриття залежно від показника  $\Pi$

Показник ( $\Pi$ )	Стадія експлуатаційно-технічного стану цементобетонного покриття
3,5...5,0	Стадія нормальної експлуатації
2,5...3,5	Критична стадія
$\Pi < 2,5$	Стадія неприпустимих ушкоджень

При значеннях експлуатаційного стану покриття  $\Pi = 3,5...5,0$  потрібно виконання ремонтних робіт, спрямованих на усунення виникаючих ушкоджень, не допускаючи їх розвитку і накопичення; оброблення,



очищення, відновлення геометрії деформаційних швів і їх герметизацію; консервацію тріщин; заміну окремих зруйнованих ділянок плит на усю товщину; усунення сколов кромки плит і вибоїн; ліквідацію руйнувань поверхні цементобетона.

При значеннях експлуатаційного стану покриття  $\Pi = 2,5 \dots 3,5$  зазвичай потрібно відновлення і збільшення його здатності, що несе, шляхом облаштування шарів посилення з асфальтобетону або цементобетона поверх старого цементобетонного покриття без порушення його цілісності.

При значеннях  $\Pi < 2,5$  покриття мають незадовільний стан і вимагають дроблення з подальшим ретельним ущільненням і облаштуванням шару посилення з асфальтобетонної або цементобетонної сумішей. При незадовільному стані покриття потрібно проведення робіт по відновленню його несучої здатності.

Для оцінки стану цементобетонного покриття на основі візуальної оцінки доцільно користуватися таблицею 1.4.

Таблиця 1.4 - Оцінка експлуатаційного стану дорожнього покриття

Найменування дефекту	Об'єм ушкоджень для показників експлуатаційного стану, %		
	3-2	4-3	5-4
Тріщини в плитах з частковим вифарбовуванням бетону	10—20	5—10	Менше 5
Сколки кромки плит, середній розмір 15x15 см	15—25	5—15	Менше 5
Лущення бетону, середня глибина 20 мм	30—50	10—30	Менше 10
Уступи між плитами середньою висотою до 25 мм	10	2—5	Менше 2
Уступи між плитами середньою висотою до 7 мм	30—50	10—30	Менше 10
Вифарбовування герметика	30—50	10—30	Менше 10
Місцеве збурення або просіла(в середньому 250 мм)	10—20	5—10	Менше 5
Тріщини в плитах з частковим вифарбовуванням бетону	10—20	5—10	Менше 5

Вважається, що механізм появи відбитих тріщин викликаний температурною напругою, яка може ініціюватися швидким охолодженням верхнього шару посилення, що є причиною виникнення критичної розтягуючої напруги, що викликає розвиток тріщин [15].

Добові температурні зміни формують температурний режим роботи асфальтобетону в шарі покриття, змінюючи його характеристики м'якості. Характерною особливістю асфальтобетону є його висока чутливість до змін температури. Влітку асфальтобетон внаслідок свого темного кольору поглинає значну частину сонячних променів, що падають на нього, нагріваючись при цьому до температури на 25-35 °C і вище за температуру навколишнього повітря. При високих плюсових температурах асфальтобетон стає пластичним, і в нім під дією транспортних навантажень можуть утворюватися деформації пластичного характеру у вигляді напливів, горбів, хвилястості, відбитків протекторів коліс важких автомобілів на поверхні покриття. У зимовий період при низьких негативних температурах знижується пластичність асфальтобетону, зростає його твердість, він переходить в крихкий стан.

Для забезпечення тріщиностійкості шарів посилення з асфальтобетону потрібно визначення такої товщини шару покриття, при якій швидкість охолодження була б рівна або менше критичною.

Передбачається, що найбільш небезпечною є напруга при вертикальному зрушенні, яка виникає в шарах, що пролягають нижче, під час переходу колеса автомобіля з одного краю тріщини на інший, а також передбачається, що диференціальні вертикальні зміщення порушують сплошність в шарах посилення.

Дія навантажень від транспортних засобів на асфальтобетонне покриття проявляється у вигляді вертикально спрямованих сил (ваги транспортних засобів) і дотичних зрушуючих сил, що діють при русі автомобіля.

Передбачається, що дії від транспортних засобів значно посилюються за рахунок нерівностей покриття [18]. Що виникає із-за нерівностей проїжджої частини повторність(циклічність) дії навантажень призводить до накопичення в асфальтобетоні залишкових деформацій, що додатково знижують за рахунок цього його міцність і модуль пружності асфальтобетону в 2,5-3,5 разу. Збільшення числа циклів дії навантаження супроводжується виникненням наскрізних видимих тріщин, які можуть збільшуватися під комплексною дією води і негативних температур.

Умова, при якій виключається утворення відбитих тріщин в покритті:

$$R_n \geq \frac{\sigma_{\text{п}}}{K_3} \quad (1.6)$$

$$S_{\text{п}} = \frac{\alpha_0 \Delta t_0 - \frac{\tau_r L}{2E_0 h_0}}{\frac{h_n}{E_0 h_0} - \frac{l_0}{LE_n}} + \beta \alpha_n \Delta t_n E_n \quad (1.7)$$

де  $R_n$  - міцність покриття на розтягування при розрахунковій температурі, МПа;

$\sigma_{\text{п}}$  - розтягуюча температурна напруга в покритті, МПа;

$K_3$  - коефіцієнт запасу;

$\alpha_{\text{п}}, \alpha_0$  - коефіцієнти температурних деформацій в покритті і основі;

$\Delta t_{\text{п}}, \Delta t_0$  - перепади температури відповідно в покритті і основі °С;

$E_{\text{п}}, E_0$  - модуль деформації відповідно покриття і основи при розрахунковій температурі, МПа;

$\tau_r$  - сили тертя основи по ґрунту, МПа;

$h_n$  - зона вільного зміщення покриття, м;

$L$  - довжина блоку в основі, м;

Руйнівні дії на асфальтобетон негативних температур значно посилюються в умовах одночасного зволоження цього матеріалу. У рідкому агрегатному стані вода заповнює пори в асфальтобетоні, проникає в тріщини, а при замерзанні і переході в твердий стан(лід) вона збільшується в об'ємі на 9%, що супроводжується відповідним зростанням об'єму пір і тріщин. Збільшення об'єму пір супроводжується руйнуванням структури асфальтобетону, відшаровуванням плівки бітуму від поверхні великого

заповнювача. Подібне зниження адгезії бітуму з поверхні мінерального складу призводить до зменшення міцності асфальтобетону. При цьому асфальтобетон втрачає здатність до пластичних деформацій без руйнування структури і додаткового падіння міцності[21].

У весняний і осінній періоди замерзання води в порах і тріщинах часто змінюється її відтаванням(і навпаки). Під час переходу води в рідкий стан в процесі відтавання її об'єм в порах і тріщинах асфальтобетону зменшується, що призводить до ефекту вакуумування, що супроводжується додатковим насиченням пір водою. Руйнівна комплексна дія негативних температур і води тим сильніше, чим вище пористість асфальтобетону і тим більше циклів заморожування-відтавання він сприймає в процесі експлуатації покриття. Пористість асфальтобетону і його склад з урахуванням району використання(дорожне-кліматичної зони) строго регламентуються.

В той же час руйнівна дія води і негативних температур на асфальтобетонні покриття не обмежується розглянутими явищами. При виникненні у верхньому шарі асфальтобетонного покриття тріщин вода потрапляє через них під шар покриття. Скупчуючись і замерзаючи під покриттям, вода відшаровує його від основи(нижнього шару), підводить верхній шар покриття в зоні тріщини, що призводить до утворення невеликих горбів і вторинних тріщин, процес появи яких посилюється під впливом транспортних навантажень, що призводить у результаті до виникнення на покритті вибоїн.

При улаштуванні асфальтобетонних шарів посилення на цементобетонному покритті повинні передбачатися конструктивні заходи, що уповільнюють явище тріщиноутворення.

## 2                    К О Н С Т Р У К Т И В Н О - Т Е Х Н О Л О Г І Ч Н І                    О С Н О В И Ц Е М Е Н Т О Б Е Т О Н Н О Г О П О К Р И Т Т Я А В Т О М О Б І Л Ь Н И Х Д О Р І Г

### 2.1 Конструктивні особливості дорожніх цементобетонних покриттів та основ

Жорсткими називають дорожній одяг з конструктивними шарами із цементобетонну. Залежно від технології будівництва жорсткі покриття та основи поділяють на монолітні, збірні, збірно-монолітні та з бетону, що заочується.

Цементобетонні покриття та основи можуть бути неармованими, армованими (у тому числі безперервно армованими) та дисперсно армованими. Покриття виконують одно- та двошаровими. Загалом жорсткий дорожній одяг з покриттям монолітного типу має такі конструктивні шари: покриття, що вирівнює шар, основа, додатковий шар основи (рис. 2.1).

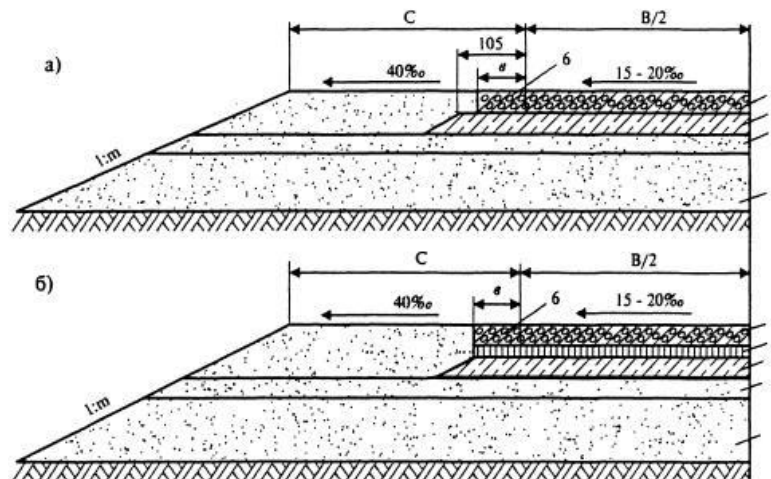


Рисунок 2.1 - Поперечні розрізи типового дорожнього одягу з цементобетонним покриттям, що влаштовуються комплектами машин: а - зі ковзними формами; б - із застосуванням рейок-форм; 1 - покриття; 2 - шар, що вирівнює; 3 - основа; 4 - додатковий шар основи; 5 - земляне полотно; 6 - укріплена смуга

При застосуванні високопродуктивних машин з автоматичною системою забезпечення рівності для будівництва основ із матеріалів, укріплених в'язучими, необхідність у пристрої вирівнюючого шару відпадає.

На автомобільних дорогах I і II категорій підстави влаштовують з кам'яних матеріалів (щебеню, гравію, гравійно-піщаних сумішей), укріплених цементом або відходами промисловості, що мають в'язкі властивості, з тонкого бетону, а також з піску і супісків, укріплених цементом [5]. На дорогах II і III категорій будують основи з ґрунту, укріпленого органічним в'язким, з підбраного щебеневого та гравійного матеріалу або шлаку. При відповідному техніко-економічному обґрунтуванні на дорогах III категорії будують основи з кам'яних матеріалів та ґрунтів, укріплених неорганічним в'язким.

На окремих ділянках з розрахунковою інтенсивністю руху до 4000 авт./добу допускається застосовувати при використанні рейкового комплекту машин основи з піску або піщано-гравійних сумішей.

При будівництві покриттів комплектом машин зі ковзними формами для забезпечення проходу гусениць машин рівну та міцну основу влаштовують не менше ніж на 2,1 м ширше за покриття. Необхідну товщину основи з піщаних і супіщаних ґрунтів, укріплених цементом, з тонкого бетону, а також із щебеню, шлаку або гравію визначають розрахунком, проте вона не повинна бути менше 15 см при русі на підставі автомобілів-самоскидів вантажопідйомністю до 7т. При використанні автомобілів вантажопідйомністю від 7 до 12т товщина основи із укріплених цементом ґрунтів та кам'яних матеріалів 1 класу міцності повинна бути не менше 16 см.

Додатковий шар основи влаштовують з морозостійких і дренажних матеріалів. В окремих випадках передбачають морозозахисний шар із матеріалів, укріплених в'язкими, для забезпечення постійної товщини шарів та проходу машин, що будують дорожній одяг, без руйнування поверхні шарів.

Товщину плит покриття та товщину всіх конструктивних шарів визначають розрахунком при проектуванні дорожнього одягу [39]. Залежно від категорії дороги, розрахункової інтенсивності руху, матеріалу основи та природно-кліматичних умов району будівництва товщина покриття зазвичай дорівнює 18-24 см.

Для зниження напруги, що виникають при добових і сезонних змінах температури повітря, в цементобетонних покриттях влаштовують температурні шви стиснення, короблення, розширення та робочі. Крім перерахованих поперечних температурних швів влаштовують і поздовжні шви. Поздовжній шов потрібен при ширині покриття більше 4,5 м, для попередження появи звивистих поздовжніх тріщин, що утворюються від впливу транспортних засобів, неоднорідного пучення та осаду земляного полотна.

Шви розширення (рис.2.2) призначені для сприйняття переміщень плит за її розширення під дією високих літніх температур. При правильному пристрої швів розширення вони усувають перенапругу плит і виключають негативний вплив цих напруг на поздовжню стійкість покриття, сколок та тріщиноутворення. У швах розширення покриття розрізають по всій ширині і на всю товщину встановлюють прокладки з дерева, пінополіуретану та інших матеріалів. Верхню частину швів розширення заповнюють герметизуючими матеріалами.

Вирівнюючий шар, як правило, влаштовують у разі застосування при будівництві покриттів комплекту машин, що переміщаються за рейками. Вирівнюючий шар з необробленого піску влаштовують товщиною 5 см, а з чорного піску товщиною 3 см. Цей шар призначений головним чином для зниження сил тертя, що виникають при переміщенні плит покриття з основи внаслідок зміни температури, вирівнює нерівності основи, більш рівномірно розподіляє силовий вплив коліс автомобілів і зменшує напруги від викривлення плит покриття.

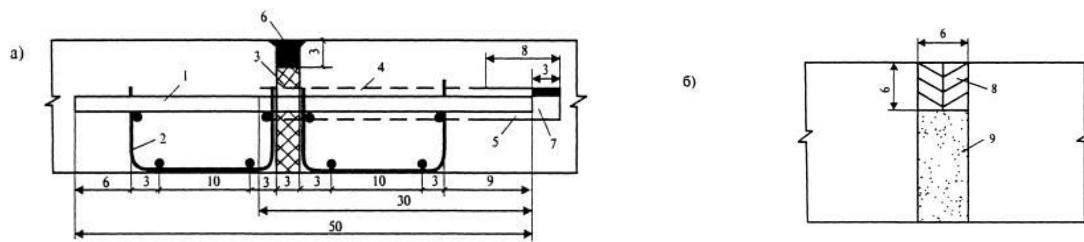


Рисунок 2.2 - Конструкції поперечних швів розширення:  
 а - влаштовуються в покритті; б - перед штучними спорудами; 1 - штирі; 2 - каркас-кошик; 3 - дерев'яна дошка-прокладка; 4 - бітумна обмазка; 5 - ковпачок з гуми або поліетилену; 6 - мастика; 7 - повітряний зазор у ковпачку; 8 - герметизуючий матеріал або готове гумове прокладання; 9 - пористий матеріал, що легко стискається

Шви стиснення (рис. 2.3) влаштовують між швами розширення, щоб попередити появу тріщин, що виникають у покритті внаслідок зміни температури, усадки бетону та неоднорідних деформацій земляного полотна. У швах стиску покриття розрізають по всій ширині на глибину не менше  $1/4$  товщини. Нижче цього прорізу в подальшому виникає тріщина, так як при скороченні плити від зниження температури внаслідок тертя між плитою та основою в бетоні плити виникає розтяг.

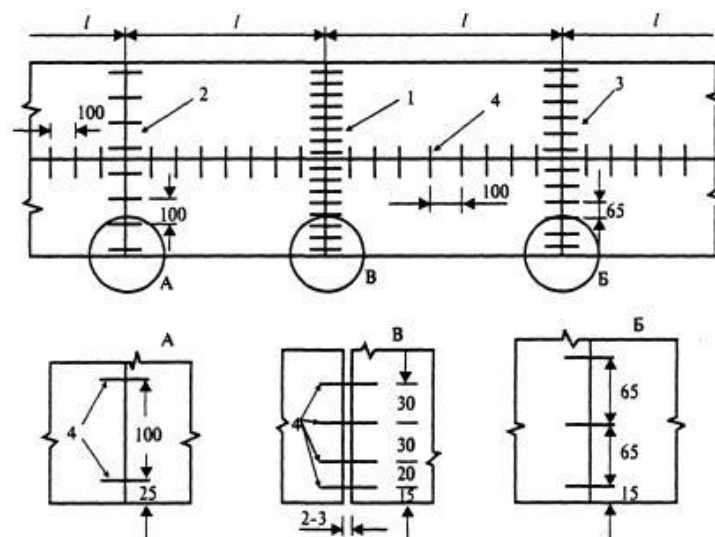


Рисунок 2.3 - Схема розташування штирів у швах цементобетонного покриття: 1 - шов розширення; 2 - шов стиснення при основі з кам'яних матеріалів та з ґрунтів, укріплених в'язучим; 3 - шов стиснення при основі з матеріалів, не укріплених в'язучими (пісок, щебінь, шлак, гравійно-піщана суміш); 4 - штирі



Шви короблення підвищують поздовжню стійкість покриття, зменшують у плитах температурну напругу, підвищують тріщиностійкість та транспортно-експлуатаційні якості покриття. Шви жолоблення розміщують через один шов стиснення. Шви короблення не влаштовують у плитах довше 6 м. Робочі шви застосовують у кінці робочої зміни або при перерві бетонування покриття більш ніж на 3 год.

Робочі шви влаштовують на кшталт швів розширення. Для часткової передачі навантаження з плити на плиту та для виключення утворення щаблів між плитами поперечні та поздовжні шви армують (рис. 2.4).

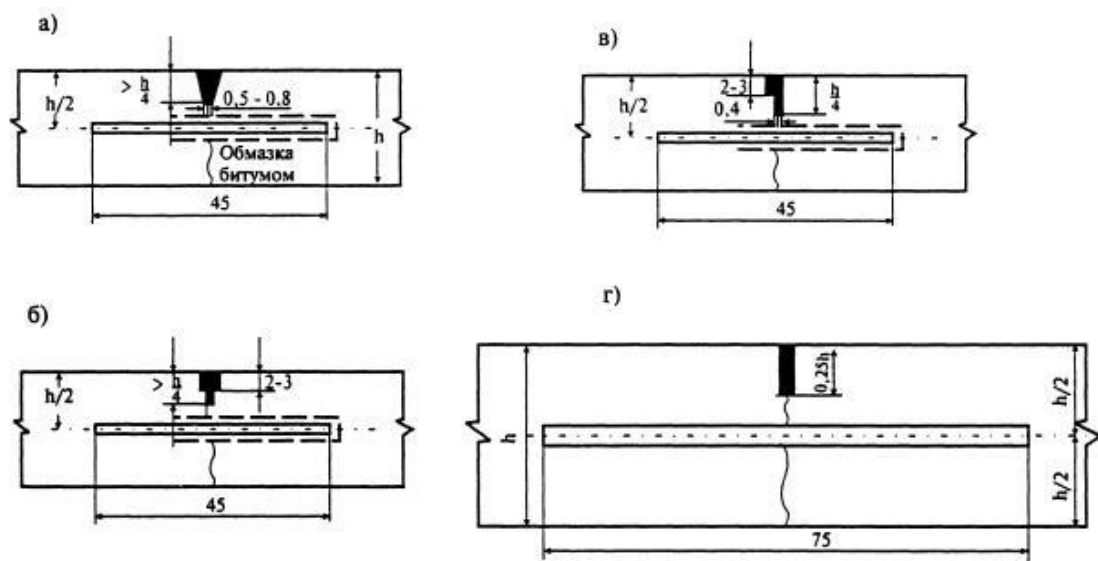


Рисунок 2.4 - Конструкції поперечних швів стиснення та поздовжнього шва:

а) у свіжоукладеному бетоні; б) комбінованим способом; в) у затверділому бетоні; г) поздовжній шов; пунктиром показано обмазування штирів бітумом

При будівництві машинами зі ковзними формами покриттів товщиною 22-24 см на основах з цементогрунту товщиною 16 см і більше у швах стиснення штирьові з'єднання не застосовують, за винятком штирьових з'єднань у контрольних швах, що нарізуються у свіжоукладеному бетоні. Такі шви, що влаштовуються на кшталт швів стиснення, можна армувати, якщо добовий перепад температури лежить на поверхні покриття досягає  $20^{\circ}\text{C}$ . За наявності швів стиснення без штирьових з'єднань велика ймовірність уступів між плитами під час експлуатації.[17]

Якщо в основі застосований бетон класу C10/12 – C12/15, в ньому влаштовують поздовжні та поперечні шви зі штиревыми з'єднаннями, як у покриттях. Довжину плити призначають 4 м при товщині основи менше 20 см і 5 м при товщині 20 см і більше.

Залежно від категорії дороги та інтенсивності руху застосовують три схеми армування (рис. 2.5) [16].

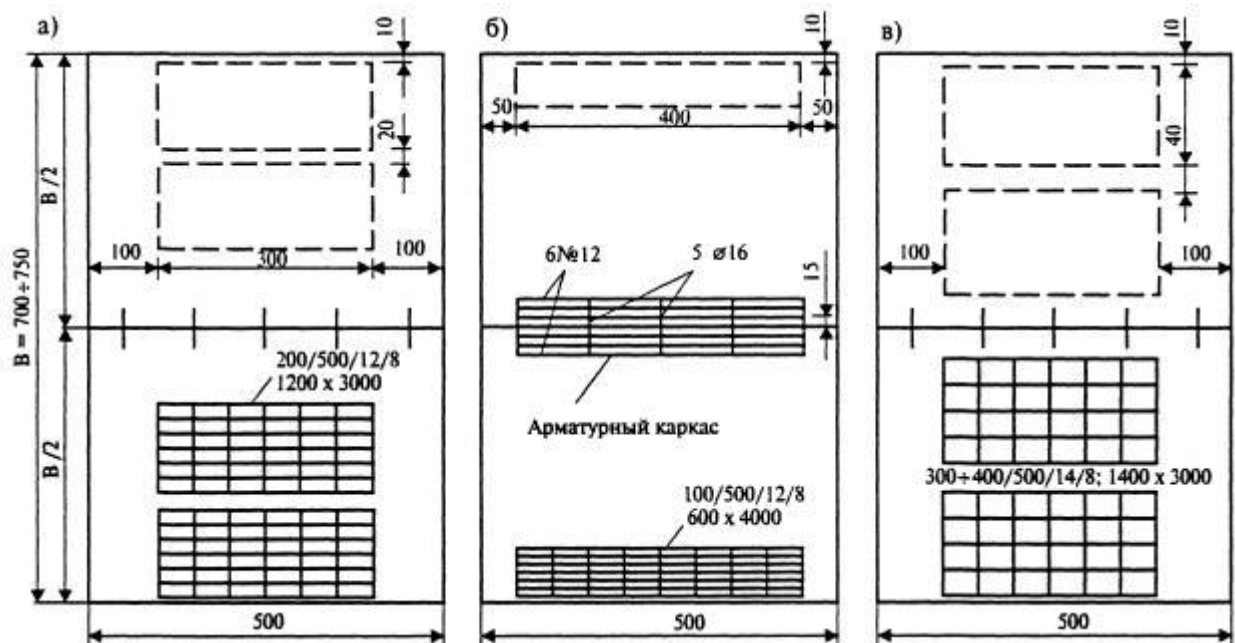


Рисунок 2.5 - Схеми армування плит цементобетонних покриттів автомобільних шляхів

Для інтенсивності руху, що не перевищує 5000 авт./добу, при насипах висотою менше 3 м може бути застосовано крайове армування сіткою із семи поздовжніх стрижнів періодичного профілю діаметром 12 мм (див. рис. 2.5, б).

На дорогах з інтенсивністю понад 5000 авт./добу, на насипах вище 3 м і особливо у шляхопроводів при перетині залізниць проводять армування плоскими звареними сітками за схемою, наведеною на рис. 2.5 (а, в). Армування плит за схемами, наведеними на рис. 2.5 (а, в) відрізняється тільки діаметром арматури поздовжніх стрижнів при однаковій витраті на  $1 \text{ м}^2$ .

Принципова відмінність безперервно армованих цементобетонних покриттів від звичайних неармованих полягає в тому, що під впливом зовнішніх впливів та завдяки наявності арматури в них утворюються поперечні тріщини з кроком 1,5-3,0 м та розкриттям їх на поверхні до 0,2-0,4 мм. Таке незначне розкриття тріщин забезпечує передачу поперечної сили між плитами та гарантує від проникнення до арматури води, тому що на рівні арматури тріщини не розкриваються. Безперервно армовані покриття дозволяють влаштовувати шви розширення через великі відстані

## **2.2 Технологічні рішення та основні машини для виконання цементобетонного покриття**

### **2.2.1 Приготування та транспортування бетонної суміші**

Для приготування бетонної суміші слід використовувати притрасові пересувні бетонні заводи циклічної або безперервної дії продуктивністю, що відповідає прийнятому темпу будівництва бетонних покриттів. Конструкція бетонозмішувачів гравітаційного та примусового перемішування та режим приготування повинні забезпечувати отримання бетонної суміші, яка за своїми властивостями задовольняє вимоги ДСТУ на дорожній бетон, СНіП з виробництва та приймання робіт при будівництві автомобільних доріг. Бетонні заводи потрібно розміщувати з урахуванням допустимої ДСТУ на дорожній бетон тривалості транспортування бетонної суміші[7-10].

Приймання, зберігання та переробку матеріалів для приготування бетонної суміші слід проводити, як правило, на прирейкових базах. Для прийому та зберігання цементу рекомендуються найбільш економічні в умовах дорожнього будівництва типові збірно-розбірні металеві склади.

Вони повинні мати необхідне обладнання для механізованого розвантаження цементу із залізничних вагонів або цементовозів.

Дрібний та великий заповнювачі (пісок, щебінь, гравій, щебінь із гравію) повинні зберігатися окремо за видом породи та фракціями на майданчиках, що виключають їх забруднення. Майданчики, як правило, повинні мати покриття з монолітного або збірного бетону. За відсутності на майданчику бетонного покриття нижній шар штабеля заповнювачів завтовшки 10-20 см не можна використовувати для приготування бетонної суміші. За потреби на бетонному заводі має бути організовано поділ великого заповнювача на фракції та його промивання. Слід, як правило, подавати заповнювач безпосередньо в бункери дозування фронтальними навантажувачами на колісному ході.

Режим роботи бетонозмішувачів циклічної та безперервної дії повинен відповідати заводським інструкціям з експлуатації. Тривалість перемішування бетонної суміші у бетонозмішувачах циклічної дії слід встановлювати дослідним шляхом.

При використанні високопродуктивного бетонозмішувача гравітаційного перемішування циклічної дії з об'ємом готового замісу 5-6 м<sup>3</sup> тривалість перемішування бетонної суміші з осадом конуса не менше 2 см повинна бути в межах 60-90 с.

Дозування матеріалів при приготуванні бетонної суміші повинне проводитися за масою. Винятком є дозування води та водних розчинів добавок для бетону. Точність дозування має відповідати величинам, зазначеним у розділі ДБН на зведення монолітних бетонних та залізобетонних конструкцій.

Справність роботи дозаторів допускається оцінювати щодня початку зміни. Вагові пристрої слід встановлювати відповідно до складу бетонної суміші та з урахуванням вологості заповнювачів. Дозування матеріалів дозволяється змінювати лише працівникам лабораторії.

Для максимального використання продуктивності комплексу бетоноукладальних машин та отримання бетону однорідного складу суміш слід випускати рівномірно та безперервно протягом зміни. Кількість транспортних засобів має встановлюватися та коригуватися з урахуванням дальності транспортування суміші та повного завантаження комплексу машин з влаштування покриття та виключення перерв у подачі суміші до місця укладання.

Рухливість бетонної суміші з урахуванням часу транспортування до місця укладання та температури повітря не повинна перевищувати більш ніж на 1-2 см значень, зазначених у нормативних документах.

Бетонну суміш слід транспортувати в автобетоновозах або автомобілях-самоскидах, що забезпечують зручне і швидке її розвантаження в приймальній пристрій розподільника або на основу. Кузови автомобілів-самоскидів повинні бути водонепроникними, мати справні затвори та гладку поверхню, а також пристрої для захисту бетонної суміші від висихання або зволоження атмосферними опадами. Після вивантаження бетонної суміші кузова автобетоновозів або автомобілів-самоскидів необхідно промивати водою.

Таблиця 2.1 - Максимально допустима тривалість транспортування бетонної суміші, готової до вживання, при температурі повітря від 20°C до 30°C та при температурі суміші 18-20°C

Марка суміші по удобуукладаємості	Середня швидкість транспортування, км/ч	Тривалість транспортування, хв.	
		Автобетоно- змішувач	Автосамоскидом
Ж2-Ж1	30	210	60
П1		210	60
П2		150	40
П3-П5		90	30

Будівництво покриття дозволяється починати від бетонного заводу з використанням для транспортування бетонної суміші.

## 2.2.2 Добавки для підвищення морозостійкості бетону

Рецепт бетону простий: цемент, вода, щебінь та пісок. Але є проблема. Вести роботи за мінусової температури не можна - вода замерзає, а розчин втрачає свої розрахункові властивості.

До нещодавно будівельники примудрялися заливати стяжку взимку, використовуючи брезент (термос), теплові гармати і ось це все. Але надворі XXI століття і технології не стоять на місці. Тепер працювати з бетоном можна навіть при  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , якщо взяти на озброєння протиморозні добавки. Що це таке, як працює та які види існують, поговоримо нижче[7-10].

Морозостійка добавка в бетон - це сукупність хімреагентів, головне завдання яких не дати воді замерзнути, поки розчин схоплюватиметься і твердітиме. Без них:

- бетон просто не застигатиме;
- вода замерзне та порушить структуру матеріалу;
- конструкція не відповідатиме експлуатаційним завданням і втратить у довговічності.

Принцип дії добавки залежить від складу. Докладніше про нього ми поговоримо трохи нижче, але сенс у тому, що одні реагенти прискорюють процес гідратації (коли цемент змішується з водою і, схоплюючись, утворює цементний камінь), інші впливають на фізичні властивості води, не даючи їй замерзати при негативних температурах ( на час, необхідний для гідратації

Єдиний негативний момент: навіть із застосуванням присадок взимку бетон не зможе набрати розрахункову міцність. Тому до настання тепла високі навантаження конструкції не рекомендовані.

На будівельному ринку щорічно з'являються десятки нових будматеріалів, але бетон не думає здавати позиції. І справа не скільки у фінансовому плані, скільки у цих самих добавках. Крім підвищення

морозостійкості, модифікатори паралельно працюють на збільшення пластичності, гідроізоляції, міцності, оброблюваності, запобігання розшарування, зменшення корозії арматури та ін.

Розглянемо ключові види:

1) Пластифікатори. Добавка на основі сульфатів нафталіну та органічних поліактрилів має цілу низку корисних властивостей — знижує повзучість, усадку та кількість води на приготування суміші плюс підвищує щільність та пластичність будівельного розчину. Пластифікуючі добавки часто застосовують для заливання фундаменту і підлог.

2) Зміцнювачі. Модифікатори морозостійкості на основі сульфатів заліза, хлориду або нітрату кальцію прискорюють процес затвердіння бетону та збільшують його міцність. Їх також додають у теплу пору року, якщо цього вимагають терміни.

3) Добавки проти корозії залізобетонних конструкцій. Тут як реагенти значаться епоксидна і поліефірні смоли. Крім захисту арматури, вони захищають бетон від впливу агресивного середовища, подовжуючи термін служби. Ну і в контексті теми допомагають йому швидше схоплюватися. Ці добавки застосовують, наприклад, при зведенні гребель.

4) Регулятори рухливості бетонної суміші Це комплексна добавка, яку застосовують при тривалих роботах із сумішшю та її тривалим транспортуванням. Присадка стабілізує консистенцію, надає розчину пластичності, блокує водовідведення та розшарування плюс підвищує морозостійкість.

5) Морозостійкі. Ці добавки ніяк не впливають на фізичні та хімічні властивості суміші. Їх єдине завдання - підвищення морозостійкості бетону за рахунок хлориду натрію, нітриту натрію, хлориду кальцію та ін. Ці реагенти знижують температуру, коли вода починає кристалізуватися.

Щоб зрозуміти, яку добавку можна застосовувати в конкретному випадку, а яку не можна, варто заглибитися в їхній склад.

Такий підхід є важливим для великих проектів. Якщо стоїть завдання виконання нескладних робіт для приватного будівництва (залиття підлоги, наприклад), можна обмежитися вивченням складу та його впливом на морозостійкість бетону.

Таблиця 2.2 - Найпоширеніші реагенти

Назва реагенту	Позначення	Властивості
Карбонат кальцію	$\text{CaCO}_3$	Сприяє миттєвому схоплюванню бетону навіть при $-30^\circ\text{C}$
Нітрат кальцію	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	Скорочує термін твердіння бетону
Нітрат натрію та нітрит нітрату кальцію	$\text{NaNO}_3$ та $\text{CaN}_2\text{O}_6$	Прискорюють затвердіння та мають антикорозійні властивості (отруйні)
Сечовина	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	Сприяє уповільненню процесу схоплювання
Хлорид кальцію	$\text{CaCl}_2$	Підвищує морозостійкість, але не бажаний для ЗБК
Сульфат натрію	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	Пластифікатор
Хлорид натрію	$\text{NaCl}$	Пластифікатор

При виборі добавки додатково потрібно враховувати марку бетону за морозостійкістю, його зернистість, розрахункову зимову температуру, клас арматури, товщину конструкції, категорію тріщиностійкості та ін.

### 2.2.3 Методи укладання цементобетонних покриттів

У світовій практиці будівництва цементобетонних покриттів існує дві основні технології: у рейках-формах та у ковзаючих формах. В даний час повсюдно застосовують в основному більш прогресивну технологію влаштування покриттів у ковзаючих формах[21].



Ідея безрейкового укладання дорожнього бетону з'явилася у США. У 1948 р. були проведені перші дослідження щодо будівництва цементобетонних покриттів у рухомій опалубці. Однак широка реалізація безрейкового укладання бетонної суміші стала можливою тільки після створення надійних автоматичних систем - основи досягнення досить високого рівня покриття, що влаштовується без бічної опалубки. Вперше самохідний бетоноукладач зі ковзними формами випущений США у 1955 р. З цього моменту серійний випуск таких машин отримав швидкий розвиток.

Провідними виробниками бетоноукладальної техніки є фірми «Gomaco» та «СМІ» (США), «Wirtgen» (Німеччина), «Massenza» (Італія).

Всі фірми випускають бетоноукладачі малого, середнього та великого класу з шириною укладання відповідно до 6, 12 та 16 метрів. Сучасні моделі бетоноукладачі мають можливість зміни ширини бетонування в широких межах, що забезпечує універсальність їх застосування для різних умов будівництва. Усі моделі сучасних бетоноукладачів оснащуються автоматичними системами витримування курсу та рівня, а окремі – системою стабілізації поперечного ухилу, що дозволяє укласти цементобетонне покриття з високою рівністю.

Як база для роботи автоматичних систем використовується в основному копірна струна з винесеними на неї проектними відмітками поздовжнього профілю. Точність і ретельність установки струни багато в чому визначає якість покриття, що влаштовується і, в першу чергу, його рівність.

До початку робіт із встановлення копірних струн мають бути закінчені всі роботи з відсіпання земляного полотна. Копірні струни встановлюють з двох сторін для роботи бетоноукладача зі ковзними формами. Від однієї струни допускають роботу профільника з системою поперечної стабілізації рівня розподільника бетонної суміші, бетонооздоблювальної машини та машини для нанесення плівкоутворювальних матеріалів. Лінію копірної струни розбивають за допомогою теодоліту та нівеліру на 0,5-1 м за висотою

та на 7 м від осі дороги. Струну закріплюють у кронштейнах на стійках, що розташовуються через 4-6 м на кривих і через 15 м на прямих ділянках дороги загальною довжиною не менше добової захватки потоку пристрою даного конструктивного шару. Копірні струни натягують за допомогою натяжних барабанів, що встановлюються у створі лінії натягу струни.

Останнім часом велике значення надають удосконаленню систем керування бетоноукладальними машинами. Лазерна система управління курсом та рівнем укладача дозволяє відмовитися від трудомісткої операції встановлення копірних струн. Номенклатура машин для влаштування цементобетонних покриттів, що виготовляються фірмами, включає не тільки бетоноукладачі, а й профільники для підготовки основи, розподільники бетонної суміші, машини для створення текстури поверхні та догляду за бетоном.

Планування земляного полотна та основ виконують універсальною автоматизованою машиною - профільником. Першою операцією при плануванні ґрунту є його розпушування. Фрезу встановлюють на потрібну глибину різання. При розпушуванні (фрезеруванні) ґрунту профільувальник переміщається зі швидкістю до 15 м/хв. Наприкінці ділянки обертання фрези припиняють, піднімають її в транспортне положення, а профільувальник повертають на транспортній швидкості до початку ділянки для виконання наступної операції - розподілу та планування ґрунту. Завершальною операцією є чистове планування, після якого поверхня земляного полотна має бути рівною, мати проектний поперечний ухил та бути спланованою під проектні позначки.

Остаточне земляне полотно укочують котками на пневматичних шинах. Ущільнення ґрунту закінчують при досягненні коефіцієнта ущільнення 0,98-1,0. Роботу із планування, як правило, ведуть у дві зміни.

Після остаточної підготовки верху земляного полотна профільувальник використовують для пристрою основи, наприклад, цемент ґрунтової суміші, приготовленої в установці. Цементоґрунтову суміш доставляють

автомобілями-самоскидами і вивантажують за розрахунком на земляне полотно. Планування суміші профільником виконує

Перед початком робіт по будівництву покриттів необхідно перевірити:

- готовність під'їздів для подання бетонної суміші до місця укладання;

- готовність бетонного заводу і комплекту машин до роботи, наявність поверхневих і глибоких вібраторів для додаткового ущільнення бетонної суміші біля прокладень швів розширення, а також у рейок-форм, ущільнення контрольних зразків і визначення об'єму залученого повітря у бетонній суміші на місці укладання. Крім того, вібратори потрібні на випадок виходу з ладу бетонооздоблювальної машини;

- наявність інструменту і пристосувань для виправлення кромки і бічних граней покриття після проходу машин з ковзаючими формами, оброблення швів у свіжоукладеному бетоні, контрольних рейок для перевірки рівності покриття, шаблонів для вирівнювання покриття і видалення цементного молока при облаштуванні покриттів машинами на рельс-формах;

- наявність основних і допоміжних матеріалів для своєчасного і безперебійного відходу за свіжоукладеним бетоном і захисту його від атмосферних дій.

Перед початком укладання бетонної суміші слід перевірити:

- правильність установки копірних струн;
- правильність установки рейок-форм, надійність кріплення стикових з'єднань окремих ланок і ретельність мастила бічних стінок форм;

- надійність кріплення заставних елементів в конструкціях швів розширення, штирів поперечних швів стискування і подовжніх швів, а також арматурних сіток;

- достатність зволоження вирівнюючого шару з необробленого піску, піщаної, щебеневої або гравієвої основи.

Установка копірної струни. Копірна струна повинна служити базою автоматичної системи забезпечення рівності конструктивних шарів дорожнього одягу. Її слід встановлювати з однієї або двох сторін машини.

Від однієї копірної струни допускається робота профілювальника з системою поперечної стабілізації рівня, розподільника бетонної суміші, трубного фінішера і машини для нанесення плівкотвірних матеріалів.

Бетоноукладач з ковзаючими формами повинен працювати, як правило, від двох копірних струн. При гарантованій необхідній рівності основи допускається робота бетоноукладача від однієї копірної струни.

Копірну струну слід закріплювати паралельно осі дороги приблизно на відстані 7 м. Висота установки копірної струни над верхом земляного полотна знаходиться в межах 0,5-1 м.

Копірну струну необхідно закріплювати в кронштейнах на стійках, що встановлюються на відстані не більше 15 м один від одного на прямих ділянках і 4-6 м на віражах. Довжина ділянки зі встановленими копірними струнами має бути не менш змінної продуктивності комплекту машин.

Комп'ютерна - лазерна прив'язка. Практично в комплектації усіх моделей машин Gomaco, що випускаються нині, входить потужна мікропроцесорна система G21, яка дозволяє, наприклад, замість копірних струн, натягнутих за допомогою лебідки, що зазвичай закріплюється на земляній основі, використати по маршруту переміщення бескопирную технологію укладання бетону. У її основі - представлення маршруту і порядку укладання в пам'яті бортового комп'ютера у вигляді тривимірного простору ознак, і строга витримка заданих ухилів за допомогою лазерної тахеометрії. Завдяки G21 використовуються кнопкове рульове управління усіма керованими гусеницями і стежачи система витримки заданого курсу за допомогою «інтелектуальних» гідроциліндрів. При автоматичній витримці заданих висотних відміток і курсу, а також під час роботи за бескопирной технологією програмне забезпечення мікропроцесорної системи забезпечує стабілізацію рами машини в просторі.

Тестова частина G21 призначена, в першу чергу, для автоматичного визначення розривів в електричних ланцюгах, коротких замикань і помилкових кодів. Цим самим виявляється істотна допомога операторові у відшукуванні і усуненні можливих несправностей. Та і панель управління представляє йому таку комплексну інформацію по розташуванню і функціонуванню керованих механізмів, що її цілком вистачає для розуміння технічно грамотним фахівцем усіх функцій машини.

Відмітимо також наявність на Gomaco що широко поширився на усі моделі Gomaco вигладжуючого робочого органу Auto, що коливався, - Float, зовні схожого на лижу або дошку для віндсерфінгу шириною 216 мм і завдовжки 3660 мм, такого, що забезпечує остаточну обробку поверхні свіжоукладеного шару бетонного покриття. Подошва вигладжуючого робочого органу має пружинну підвіску, що виключає вплив на процес випрасовування маси основної рами. Причому на цей вигладжуючий робочий орган, що здійснює, крім усього іншого, і вібраційні коливання з частотою до 46 Гц, можна встановити водяну розпорошувальну систему з секційною трубою і розпилюючими соплами, розміщеними на відстані 305 мм один від одного.

При необхідності вигладжуючу лижу можна відразу ж встановити не уподовж, а під кутом до 45о до подовжньої осі машини. Хоча додаткові шарніри між опорними важелями і подошвою вигладжуючого органу дозволяють повертати останню відносно подовжній осі бетоноукладача. Швидкість поперечного зворотно-поступального руху каретки з вигладжуючою лижею можна безступінчатий регулювати в межах від 0 до 19,81 м/хв. Швидкість поперечного переміщення каретки, частоту коливань подошви вигладжуючого органу і час затримки каретки на кожному бічному кінці рами регулюють за допомогою окремого гідророзподільника.

Робочий орган Auto – Float (рис. 2.6) має силовий привід від гідросистеми бетоноукладача. Панель управління гідроприводом лижі(включенням/виключенням і зміною швидкості поперечного

переміщення) розташована на одному з кінців рами робочого органу. При зупинці машини відбувається автоматичне відключення не лише системи натягнення гусениць, але і приводу вигладжуючого робочого органу.

Auto - Float призначений також для остаточного оздоблення бетонних покриттів з поперечними ухилами.

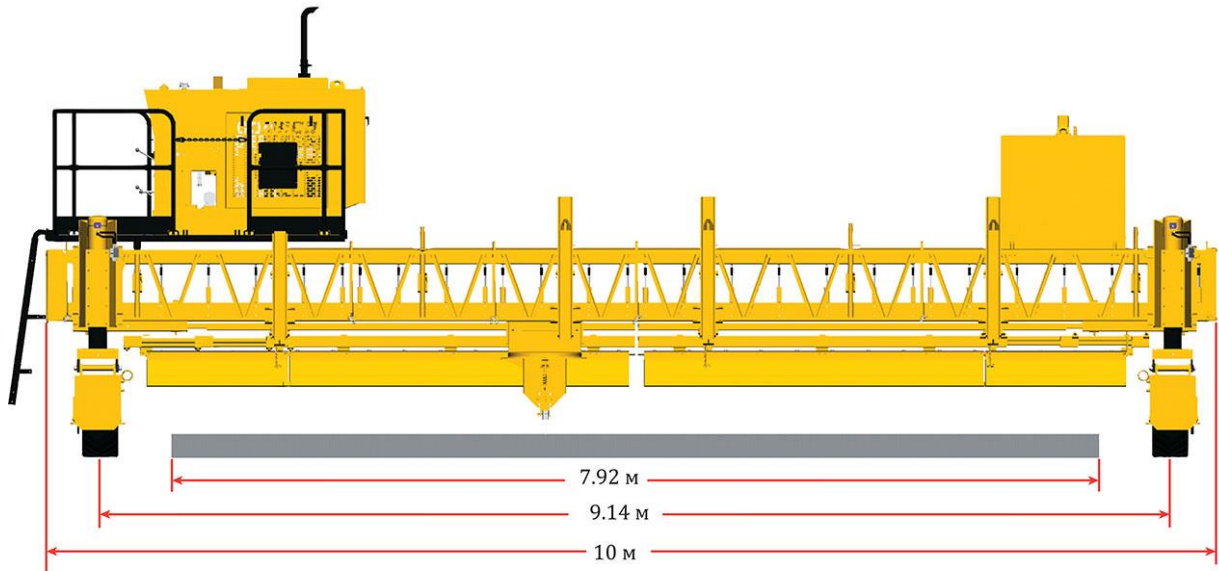


Рисунок 2.6 – Розміри машини Gomaso T/C-400

При укладанні бетону в обмежених умовах - поблизу розділових бар'єрів або при заміні смуг покриття вулиць в житлових районах міст на бетоноукладач Commander III встановлюють спеціальних вузькопрофільних гусеничних рушіїв з високорозташованим приводом. А при створенні бетонних бар'єрів можливе використання устаткування для обробки поверхонь бар'єрів фірми SlipStone, Inc., що є двома рельєфним барабаном, що "відкочують" через поліетиленові плівки, що накладаються, малюнки з обох боків бар'єру, що зображують, наприклад, кам'яну кладку.

Консольні гусеничні опори, що обертаються, підвищують мобільність машини і полегшують її вантаження в транспортні засоби, зокрема, на звичайний автонапівпричіп або платформу.

Установка рейок-форм. Рейка-форми слід встановлювати з точністю і надійністю, що забезпечують задану рівність поверхні покриття. Рейка-

форми необхідно встановлювати на міцну основу з ґрунту, укріпленого терпкими, з щебеню або гравію.

Допускається установка рейок-форм на розширену основу дорожнього одягу. Якщо така основа не забезпечує беспросадочного положення рейок-форм під навантаженням від машин бетоноукладочного комплексу, то під рейко-формами має бути влаштована посилена основа.

Перед установкою має бути перевірений стан і правильність геометричних розмірів рейок-форм. Викривлення рейок-форм у вертикальній площині не повинні перевищувати 2 мм, в горизонтальній площині - 5 мм. Різниця висоти ланок рейок-форм на стиках не повинна перевищувати 2 мм.

Рейко-форми мають бути очищені від старого бетону.

Рейко-форми слід встановлювати тільки після приймання готового земляного полотна і основи на ділянці завдовжки не менше 500 м.

До будівництва покриття встановлені рейко-форми мають бути обкатані найбільш важкою машиною комплексу. Виявлені, що просіли необхідно усунути підбиттям основи і підйомом рейок-форм з перевіркою їх положення нівеліром. Рейко-форми повинні спиратися на основу усією нижньою площиною без просвітів. Відхилення відміток рейок-форм від проектного положення після обкатки не повинні перевищувати 5 мм.

Перед облаштуванням вирівнюючого шару необхідно зробити контрольну перевірку рівності основи з метою забезпечення необхідної товщини бетонного покриття по усьому поперечному його перерізу. Для цього дозволяється використати той, що пересувається по рейко-формам шаблон, забезпечений металевими штирями діаметром 20 мм, встановленими через 20-30 см .

Для забезпечення нормальної роботи машин по облаштуванню покриття довжина ділянки зі встановленими рейко-формами має бути не менш змінної продуктивності. При цьому на один комплект бетоноукладочних машин повинно бути не менше 600 м рейок-форм в дві нитки.

Безпосередньо перед укладанням бетонної суміші рейко-форми необхідно змастити з внутрішньої сторони відпрацьованою олією.

Їх слід знімати не раніше 24 ч після укладання бетонної суміші. Відділяти рейко-форми від бетону слід за допомогою пристосування, що зберігає цілісність бічних граней і кромek плит.

Для швидкої і правильної установки рейко-форми рекомендується пронумерувати, щоб при перестановці зберігався постійний порядок їх розташування.

При транспортуванні на нове місце, а також при розкладці вантаження рейок-форм слід робити за допомогою крану. Забороняється переміщати їх волоком.

Виготовлення і установка прокладень і штирів для швів розширення. Прокладення для швів розширення повинні виготовлятися з чисто обрізних дощок завтовшки 30 мм, завдовжки 3500 мм(для покриттів шириною 7 м) або 3750 мм(для покриттів шириною 7,5 м).

Отвори в прокладеннях для пропуску штирів мають бути на 1 мм менше їх діаметру. Прокладення мають бути підібрані, підготовлені і оброблені так, щоб забезпечити прямолінійність шва розширення.

Для ізоляції бітумом штирі нагрівають до 60-80°C і опускають на необхідну довжину в котел з розплавленим бітумом; стержні укладають на стелаж під провітрюваним навісом.

Таким же способом дозволяється робити обмазку штирів для швів стискування. Кінці штирів мають бути рівними, без задирок.

З метою освіти у бетоні простору для безперешкодного ковзання в швах розширення штирів при температурних деформаціях плит на кінці, що обмазали бітумом, перед укладанням суміші необхідно надівати гільзи-ковпачки з гуми або поліетилену низьких сортів. Повітряний проміжок між торцем штиря і дном гільзи-ковпачка має бути рівним товщині прокладення. Вказаний проміжок слід створювати шляхом пристрою усередині гільз потовщення стінки у вигляді одного або двох наростів перерізом 3(3 мм і



завдовжки, рівній товщині прокладення-дошки. Гільзу-ковпачок необхідно надіти на штир до упору у вказаний наріст. Внутрішній діаметр гільзи має бути рівним діаметру штиря, щоб виключити попадання цементного розчину всередину гільзи-ковпачка.

Прокладення разом з штирями і підтримувальним каркасом слід встановлювати на остаточно ущільненій і спрофільованій основі або вирівнюючому шарі.

Перед установкою дерев'яні прокладення необхідно насичувати впродовж 24 ч водою і встановлювати в проектне положення.

При установці за місцем проміжок між суміжними прокладеннями по осі покриття не допускається. Для того, щоб попередити утворення бетонних пробок в швах по осі покриття прокладення, до початку робіт необхідно підігнати їх за місцем і зробити косий зріз ножівкою(при двоскатному профілі) для створення щільного примикання по усій товщині стыкування прокладень. По осі покриття суміжні прокладення повинні з'єднуватися металевими скобами з дроту діаметром 6 мм.

Прокладення мають бути закріплені металевими штирями, які забивають з обох боків через 0,8-1 м. Прокладення слід розташовувати у вертикальному положенні і перпендикулярно осі покриття за шаблоном так, щоб у плит виходили прямі кути.

При будівництві бетонних покриттів машинами з ковзаючими формами дозволяється у разі використання розподільника встановлювати прокладення шва таким чином:

- прокладення слід обрізувати з обох кінців приблизно на 15 см, щоб забезпечити прохід розподільника;
- після проходу бетоноукладача необхідно вручну відновити прокладення шва на усю ширину покриття.

При роботі без розподільника прокладення слід обрізувати з обох кінців приблизно на 2-3 см

Правильність установки прокладення, а також надійність її кріплення повинен контролювати виробник робіт.

Установка арматури і штирів в швах стискування. Арматура має бути виправлена, очищена від бруду, олій, іржі і окалини. Арматуру слід встановлювати після остаточної обробки, планування і ущільнення основи або вирівнюючого шару.

Стержні крайової арматури необхідно укласти на бетонні підкладки або підставки з арматурної сталі діаметром 10-12 мм. Стержні допускається укласти на валики зі свіжої бетонної суміші з випередженням не більше 10 м від місця ущільнення, не допускаючи зміщення арматури при проходах бетоноотделочной машини.

Зварні сітки з робочою арматурою діаметром не більше 8 мм допускається укласти на бетонну суміш, розподілену по основі, з припуском на ущільнення і з урахуванням проектного положення, а також встановлювати в проектне положення в процесі бетонування методом вибровтапливання відповідно до вказівок цієї Інструкції.

Зварні сітки з подовжніми стержнями діаметром досвіді 8 мм слід встановлювати в проектне положення на приварені до стержнів сітки-підставки, як правило, до бетонування. Відстань між підставками дозволяється приймати в межах 0,8-1,2 м.

У поперечних швах стискування штирі в проектне положення повинні встановлюватися, як правило, на підставках з арматурної сталі діаметром 8-10 мм. Допускається занурювати штирі шляхом вібрації у бетон. Спосіб установки повинен забезпечувати збереження проектного положення штирів в процесі бетонування.

Профілізація і розподіл бетонної суміші. При будівництві покриття шириною 7,5 м машинами з ковзаючими формами попередній розподіл бетонної суміші і випадку застосування розподільника слід здійснювати на ширину 7,3-7,35 м.

Бетонну суміш треба розподіляти з урахуванням припуску на ущільнення. При будівництві покриття машинами з ковзаючими формами на розподільнику або бетоноукладачі на початку зміни або після тривалих перерв в роботі рекомендується робити припуск 5-7 см, якщо проектна товщина покриття дорівнює 22-24 см. Вказаний припуск необхідно витримати на ділянці завдовжки 10-15 м, після чого його слід зменшити до 3-5 см. При укладанні бетонної суміші машинами, що пересуваються по рельс-формам, припуск рекомендується встановлювати рівним 2-3 см. При необхідності його величину коригують в процесі укладання.

Бетонну суміш слід розподіляти рівномірно по усій ширині покриття без пропусків. Технологічний розрив між розподільником суміші і бетоноукладачем залежить від погодних умов, наявності заставних елементів і складає 10-30 м.

Бетонну суміш біля прокладень швів розширення слід розподіляти так, щоб не виникало відхилень прокладень і штирів від проектного положення. Для виконання цієї умови суміш необхідно розподіляти, встановивши бункер розподільника по осі прокладення.

Незважаючи на велику роль при будівництві монолітних бетонних профілів і підстав(покриттів) бетоноукладачів, специфіка роботи з цементом зажадала створення ряду додаткових типів машин.

Зокрема, до окремого класу механізмів відносяться розподільники-перевантажувачі бетонної суміші і інших матеріалів виробництва тієї ж компанії Gomaco на ширину розподілу до 15,2 м. Вони розраховані для роботи як з самоскидами, так і автобетоносмесителями на різних об'єктах, що у тому числі вимагають застосування сталевих армокаркасов. Збереження безперервного руху бетоноукладача - важлива умова для досягнення найвищої якості робіт і високої продуктивності при укладанні бетонного покриття з використанням ковзаючої опалубки. Тому розподільник бетонної суміші треба розглядати як складову частину бетоноукладача комплексу.

Власне кажучи, такий розподільник є спрощеною конструкцією двох гусеничного бетоноукладача, головними робочими органами якого є розподільний гвинтовий механізм і перевантажувальний конвеєр(7,62 x 1,52 м у моделі PS - 2600) з висотою підйому секції до 4,27 м.(рисунки 2.7).



Рисунок 2.7 - Гусеничний бетоноукладач з розподільним гвинтовим механізмом і перевантажувальним конвеєром

PS - 2600 - Машина забезпечує прийом бетонної суміші з самоскида, подання матеріалу на ґрунт і його розподіл на необхідну ширину(до 9,75 м.) і товщину(до 483 мм.). Є можливість установки спеціального бункера для розподілу щебеню. PS- 4000-2- х або 4-х гусенична машина для максимальної продуктивності в розподілі, із стрічковим конвеєром, телескопічною рамою, шнеком із швидкістю обертання до 45 про/хв.

RTP - 500 - Перевантажувач на гумових гусеницях, що має приймальний бункер об'ємом 3,63 м<sup>3</sup> з шнеком, для проектів з великим об'ємом бетону, що доставляється самоскидом. Має передатний і основний(задній) конвеєр довгою 10,67 м. для швидкого і точного подання матеріалу поверх копірної струни або будь-яких інших перешкод на необхідну ширину.

Конвеєр RC - Економічний варіант для швидкого розвантаження автобетономішалок в премный бункер і подання бетонної суміші на необхідну ширину укладання за допомогою спеціальної візка-зіштовхувача.

Часто застосовується для подання бетону на похилі поверхні(укоси) до 550 шириною до 41 м.



Рисунок 2.8 – Машини PS – 2600 та Конвеєр RC

Ущільнення бетонної суміші і обробка поверхні покриття при роботі машин з ковзаючими формами. Ущільнення бетонної суміші і обробку поверхні покриття при облаштуванні його в ковзаючих формах слід здійснювати бетоноукладачем на гусеничному ході, що входить в комплект високопродуктивних машин(рис. 2.9).



Рисунок 2.9 – Ущільнення бетонної суміші і обробка поверхні покриття при роботі машин з ковзаючими формами

Робочі органи машин комплекту слід регулювати, керуючись інструкцією з експлуатації, з урахуванням того, що при налаштуванні бетоноукладача на роботу в автоматичному, режимі швидкість переміщення

гідроциліндрів підйому і опускання головної рами повинна знаходитися в межах 0,2-0,25 м/мін, на розподільнику бетонної суміші - 0,3 м/мін, на гідроциліндрах рульового управління в межах 0,3-0,4 м/мін у гусеничних машин і 0,5-0,6 м/мін у колісних.

При попередньому налаштуванні робочих органів бетоноукладача необхідно:

- первинну дозуючу заслінку встановлювати на 3-4 см вище за низ бічних рам(проектної відмітки поверхні покриття);
- глибинні вібратори встановлювати при повністю висуненому штоку гідроциліндра траверси, як правило, в середній по товщині влаштовуваного покриття площини;
- вторинну дозуючу заслінку(вібробрус) встановлювати на 0,5-1 см вище за поверхню покриття;
- первинний брус, що коливається, встановлювати на 0,3-0,4 см вище за проектну відмітку поверхні покриття з кутом наповзання;
- вторинний брус, що коливається, встановлювати на 0,1-0,3 см вище за відмітку поверхні покриття з кутом наповзання 1°;
- вигладжуючу плиту регулювати гвинтами по шнуру з підняттям передньої частини на 3-5 см

Якість ущільнення бетонної суміші глибинними вібраторами і віброформування бетонного покриття залежить від того, наскільки швидкості руху бетоноукладача відповідає рухливість(жорсткість) бетонної суміші.

З метою забезпечення високої якості бетонного покриття бетоноукладач повинен переміщатися безперервно з постійною швидкістю.

В процесі бетонування глибинні вібратори бетоноукладача мають бути повністю занурені в суміш. Характерною ознакою нормального протікання процесу ущільнення служить інтенсивне "кипіння" бетонної суміші, що супроводжується виділенням бульбашок повітря.

В процесі бетонування також слід забезпечувати сплошність поверхні ущільненої бетонної суміші після вібробруса з електромагнітними



вібраторами і наявність валиків бетонної суміші, рівномірних по усій ширині брусів, що коливаються; висота валиків повинна знаходитися в межах 20-25 см для первинного бруса, що коливається, і 10-15 см для вторинного.

При облаштуванні бетонних покриттів, армованих зварною сіткою з робочою арматурою діаметром до 8 мм, її дозволяється встановлювати в проектне положення в процесі бетонування віброзанурювачем, якого монтують на бетоноукладачі.

Чистову обробку свіжоукладеного бетонного покриття слід здійснювати відразу за бетоноукладачем трубним фінішером (рис. 2.10) за допомогою легких труб і мішковини. Довжину захватки дозволяється вибирати в межах 30-50 м.



Рисунок 2.10 - Фінішер С-450 для влаштування проїжджої частини

При необхідності захист свіжоукладеного бетону від атмосферних опадів у процесі бетонування слід здійснювати рулонною плівкою шириною 8 м, що закріплюється на машині для нанесення плівкоутворюючих матеріалів.

## 3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КАРТИ НА УЛАШТУВАННЯ ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ

### 3.1 Галузь застосування

Технологічна карта розроблена на основі застосування методів наукової організації праці та призначена для використання при розробці проекту виконання робіт, організації робіт та праці на об'єкті будівництва.

У цій технологічній карті передбачені:

- змінна продуктивність - 155 м покриття;
- склад комплексної бригади – 32 особи;
- витрати праці на 1000 м<sup>2</sup> покриття - 28,1 чол-дн;

В основу технологічної карти покладено такі вихідні дані.

Одношарове цементобетонне покриття має товщину 22 см і ширину 7,5 м і укладається по піщаному шару, що вирівнює, товщиною 5 см на цементногрунтовій основі;

- поздовжній шов нарізають у свіжоукладеному бетоні машиною ДНШС-60, а поперечні шви стиснення та розширення - у затверділому бетоні нарізником ДС-510;

- догляд за свіжоукладеним бетоном здійснюється нанесенням лаку етиноль або бітумної емульсії машиною ЕНЦ-3;

- цементобетонну суміш готують у двох установках безперервної дії С-543 або С-780 та доставляють автомобілями-самоскидами ЗІЛ-ММЗ-555.

Технологічна карта містить опис процесів у суворій послідовності з розрахунком потреби у матеріалах та засобах механізації, за допомогою яких процеси виконуються. Технологічна карта є подальшою деталізацією проекту виконання робіт.



### 3.2 Вказівки до виконання робіт

Цементобетонне покриття споруджують потоковим способом із застосуванням комплекту бетоноукладальних машин (рис. 3.1). Заштрихований гурток – машиніст; цифри у гуртках позначають розряд робітників; стрілками показані переміщення робітників

Вид робіт	Профілювання та ущільнення шару	Обмазування внутрішніх граней рейок – форм. Встановлює закладні деталі швів розширення. Укладання, ущільнення бетонної суміші та оздоблення поверхні. Нарізка контрольних швів у свіжоукладеному бетоні. Нанесення плівкоутворювальних матеріалів.
Схема потоку		
№ и довжина захваток	III - 155 м	IV - 155 м

Рисунок 3.1 - Технологічна схема влаштування цементобетонного покриття: 1 - профільувальник ДС-502А (Д-345); 2 – бункерний розподільник бетону; 3 – довга базова бетонооздоблювальна машина ДБО-7,5; 4 - нарізувач швів ДНШС-60-3М; 5 – тент; 6 - машина ЕНЦ-3 для розливу плівкоутворювальних матеріалів.

Підготовка піщаного шару. Через 7-10 діб після влаштування цементне - ґрунтової основи шириною не менше 8,5м доставляють автомобілями-самоскидами пісок та вивантажують його на основу згідно розрахунку. Потім автогрейдер Д-144 розрівнюють пісок шаром товщиною 5 см.

Для шару, що вирівнює, можна використовувати пісок, використаний для догляду за цементогрунтовою основою.

Встановлення рейок-форм. Рейку-форми дозволяється встановлювати після приймання цементно-грунтової основи на ділянці завдовжки не менше 500 м.

Перед установкою на прямолінійних ділянках траси провішують лінії обох ниток рейок-форм і позначають їх штирями, що забиваються через 40 м (рис. 3.2); на криволінійних ділянках траси лінію установки рейок-форм позначають штирями, що забиваються через 5-10 м.

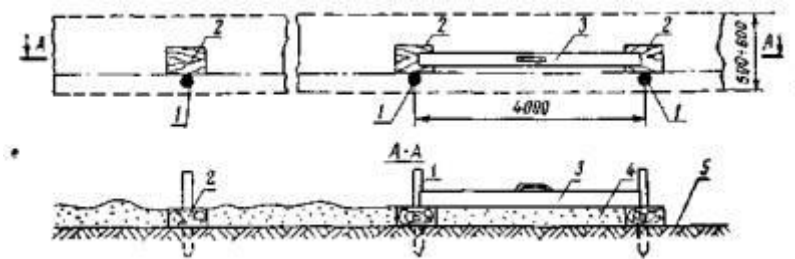


Рисунок 3.2 - Підготовка основи для встановлення рейок - форм:

1 – штирі, виставлені по лінії установки рейок – форм; 2 - підкладки під стики рейок - форм; 3 – контрольна рейка; 4 - піщаний шар, що вирівнює; 5 - цементогрунтова основа

Потім по лінії установки намічають місця розташування стиків рейок-форм. Для цього в створі зі штирями, що позначають лінію установки, в місцях розташування стиків рейок-форм під нівелір забивають штирі так, щоб зовнішній край кожного штиря лежав на межі, а верх - проектної позначки майбутнього покриття.

Поруч із контрольним штирем, встановлюють дерев'яні підкладки, користуючись шаблоном. Після встановлення підкладок на них встановлюють рейку, під якою вирівнюють піщаний шар, що підстиляє, врівень з верхом підкладок, і ущільнюють на ширину не менше 0,5 м.

Особливо ретельно слід вирівнювати і ущільнювати піщаний шар, що вирівнює, під ту нитку рейок-форм, з боку якої встановлений перевантажувальний ківш. Тому під стики цієї нитки необхідно укладати дерев'яні підкладки.

Автокраном, що розташовується по середині основи, укладають рейки-форми з обох боків на підкладки, а потім виправляють їх положення в плані і висотою по штирях розбивальних. Суміжні ланки рейок-форм з'єднують замками і кріплять штирями до основи. З однієї стоянки автокрана (без встановлення аутригерів) встановлюють по 2-3 ланки кожної нитки.

Встановлені рейки-форми обкатують профільником Д-345, перевіряють нівеліром позначки в кожному стику рейок-форм і в місцях просадок підштоплюють пісок. Окремі нерівності в рейках-формах та їх стиках не повинні перевищувати 2 мм у вертикальній та 5 мм у горизонтальній площинах.

Для швидкої та правильної установки рекомендується пронумерувати рейку-форми, щоб при перестановці зберігався постійний порядок їх розташування.

Кожна ланка рейок-форм має бути закріплена чотирма штирями того ж діаметра, що й отвори в підшві рейок-форм.

Рейки-форми необхідно систематично очищати, а всі несправні замінювати. Забороняється переміщати рейку-форми волоком.

Остаточне профільування та ущільнення піщаного вирівнюючого шару

Піщаний шар, що вирівнює, остаточно профільують і одночасно ущільнюють машиною Д-345.

Профільуючий відвал машини встановлюють за допомогою двох штурвалів підйомного механізму на проектній відмітці шару, що вирівнює, з припуском 5 мм на ущільнення; ущільнюючий вибробрус встановлюють за допомогою двох спеціальних гвинтів так, щоб задня кромка піддону була на проектній відмітці шару, що вирівнює, а передня - на 5 мм вище.

Профільувальник підстави Д-345 за один прохід планує пісок шару, що вирівнює, і ущільнює його. У процесі роботи необхідно стежити, щоб висота піщаного валика перед відвалом профільника була в межах 7-10 см. Зайвий пісок відвалу перекидають лопатою в місця, де його бракує.

Після остаточного проходу профілювача валики піску, що залишилися у рейок-форм, прибирають урівень з поверхнею вирівнюючого шару.

Розстилання бітумінізованого паперу та встановлення конструкцій швів розширення

Бітумінізований папір, якщо він передбачений проектом, розстеляють, починаючи з протилежного боку завантаження розподільника Д-375. Перший рулон паперу розкочують впритул до рейок-форм і змащують край гарячим бітумом. Потім розкочують наступні рулони з перекриттям попереднього на 7-10 см. Торцеві стики склеюють гарячим бітумом з перекриттям на 7-10 см.

При такому порядку розстилання паперу краю її не задираються при укладанні бетонної суміші бункерним розподільником Д-375.

У місцях влаштування швів розширення встановлюють дерев'яні прокладки зі штирями та підтримуючим каркасом з арматурної сталі діаметром не менше 6 мм.

Штир ізолюють рідким бітумом на 2/3 довжини; товщина шару ізоляції має бути не більше 0,3 мм. На ізольовані кінці штирів надягають картонні або гумові ковпачки, заповнені на довжину 3 см тирсою або повстю.

Готову конструкцію шва розширення, що складається з двох частин довжиною 3,75 м, встановлюють строго перпендикулярно до осі дороги і надійно закріплюють штирями через 0,8-1 м. Стикуються кінці прокладок закріплюють скобами з дроту діаметром 6-8 мм. Для забезпечення щільного примикання прокладок їх стикують косим зрізом. Зазор між прокладками в стику не допускається, а між краєм прокладки та рейкою не повинен перевищувати 5 мм.

Прокладки повинні стояти вертикально, а штирі горизонтально (перпендикулярно площині прокладок).

Розподіл бетонної суміші машиною Д-375 та встановлення штирів у швах стиснення та поздовжньому шві. До початку бетонування внутрішні грані рейок-форм змащують вапняно-глиняним розчином, а порожнини між рейкою та бортом рейок-форм заповнюють сухим піском.

Бункер розподільника бетону Д-375 встановлюють у робоче положення так, щоб нижня кромка бункера була вищою за рейки-форми на 2-3 см для утворення запасу бетонної суміші на ущільнення.

Конструкція бункерного розподільника Д-375 розрахована на доставку бетонної суміші автомобілями-самоскидами з бічним розвантаженням. Для застосування самоскидів із заднім розвантаженням на розподільнику Д-375 монтують розвантажувальний ківш.

При влаштуванні одношарового покриття бетонну суміш розподіляють відразу на повну товщину з запасом на ущільнення 2-3 см з перекриттям поперечних смуг, що укладаються на 1/3 ширини бункера.

У місцях розташування швів розширення бетонну суміш слід розподіляти обережно, щоб уникнути пошкодження конструкції шва. Бункер, заповнений бетонною сумішшю, розташовують так, щоб його вісь була над швом, а потім рівномірно розподіляють суміш по обидва боки прокладки. Після розподілу суміш попередньо ущільнюють глибинним вібратором у рейок-форм та з особливою обережністю біля прокладок швів розширення.

Штир для поперечних швів стиснення заготовляють з гладкої арматури діаметром 18 мм, довжиною 50 см і на 2/3 довжини ізолюють бітумом. Крайні штирі розташовують на 0,25 м від рейок-форм, інші - з відривом 1 м друг від друга. Для встановлення штирів застосовують шаблон та віброзанурювач. Шаблон укладають на поверхню бетонної суміші так, щоб його поздовжня вісь збігалася з лінією шва (позначеною на рейках-формах раніше); штирі розкладають у пази шаблону і потім занурюють віброзанурювачем на проектну глибину.

Штирі поздовжнього шва заготовляють довжиною 50 см із арматурної сталі періодичного профілю діаметром 18 мм або довжиною 75 см - з гладкої арматури діаметром 16 мм. Ці штирі не ізолюють бітумом, їх розкладають упоперек поздовжнього шва на відстані 1 м один від одного.

Ущільнення бетонної суміші та оздоблення поверхні. Ущільнення бетонної суміші та оздоблення поверхні виробляють бетонообробною

машиною. Найкращу якість робіт забезпечує довгобазова бетонооздоблювальна машина.

Перед початком роботи налаштовують робочі органи машини Д-376: лопатевий вал, що ущільнює вібраційний брус, що гойдається, вигладжує вібраційний брус.

Нижні кромки лопатей, що розрівнюють, за допомогою двох регулювальних гвинтів встановлюють на позначці поверхні бетонної суміші (з урахуванням припуску на ущільнення). Положення нижніх кромок лопат фіксується на двох шкалах.

Задній край ущільнюючого вібробруса встановлюють на рівні головок рейок-форм (при підвищеній пластичності суміші нижче на 3-5 мм).

Піддон ущільнюючого вібробруса встановлюють під певним кутом наповзання. Для цього брус за допомогою штурвала опускають у крайнє нижнє положення, потім за допомогою ексцентриків на каретках підвіски, що пересуваються по рейках, регулюють величину підйому передньої кромки піддону. Залежно від консистенції бетонної суміші підйом передньої кромки має становити 3-5 мм. Після встановлення необхідного кута наповзання ущільнюючого вібробруса регулюють положення вібробруса, що вигладжує, за допомогою гвинтів його підвіски. Нижню порожнину вібробруса, що вигладжує, для бетонної суміші з осадкою конуса до 1,5 см встановлюють на одному рівні з задньою кромкою ущільнюючого вібробруса, для більш пластичної суміші на 2-3 мм нижче.

При нормальному режимі роботи машина Д-376 забезпечує рівномірне ущільнення суміші за 1-2 проходи першої швидкості (0,7 м/хв.). У процесі роботи необхідно постійно стежити за робочими органами та регулювати їхнє становище. Безперервний валик бетонної суміші повинен мати висоту 10-15 см перед лопатевим валом і 8-10 см - перед вібробрусом, що ущільнює; при порушенні цієї вимоги необхідно перевірити правильність встановлення бункера машини Д-375 та лопатевого валу бетонооздоблювальної машини; валик розчину перед брусом, що вигладжує, повинен мати висоту 2-4 см; зі

збільшенням цього валика необхідно трохи опустити ущільнюючий вібробрус; якщо після цього перед ущільнюючим вібробрусом накопичується надлишок бетонної суміші, необхідно опустити лопатевий вал, а на розподільнику Д-375 опустити бункер.

Під час роботи не можна зупиняти машину з вібраторами, що працюють, оскільки це веде до утворення нерівностей на покритті.

При утворенні раковин на поверхні бетонники вручну додають суміш у занижені місця та западини, після чого бетонообробну машину пропускають повторно. При цьому не рекомендується включати механізм вертикального гойдання вібробруса, що ущільнює, а його передню кромку слід підняти на 20-30 мм.

У процесі роботи бетонообробної машини бетонники, що йдуть по обидва боки машини, повинні постійно очищати рейки-форми та колеса машини від суміші. Після остаточного проходу бетонообробної машини бетонники усувають дрібні раковини та нерівності гладилками з довгою ручкою та обробляють кромки покриття.

Суцільне загладжування бетонної поверхні гладилками забороняється. Цементне молоко, що утворилося, видаляють з покриття скребками або капроновими щітками з довгими ручками, переміщуючи їх від осі до країв покриття без натиску.

Рівність готового покриття потрібно постійно перевіряти. Рейку довжиною 3 м укладають у поздовжньому та поперечному напрямках з перекриттям попередніх положень на 2 м. При рівній поверхні рейка прилягає до бетону всією площиною та після відриву залишає безперервний рівномірний слід.

Невеликі нерівності усувають вручну за допомогою прасування, а значні - додатковим проходом бетонооздоблювальної машини.

Кромки готового бетонного покриття обробляють металевою гладилкою із закругленим ребром. Гострим ребром прасування прорізають дрібну борозенку по лінії кромки, а потім закруглюють і вирівнюють її

гладилкою. Кромку слід обробляти ретельно, тому що рівні та закруглені кромки надають гарного вигляду покриттю та запобігають руйнуванню його країв.

Нарізка швів. Поздовжній шов нарізають у свіжоукладеному бетоні машиною ДНШС-60 з одночасним введенням у паз ізолювальної прокладки.

Шов повинен бути нарізаний негайно після остаточного проходу бетонообробної машини Д-376 та обробки поверхні покриття; наріжчик ДНШС-60 повинен йти за Д-376 з відривом трохи більше 10 м.

За вказівкою майстра для запобігання бетону від температурної та усадкової напруги цією ж машиною нарізають і поперечні шви стиснення через 2-3 плити. Інші шви стиснення нарізають дисковим наріжником.

Догляд за свіжоукладеним бетоном. Після обробки покриття і нарізки швів у свіжоукладеному бетоні поверхню бетону укривають тентом, вологою мішковиною або покривають плівкотвірними матеріалами(лаком етиноль, бітумною емульсією та ін.), які розподіляють машиною ЕНЦ-3 за два рази. Перший розлив(50 % повної норми) роблять після видалення цементного молока і зникнення водної плівки з бетонної поверхні.

Час нанесення плівкотвірного матеріалу залежить від температури повітря і швидкості вітру і орієнтовно складає від 5 до 30 мін після обробки покриття. Другий шар наносять після ретельного огляду покриття, стежачи за тим, щоб не залишалось недостатньо укритих місць.

У жарку пору року(при температурі повітря більше 25 °С), щоб уникнути перегрівання поверхні бетону променями сонця, після нанесення другого шару емульсії поверхню покриття забарвлюють вапняним розчином машиною ЕНЦ-3 або засипають шаром піску завтовшки 4-5 см після формування плівки.

Норма розливу бітумної емульсії має бути в межах 0,6-1 л/м<sup>2</sup>.

Зняття рейок-форм. Рейки-форми знімають не раніше чим через 18 ч після укладання бетону при температурі повітря 15 °З і вище і не раніше 24 ч при температурі нижче 15 °С.



Перед зняттям рейок-форм треба за допомогою лапчастих ломів витягнути усі штирі для кріплення рейок-форм до основи, а також вибити усі клини із замкових з'єднань. Потім кожен ланку рейок-форм обережно відділяють від бетону, постукуючи кувалдою по рейці. Не можна забивати лопи або металеві клини між бетоном і рейкою-формою.

Услід за цим рейко-форми очищають від залишків бетону і піску і вантажать автокраном на автомобіль за допомогою цангового захоплення, яке чіпляють за голівку рейки. При підйомі ланку рейок-форм відводять убік, одночасно розсовуючи ломом замкове з'єднання.

На автомобіль слід укласти не більше 12-15 ланок, уникаючи при цьому механічних ушкоджень рейок-форм. Одночасно з рейко-формами вантажать на машину штирі, заздалегідь зібрані в ящики. Автокран і автомобіль переміщуються по узбіччю.

Негайно після зняття рейок-форм грані бетонного покриття змащують плівкотвірним матеріалом і присипають піском.

### **3.3 Вказівки до організації праці**

Для виконання комплексу робіт з влаштування цементного покриття всю ділянку розбивають на наступні змінні захватки:

- 1) Завезення та розрівнювання піску;
- 2) Встановлення рейок-форм;
- 3) Профільування та ущільнення піщаного вирівнюючого шару;
- 4) Влаштування цементнобетонного покриття з нарізкою поздовжнього шва та догляд за бетоном;
- 5) Зняття рейок-форм;
- 6) Нарізка поперечних швів стиснення та розширення в затверділому бетоні та заливання їх бітумною мастикою.



Залежно від відстані і умов доставки суміші робота автомобілів і цементобетонного заводу має бути пов'язана з графіком доставки суміші.

Кількість автомобілів-самоскидів визначає розрахунком залежно від дальності возки суміші і швидкості руху з множенням на коефіцієнт 1,1-1,15, що враховує нерівномірність руху. Остаточну кількість автомобілів-самоскидів уточнюють в процесі роботи.

Автомобілі-самоскиди мають бути обладнані брезентовими тентами. При облаштуванні двошарового покриття для доставки сумішей різних марок мають бути закріплені певні автомобілі.

Робота організовується у дві зміни і виконується комплексною бригадою, що включає наступні ланки :

- ланка по перестановці рейок-форм;
- ланка по підготовці піщаного вирівнюючого шару;
- ланка по облаштуванню бетонного покриття, нарізці подовжнього шва і відходу за бетоном;
- ланка по нарізці поперечних швів стискування і розширення і заповненню їх мастикою.

Машиніст кожної машини зобов'язаний на початку зміни перевірити готовність машини до роботи, усунути дрібні несправності, заправити машину паливом і водою, в процесі роботи управляти машиною, а у кінці зміни очистити машину і повідомити механіка про помічені несправності.

Помічник машиніста бетонооздоблювальної машини Д-376 зобов'язаний постійно знаходитися на містку і стежити за робочими органами, а на початку і у кінці зміни допомагати машиністові в підготовці і очищенні машини.

Планування піщаного вирівнюючого шару виконує машиніст автогрейдера 6 разр., якого, як правило, до складу комплексної бригади не включають.

Ланка по перестановці рейок-форм

Машиністи автокранів

4 розр. - 2

Такелажники	2 розр. - 2
Дорожні робітники:	4 розр. - 2
	3 розр. -3

При роботі ланка виділяє такелажника 2 розр. і дорожнього робітника 3 розр., а також машиніста автокрана 4 разр. для зняття рейок-форм на ділянці, де бетон вже затвердів.

Дорожній робітник і такелажник на цій ділянці витягають лапчастим ломом штирі, закріплюючі рейки-форми, відділяють рейки-форми від бетону, стропують їх для вантаження в транспортні засоби. Під час перевезення рейок-форм ці ж робітники відділяють рейки-форми від бетону і засипають грані покриття.

Основний склад ланки веде установку рейок-форм.

Дорожні робітники 4 і 3 розр., працюючи по два на кожній нитці рейок-форм, виконують спільно з майстром розбивочні роботи, готують основу під рейки-форми, встановлюють і кріплять рейки-форми до основи.

Машиніст автокрана і такелажник 2 розр. подають рейко-форми до місця установки.

Ланка по підготовці піщаного вирівнюючого шару:

Машиніст профілювальника основи Д 345	5 розр.-1
Дорожній робітник	2 розр. -1

Дорожній робітник, знаходячись попереду профілювальника, підтримує постійний переріз піщаного валика по усій довжині відвала, підкидає бракуючу кількість піску або видаляє його надлишки.

Після остаточного ущільнення вирівнюючого шару дорожній робітник заповнює внутрішні порожнини рейок-форм сухим піском. В цей час машиніст переміщає профілювальник вперед на захватку по установці рейок-форм для їх обкатки.

Ланка по улаштуванню цементобетонного покриття:

Машиніст бункерного розподільника Д-375	6 розр.-1
Машиніст бетонооздоблювальної машини Д-	6 розр. -1

376

Помічник машиніста машини Д-376	5 розр. -1
Машиніст пересувної електростанції	4 розр. - 1
Слюсар будівельний	4 розр. -1
Машиніст машини ЕНЦ-3	5 розр. -1
Машиніст нарезчика ДНШС-60	4 розр. -1
Бетонярі:	4 розр. -4
	3 розр. -3
	2 розр. -3

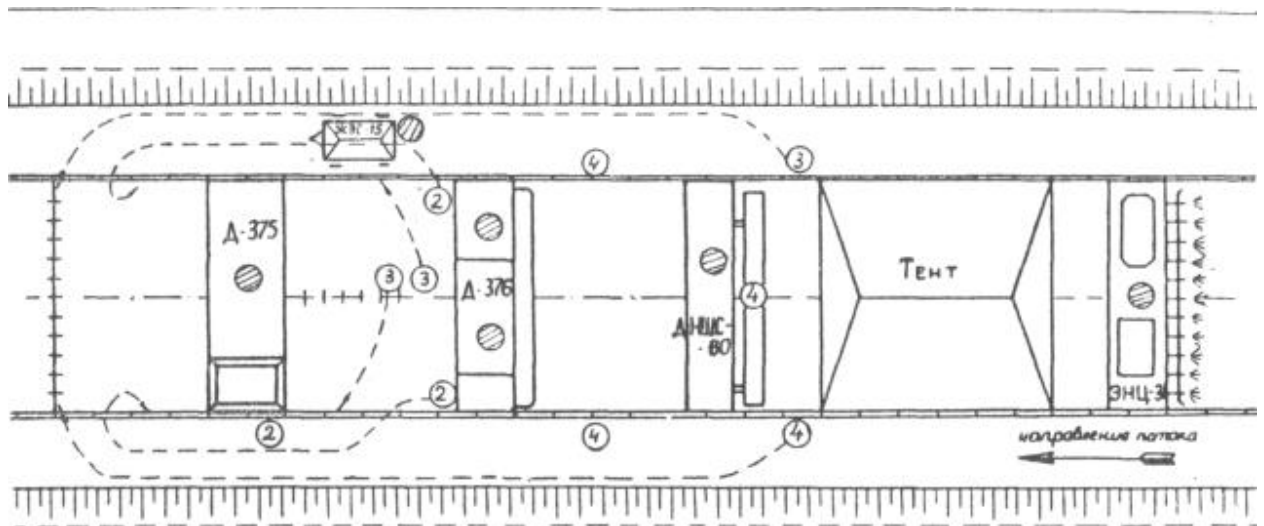


Рисунок 3.3 - Розстановка робітників на захваті: заштрихований гурток-машиніст, гуртки з цифрами, які позначають розряд робітників – бетонярі

Один бетоняр 2 розр. постійно знаходиться на містку бункерного розподільника, він очищає кузови самоскидів від залишків бетонної суміші, користуючись лопатою з подовженою ручкою.

Два бетоняря 2 розр. на початку зміни змащують кистю внутрішні грані рейок-форм розрідженим бітумом, а потім переходять до машини Д-376, де підкидають бетонну суміш до лопатевого валу для підтримки безперервного валика заввишки 8-10 см, очищають рейко-форми від залишків суміші і у

міру просування усього комплексу машин допомагають бетоняра 3 і 4 розр. пересувати тент.

Після проходу розподільника Д-375 два бетоняра 3 розр. встановлюють штирі в швах стискування і подовжньому шві за допомогою шаблону, ущільнюють суміш глибинними вібраторами у рейок-форм і біля прокладень швів розширення.

Услід за бетонооздоблвальною машиною Д-376 два бетонярі 4 розр. з обох боків покриття усувають дрібні дефекти(раковини, западини) гладилками, видаляють цементне молоко капроновими щітками, перевіряють рейкою рівність покриття і обробляють його кромки.

Один бетоняр 4 розр. знаходиться на містку наріжчика швів ДНШС-60 і обробляє подовжній шов після його нарізки. У вільний час він допомагає ланці бетонярів. Два бетонярі (4 розр. і 3 розр.) обробляють кромки-покриття. На початку зміни вони встановлюють конструкції швів розширення.

Слюсар 4 розр. на початку зміни допомагає машиністам бетоноукладочного комплексу в підготовці до роботи і технічному обслуговуванні машин.

Ланка по нарізці швів стискування і розширення:

Машиністи наріжчиків 4 разр.-2

Дорожній робітник 2 » -1

Машиністи наріжчиків розмічають лінії швів, управляють машинами при нарізці швів, переміщують їх по ділянці.

Дорожній робітник 2 розр. допомагає машиністам при пересуванні машин, переносить шланги, очищає покриття в зоні шва і засипає його піском після нарізки. Він також допомагає машиністам в очищенні машин.

Ланка по заповненню швів мастикою:

Машиніст компресора 4 разр.-1

Дорожні робітники 3 » -2

Машиніст компресора очищає шви металевим гачком і стислим повітрям.

Два дорожніх робітників заливають шви мастикою, один з них готує мастику, підносить її до заливщиків швів, підтримує вогонь в котлі.

Ланка по заповненню швів мастикою веде роботу в одну зміну і забезпечує заливку швів на подвійній захватці завдовжки 310 м.

### 3.4 Розрахунок калькуляції трудових витрат та проектування графіка виконання робіт з улаштування одношарового цементобетонного покриття

Таблиця 3.2 - Графік виконання робіт з улаштування одношарового цементобетонного покриття шириною (7,5 м, товщиною 22 см на дві захватки (2325 м<sup>2</sup>))

Найменування робіт	Одиниця виміру	Об'єм робіт	Трудо-місткість, чел-ч	Склад бригади	Дні зміни			
					1	2	1	2
Розрівнювання піску автогрейдером Д-144	100 м <sup>2</sup>	26,35	3,29	Машиніст 6 розр.-1	—		—	
Установка рейок-форм автокраном	100 м нитки	6,2	96	Машиніст 4 розр.-1 Такелажник 2 розр. -1 Дорожні робітники 4 розр. - 2 3 розр. -2	↑		↑	
Остаточна профілізація і ущільнення піщаного вирівнюючого шару	100 м <sup>2</sup>	23,25	32	Машиніст 5 розр.-1 Дорожній робітник 2 розр. -1	↑	↑	↑	↑

Облаштування цементобетонного покриття(мастило рейок-форм, установка прокладень швів розширення, установка штирів в швах стискування, ущільнення суміші у рейок-форм глибинним вібратором, закладення раковин і видалення цементного молока з бетонної поверхні, обробка кромки покриття, нанесення бітумної емульсин)	100 м <sup>2</sup>	23,25	240	Машиністи 6 розр.-2 Бетоняр 4 розр. - 3 3 розр. -3 2 розр. -3 Слюсар будівельний 4 розр.-1				
Нарізка подовжнього шва наріжчиком ДНШС-60	100 м шва	3,1	32	Машиніст 4 розр.-1 Бетоняр 4 розр. -1				
Зняття рейок-форм автокраном	100 м нитки	6,2	48	Машиніст 4 розр.-1 Такелажник 2 розр. -1 Дорожній робітник 3 розр. -1				
Нарізка швів стискування і розширення наріжчиками ДС-510(Д-903)	100 м шва	3,9	48	Машиністи 4 розр.-2 Дорожній робітник 2 розр. -1				
Заповнення швів мастикою	100 м шва	3,9	24	Машиніст 4 розр.-1 Дорожні робітники 3 розр. -2				



Таблиця 3.3 - Калькуляція витрати праці на пристрій цементобетонного покриття шириною 7,5 м, товщиною 22 см на дві захватки (2325 м<sup>2</sup>)

№ з/п	Шифр норм	Найменування робіт	Склад бригади	Один. виміру	Об'єм робіт	Норма часу на одиницю виміру, чол-г.	Кількість чол-г на повний об'єм робіт
1	2	3	4	5	6	7	8
1	ЕНиР, § 17-1, табл. 2, № 1	Розрівнювання піску автогрейдером Д-144	Маш. 6 р.- 1	100 м <sup>2</sup>	26,35	0,125	3,29
2	ЕНиР, § 17-14, № 2	Установка рейок-форм автокраном	Маш. 4 р.- 1 Такелажник 2р.- 1 Дорожні робітники 4 р.- 2 3 р. -2 2 р. -1	100 м нитки	6,2	18,2	112,84
3	ЕНиР, § 17-15	Остаточна профілізація і ущільнення піщаного вирівнюючого шару профілювальником Д-345	Маш. 5 р.- 1 Дорожні робітники 2 р.- 2	100 м <sup>2</sup>	23,25	1,77	41,15
4	ЕНиР, § 17-17, таблиця 2, № 4б	Облаштування цементобетонного покриття (мастило рейок-форм, установка прокладень швів розширення, розподіл бетонної суміші машиною Д-375, установка штирів в швах стискування і " подовжньому шві, ущільнення суміші у рейок-форм вібратором, ущільнення суміші машиною Д-376, закладення раковин і видалення цементного молока з бетонної поверхні, нанесення бітумної емульсії машиною ЭНЦ-3 (М-28-60)	Маш. 6 р.- 2 5 р. -2 4 р. -1 Слюсар будівельний 4 р.- 1 Бетонники 4 р.- 3 3 р. -4 2 р. -4 Дорожній робітник 1 р.- 1	100 м <sup>2</sup>	23,25	12,42	288,77

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8
5	ЕНиР § Т1-14	Нарізка подовжнього шва нарізчиком ДНШС-60	Машиніст 4 р.- 1 Бетонник 4 р.- 1	100 м шва	3,1	4,6	14,26
6	ЕНиР, § 17-14, № 3	Зняття рейок-форм автокраном	Машиніст 4 р.- 1 Такелажник 2 р.- 1 Дорожній робітник 3 р.- 1	100 м нитки	6,2	7,5	46,5
7	Місцева норма	Нарізка швів стискування і розширення нарізчиками ДС-510(Д-903)	Машиністи 4 р.- 2 Дорожній робітник 2 р.- 1	100 м шва	3,9	13,32	51,95
8	ЕНиР, § 17-32, № 1	Заповнення швів мастикою вручну за допомогою лійки з попереднім очищенням швів від пилу і бруду стислим повітрям(компресором) з приготуванням мастики на місці	Машиніст 4 р.- 1 Дорожні робітники 3 р.- 3	100 м шва	3,9	7,4	28,86
	Разом: на два захватки (2325 м <sup>2</sup> )						587,62
	На 1000 м <sup>2</sup>						231,23

### 3.5 Основні техніко-економічні показники

Таблиця 3.4 – Техніко-економічні показники

Показники	Згідно графіку,	Згідно калькуляції,	На скільки відсотків показник по графіку більший(+) або менше(-), ніж по калькуляції,
Витрати праці на 1000 м <sup>2</sup> одношарового покриття, чел-дн	28,1	31,6	- 11,1
Середній розряд робітників	3,63	3,41	+ 6,5
Вироблення одного робітника в зміну, м <sup>2</sup>	35,6	31,7	+ 12,3

### 3.6 Матеріально-технічні ресурси

Таблиця 3.5 – Матеріально-технічні ресурси

Найменування	Кількість
1	2
А) Основні матеріали і напівфабрикати на 1000 м <sup>2</sup> покриття	
Цементобетонна суміш марки 350, м <sup>3</sup>	221
Прокладення для швів розширення, м	30
Бітумна емульсія, л	700
Ізол, м <sup>2</sup>	8,9
Мастика тіоколова або резинобітумна, л	92,9

## продовження таблиці 3.5

1	2
<b>Б) Машини</b>	
Автогрейдер Д-144	1 (притягується періодично)
Автокрани До-51	2
Профілювальник основи Д-345	1
Розподільник бетонної суміші Д-375	1
Бетонооздоблювальна машина Д-376 або довгабазова ДБО-7,5	1
Машина по розливу бітумної емульсії ЭНЦ-3	1
Наріжчик ДНШС-60	1
Компресор ЗИФ-55	1
Наріжчики ДС-510(Д-903)	2
Електростанція ЖЭС-15	1
Заливщики швів	2
Поливомоечна машина КПМ-1	1 (притягується в міру необхідності)
<b>В) Інструмент і пристосування</b>	
Сталева рулетка	1
Лапчасті ломи	2
Поверхневі вібратори(типу З-413)	2
Глибинні вібратори(типу І-116)	2
Молотки	2
Кувалди	4
Ломи	6
Совкові лопати	6
Штикові лопати	12
Рівні	2

## продовження таблиці 3.5

1	2
Теслярські сокири	3
Гладилки з ручками завдовжки 3-3,5 м	3
Різні гладилки	6
Кельми	2
Контрольні рейки завдовжки 3 м	2
Шаблони для розкладки штирів при віброзаглиблені	2
Пристосування для занурення штирів	1
Глибинні вібратори(типу І-116)	2
Пересувний бітумний котел місткістю 1200-300 л	1
Кисть для мастила рейок-форм і торців бетону	2
Відра	4

## 4 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПРИ ВИКОНАННЯ РЕМОНТНИХ РОБІТ ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ

### 4.1 Ремонт поверхневого шару цементобетонного покриття

Підготовку поверхні ремонтваної ділянки виконують дуже ретельно, оскільки від неї багато в чому залежать міцність зчеплення ремонтних складів з поверхнею старого бетону і опірність руйнуванню відремонтованої ділянки при дії на нього транспортних навантажень і природно-кліматичних чинників.

Підготовка поверхні цементобетонних покриттів включає наступні операції: видалення слабого або зруйнованого шару бетону з облаштуванням вертикальних стінок. Очищення від пилу, сміття і бруду поверхні покриття, а також його промивання і просушування(при необхідності).

Вимоги до підготовки ремонтваних бетонних поверхонь встановлюють залежно від міри їх руйнування і матеріалів, вживаних для виконання ремонтних робіт.



Рисунок 4.1 – Ремонт дорожнього покриття

Для визначення глибини і міри руйнування бетону покриття рекомендується виконати відбір і випробування кернів на міцність, міцність, пористість і морозостійкість.

Обрізання бетону по контуру роблять алмазним інструментом по площині, перпендикулярній бетонній поверхні, на глибину не менше глибини зруйнованої поверхні з подальшим видаленням ослабленого бетону перфораторами, відбійними молотками, дротяно-голчастими пістолетами, металевими щітками, піскоструминними установками, шліфувальними машинами і фрезами. Перевагу слід віддавати обробці бетону піскоструминними установками, шліфувальними машинами і дротяно-голчастими пістолетами.

Глибина складок в тіло «здорового» бетону алмазним інструментом не повинна перевищувати 20 мм. Видалення бетону на глибину руйнування по кутах роблять перфораторами або відбійними молотками.

Видалення з поверхні покриття сміття, бруд і пил роблять шляхом очищення, продування і промивання поверхні. Очищення поверхні роблять електрощітками, при невеликих об'ємах робіт - вручну металевими щітками.

Перед нанесенням складу ґрунтовки ремонтвана поверхня цементобетонного покриття має бути очищена від пилу продуванням повітрям від компресора, що має водо- чи масловіддільник.

При використанні як ремонтний матеріал бетонів на основі мінеральних терпких слідує не пізніше 30 хв. до початку укладання суміші зволожувати поверхню до стану повного насичення бетону водою. Безпосередньо перед укладанням ремонтного складу надлишки води з ремонтваної поверхні видаляють стислим повітрям або за допомогою дрантя.

В процесі підготовки бетонних поверхонь при розкритті арматурних стержнів не допускається їх ушкодження алмазними дисками. Максимальна глибина різання бетону по периметру ремонтваної ділянки в цьому випадку

не повинна перевищувати товщину захисного шару, а мінімальна має бути 20 мм.

При видаленні пошкодженого бетону навколо арматурних стержнів не допускається механічна дія на арматуру відбійних молотків або перфораторів з метою зниження впливу вібрації на зчеплення арматури з бетоном.

Розкриті арматурні стержні мають бути повністю оголені, а проміжок між підготовленою поверхнею бетону і стержнем має бути не менше 10 мм при великості заповнювача в ремонтному матеріалі до 5 мм і не менше 20 мм при великості заповнювача більше 5 мм.

Сталева арматура після розкриття має бути очищена від іржі і окалини.

Для ремонту поверхневого шару бетону використовують матеріали на основі мінеральних терпких, штучних смол. Для оперативного ремонту(у виняткових випадках) можливе використання литих, а також гарячих і холодних асфальтобетонних сумішей.

Цементобетонне покриття і ремонтні матеріали повинні мати по можливості близькі модулі пружності і коефіцієнти лінійного температурного розширення. Усадка ремонтних складів під час твердіння і подальшої експлуатації має бути мінімальною.

Швидкотвердіючі високоміцні бетони(ШВБ) рекомендується застосовувати при товщині ремонтваного шару не менше 10 мм для ремонту: лушення поверхні бетону, сколов кромки і кутів плит. ШВБ можуть бути використані також для бетонування зруйнованих ділянок.

Для ремонту місць неглибокого лушення поверхні цементобетонних покриттів можливе використання матеріалів на основі модифікованих епоксидних смол. Основною перевагою матеріалу на основі модифікованих епоксидних смол є мала початкова в'язкість, відсутність розчинників в складі, низький модуль пружності в затверділому стані і велике граничне відносне подовження.

Для підвищення зчеплення ремонтного матеріалу з бетонним покриттям використовують малов'язку модифіковану епоксидну смолу, що



не містить розчинник. Витрата смоли для грунтовки залежно від пористості бетонної поверхні складає 300 - 500 г/м<sup>2</sup>

До характерних дефектів та руйнувань жорстких покриттів автомобільних доріг можна віднести: лущення поверхневого шару цементобетонну. Лушпиння - це відшаровування від поверхні бетонного покриття тонких шарів бетону у вигляді лусочок товщиною 2-5мм або тонких лясок до 40мм і фарбування дрібних частинок, що складають основу бетону - пісок, щебінь, цементний камінь.

Лущення поверхні покриття сприяє подальшому фарбуванню більшого заповнювача бетону і призводить до виникнення поверхневого руйнування, і як наслідок до утворення раковин, вибоїн, а потім вже і до скол, проломів, і просадок дорожніх плит.



Рисунок 4.2 - Технологія усунення лущення цементобетонного покриття

Руйнування верхнього поверхневого шару дорожнього бетонного покриття в процесі експлуатації в більшості випадків відбувається через недостатню морозостійкість бетону, спричинену порушенням технології робіт при будівництві дороги. У зв'язку з цим уповільнити (або припинити) деструктивний процес, що сприяє лущення можливо за допомогою обробки цементобетонного покриття спеціальними відновними ремонтними складами, що підвищують його морозостійкість, в основному, за рахунок гідрофобізації поверхні бетону.

Технологія усунення лущення цементобетонного покриття залежить від глибини руйнування. Розглянемо нижче види та методи ремонту лущення бетону на бетонних дорогах.

1) Стабілізація поверхні бетону. Стабілізацію поверхні бетону має сенс проводити при початковій стадії утворення лущення (руйнування цементного каменю на глибину до 5 мм). Даний тип ремонт полягає в очищенні бетону піскоструминною або водоструминною установкою з наступним нанесенням першого і наступних шарів спеціального складу для стабілізації бетону.

2) Ремонт покриття при глибині лущення до 10мм. При глибині лущення до 10мм рекомендується попередньо вирівняти поверхню шляхом фрезерування спеціальною машиною, а потім зміцнити бетон спеціальним гідрофобізуючим складом за допомогою просочення.

3) Ремонт лущення глибше 10мм. При лущенні глибше 10мм виконується ремонт аналогічний ямковому ремонту сколів, раковин та вибоїн із застосуванням високоміцних ремонтних складів наливного типу вмістом полімерної та металевої фібри. Відмінність ямкового ремонту сколів та вибоїн від лущення у площі дефекту. Через великі розміри лущення допускається нарізати самохідним нарізачем з подачею води або великими дорожніми фрезами.

Вирівнювання поверхні покриттів і заміна окремих ділянок плит покриттів. Усунення невеликих нерівностей на покритті роблять шляхом

його фрезерування. Вирівнювання поверхні виконують на основі дефектації поверхні за даними нівеляції. Фрезерування покриття здійснюють за вказаною раніше технологією. Ця технологія служить, не лише для усунення нерівностей покриття, але і пов'язана також з підвищенням міри безпеки руху в результаті збільшення зчеплення коліс з бетонним покриттям. Нарізка борозенок для збільшення зчіпних якостей цементобетонних покриттів здійснюється канавками розміром 6 x 6 мм з відстанню між сусідніми борозенками в 50 мм.

Ті, що просіли поодиноких бетонних плит усувають укладанням швидкотвердіючого високоміцного бетону(ШВБ), полімербетонного килимка на повну глибину тієї, що просіла або підйомом плити з виправленням під нею основи.

Ремонт БВБ або полімербетоном здійснюють за технологією приведеною раніше. При цьому необхідно, як при ремонті сколов кромek і кутів плит, відновлювати деформаційні шви. При ремонті з ШВБ рекомендується насікати для кращого зчеплення ремонтного складу із старою плитою. Насічки виконують електрощітками або пневмоінструментом.

Під'їм плити з виправленням основи під нею виконують в тих випадках, коли плита, що просіла, не має значних дефектів, тобто не вимагає ремонту з поверхні. Для проведення робіт по підйому плит, що просіли, в кожній плиті просвердлюють від 6 до 8 отворів діаметром від 35 до 50 мм, що розташовуються рівномірно по усій поверхні плити. У отвори вводять штуцери і фіксують в них. Під впливом повітря, що поступає під тиском, бетонна плита відривається від основи. Потім під плиту подають швидкотвердіючий розчин шляхом всприска. Плити, що осіли, піднімають на необхідний рівень. Бурові отвори у верхній частині бетонної плити очищають і заповнюють спеціальним складом. Рух по відремонтованій ділянці можливо вже через 4 години після завершення робіт.

Роботи по заміні зруйнованих ділянок монолітним бетоном(ШВБ) складаються з підготовки місця для бетонування, приготування бетонної суміші, її укладання і ущільнення, відходу за бетоном.

При заміні зруйнованих ділянок плит роблять випилювання по контуру на повну товщину замінюваної плити і розрізання її на сегменти алмазним інструментом - нарізчиком з алмазною дисковою пилою. Важливим елементом цієї технології є підйом випиляних ділянок плит, що підлягають заміні. Для цього використовують спеціальні цангові захоплення, які встановлюють у свердловинах, вибурених в покритті. Це дозволяє видаляти зруйновані ділянки плит без ушкодження кромek сусідніх ділянок покриття.

Після видалення зруйнованих ділянок плит при необхідності ремонтують основу і влаштовують ковзаючий прошарок(поліетиленову плівку) між шаром основи і знову влаштовуваним покриттям.

Для забезпечення спільної роботи раніше укладених і нових плит покриття встановлюють арматурні каркаси і штирі.

При установці штирьових з'єднань в середині бетонного покриття горизонтально просвердлюють отвори усередині бетонної плити. Після очищення в просвердлений отвір вводиться штир, що самофіксується, при використанні двокомпонентного складу фіксації. Заточений кінець сталевого стержня механічно руйнує капсулу, що містить два компоненти фіксувального складу, шляхом обертального руху. При цьому обидва компоненти, рівномірно перемішуючись, розподіляються навколо стержня і, тверднучи, фіксують його. Час твердіння фіксувального складу - 30 хв.

Укладання бетонної суміші роблять з використанням засобів малої механізації, що дозволяють забезпечити отримання покриття необхідної рівності і заданого ухилу.

Усунення усадкових тріщин. Усадкові тріщини усувають шляхом наповнення їх цементною суспензією. Цементно-водну суспензію готують при водоцементному відношенні 0,5-0,7 з додаванням суперпластифікатора. Для приготування суспензії використовують особливо тонкодисперсні

цементі. Після перемішування впродовж 1...3хв. цементу з водою за допомогою високооборотного змішувача(3000 - 7000 о./хв.) суспензія придбаває дуже високу пенетраційну здатність.

Перед нанесенням суспензії поверхню плити ретельно очищають від сміття, пилу, бруду і зволожують.

За допомогою щіток наносять і втирають суспензію на оброблювану поверхню до припинення вбирання у бетон. Здійснюють відхід за поверхнею бетону звичайними засобами. Найбільший ефект досягається в тих випадках, коли тріщини усувають безпосередньо після їх появи.

Зміцнення поверхні бетону спеціальними складами. Просочувальні зміцнюючі склади застосовують для підвищення стійкості бетону до поверхневого лущення.

Рекомендується використати для зміцнення бетону склади, що забезпечують паропроницяемість бетону, а саме розчини фторсиліката магнію, цементно-водні суспензії, приготовані на основі тонкодисперсних цементів, а також розчини поліетилгідроксиліоксана.

Розчини фторсиліката магнію, проникаючи в поверхневий шар цементобетона, утворюють в порах і капілярах бетону важкорозчинні у воді з'єднання, що сприяє зміцненню структури цементобетона, підвищенню морозостійкості і зносостійкості покриття.

Нанесення розчину фторсиліката магнію роблять на поверхню бетону, очищену від забруднень і сторонніх речовин, що перешкоджають проникненню розчину у бетон.

Для цієї мети поверхня бетону піддається піскоструминній або водоструминній(160 - 180 атм.) обробці.

Нанесення розчину на поверхню покриття роблять кистю, валиком або розпилувачем зазвичай в три шари з контролем за утворенням кристалів на поверхні бетону після нанесення кожного шару.

Широке застосування для зміцнення поверхні бетону знаходить склад «Burke - o – Lith»(США), розчин фторсиліката магнію або цинку, що є, у

воді. При нанесенні на поверхню бетону він утворює щільне тверде покриття. Таке мінеральне армування значною мірою знижує абсорбцію води, олій, мастил і хлоридів бетоном.

Витрата складу для захисту поверхні бетону складає 0,15 - 0,4 л/кв. м залежно від стану бетону.

Гідрофобізація - це обробка поверхні цементобетонного покриття розчинами кремнійорганічних з'єднань з метою надання їй гідрофобних властивостей, тобто здібності незмочування водою.

Гідрофобизирующие розчини утворюють на поверхні покриття плівку, яка зміцнює поверхню, підвищуючи стійкість цементобетонного покриття до кліматичних і транспортних дій.

При гідрофобізації застосовують водний і уайт-спиритовий розчини поліетилгидросилоксана (кремнійорганічна рідина) концентрацією 3 - 5%.

Гідрофобізацію бетонної поверхні роблять нанесенням рівномірного шару гідрофобизируючого розчину фарборозпилювачем або кистями вручну на чисту суху поверхню. Виконують роботи при температурі зовнішнього повітря не нижче +10 °С, при цьому впродовж 48 годин поверхню бетону необхідно оберігати від зволоження. Витрата ГКЖ-94 на 100 кв. м покриття при одношаровому нанесенні складає 7,6 кг.

Зміцнення бетону в поверхневому шарі цементний-водними суспензіями, приготованими на основі тонкодисперсних цементів, роблять за технологією усунення усадкових тріщин.

Нанесення і втирання цементно-водної суспензії роблять за допомогою щіток до припинення вбирання у бетон. Поверхнєве просочення бетону істотно підвищує його міцність.

## **4.2 Призначення та обґрунтування технології капітального ремонту цементобетонних покриттів**

Критерієм для призначення капітального ремонту є таке експлуатаційний стан покриття, при якому міцність дорожня одягу, а також показники рівності та зчїпних якостей покриття одягу знизилися до гранично допустимих значень та не задовольняють збільшеним вимогам руху настільки, що неможливо або економічно недоцільно приводити їх у відповідність із зазначеними вимогами за допомогою робіт з ремонту та утримання.

Завдання капітального ремонту полягає у повному відновленні або підвищенні експлуатаційного стану покриття до рівня, що дозволяє забезпечити нормативні вимоги до споживчих властивостей у період до чергового капітального ремонту за інтенсивності руху, що відповідає розрахунковій для даної категорії дороги.

Капітальний ремонт, як правило, повинен проводитись на протягом ділянки покриття, що ремонтується.

Допускається проведення вибіркового капітального ремонту окремих ділянок покриття.

До складу капітального ремонту можуть бути включені роботи з ремонту, а також за змістом покриття на ділянці, що ремонтується, стан якого не вимагає капітального ремонту, якщо вказані роботи були виконані на початок капітального ремонту. До капітального ремонту цементобетонних покриттів відносяться насамперед роботи, пов'язані з перекриттям зношених покриттів шарами з асфальтобетону чи цементобетону, у тому числі з використанням армуючих та ізолюючих матеріалів, а також улаштування нових покриттів з використанням існуючих цементобетонних покриттів як основу після попередньої їх підготовки (розбивка на блоки, руйнування віброрезонансним способом тощо).

При капітальному ремонті застосовують такі основні способи посилення жорстких дорожніх одягів:

- будова шарів посилення з асфальтобетонних сумішей поверх старого цементобетонного покриття без порушення його суцільності;

- те саме, з попереднім дробленням старого цементобетонного покриття та ретельним ущільненням отриманого таким чином матеріалу основи;

- влаштування шару посилення з цементобетону, армобетону, фібробетону, модифікованого цементобетону.

Необхідні матеріали та способи посилення цементобетонних покриттів призначають на підставі порівняння різних варіантів конструкцій з урахуванням категорії дороги, стану несучого покриття, здатності існуючого дорожнього одягу, кліматичних та ґрунтово-гідрологічних умов.

Оцінку експлуатаційного стану цементобетонних покриттів виконують виходячи з результатів візуального огляду їх поверхні.

Перед проведенням обстеження вивчають наявну проектну та експлуатаційну документацію, включаючи дані про попередні обстеження покриття.

При обстеженні рекомендується вносити виявлені дефекти або у вигляді умовних зображень у плані, або у вигляді числових записів на картки. При можливості використовують метод фотореєстрації дефектів, у тому числі за допомогою аерофотографування.

У тих випадках, коли за результатами візуального обстеження не вдалося встановити і розпізнати приховані дефекти, які використовують інструментальні методи дефектації: ультразвуковий, тепловізорний, радіоізотопний, георадіаційний.

Підготовка цементобетонного покриття до капітального ремонту виконують ретельно, тому що від неї багато в чому залежить довговічність усієї конструкції жорсткого дорожнього одягу. Вимоги до підготовці цементобетонних покриттів встановлюють залежно від ступеня їх



руйнування та матеріалів, що застосовуються для виконання ремонтні роботи.

Перед виконанням підготовчих робіт розглядають результати обстеження та дані випробування цементобетонного покриття.

В окремих випадках на існуючі цементобетонні покриття укладають шари посилення без особливої підготовки.

Застосовуючи звичайні бетони, покриття ремонтують шарами товщиною не менше 10 см. При цьому внаслідок повільного набору міцності бетону, що знову укладається, доводиться закривати рух на ділянці дороги, що ремонтується, не менше ніж на 15-20 днів.

Для отримання високої якості відремонтованих цементобетонних покриттів та відкриття руху через 1-3 доби необхідно забезпечувати виконання таких вимог:

- для влаштування шарів посилення застосовувати високоміцні швидкотвердіючі бетони ( $R_{cu}$  65 і вище), що мають високу морозостійкість;
- забезпечувати спільну роботу бетонів ремонтних шарів та основи при великому опорі розтягуванню при згинанні бетону ремонтного шару.

Високоміцні бетони одержують із стандартних матеріалів, що випускаються вітчизняною промисловістю. Високі фізикомеханічні властивості досягаються за рахунок зниження водо цементного відносини (не вище 0,35) та введення добавок полі функціонального дії.

Перед укладанням модифікованої бетонної суміші на старе покриття наносять сполучний шар товщиною 1...2 мм із цементного клею.

Перед укладанням клею (за наявності сухої поверхні бетону) її змочують водою. Шари нового бетону укладають по можливості в найкоротший проміжок часу для того, щоб запобігти висиханню сполучного шару. Укладання роблять бетоноукладачем або, при незначні обсяги робіт, засобами малої механізації.

Ущільнення бетонної суміші здійснюють робочими органами бетоноукладача або віброрейки.

Догляд за свіжоукладеним бетоном повинен починатися негайно після закінчення ущільнення та вирівнювання його поверхні та продовжується безперервно протягом 1...3 діб (до відкриття руху).

Заходи щодо догляду за свіжоукладеним модифікованим бетоном здійснюються за аналогією з доглядом за звичайним бетоном відповідно до чинними рекомендаціями.

Заключними операціями ремонту є нарізка та герметизація швів.

Нарізку швів роблять інструментом з алмазними дисками через 4...5 годин після укладання суміші.

Для збільшення міцності бетону на розтяг при вигині, підвищення тріщиностійкості, ударної міцності, міцності на осьове розтягування та стирання до складу бетонної суміші рекомендується вводити фібру. Застосовують сталеву, базальтову, поліпропіленову та іншу фібру. Залежно від необхідних властивостей цементобетону та питомої ваги фібри до складу суміші вводять від 50 до 350 кг фібри на 1 м<sup>3</sup> суміші.

Під час виконання робіт при капітальному ремонті цементобетонних покриттів необхідно здійснювати, операційний та приймальний контроль. Основним завданням контролю є забезпечення відповідності виконаних робіт вимогам проекту, стандартів, і правил, інших нормативних документів.

Приймання виконаних робіт при капітальному ремонті цементобетонних покриттів автомобільних доріг здійснює спеціальна комісія, до складу якої входять представники підрядної організації, технічний нагляд замовника, проектної організації. Матеріали та необхідні умови для роботи комісії готує підрядник.

## **5 РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ОБҐРУНТУВАННЯ ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ З МОРОЗОСТІЙКИМ МОДИФІКОВАНИМ ЗАХИСНИМ ШАРОМ**

Будівництво цементобетонних покриттів та основ при зниженій температурі повітря (нижче  $5^{\circ}\text{C}$ ). Здійснюється для продовження будівельного сезону. Найбільш сприятливі умови твердіння бетону  $15...20^{\circ}\text{C}$ . При температурі  $-1,5...2^{\circ}\text{C}$  твердіння припиняється.

Низькі позитивні і негативні температури несприятливо впливають на дорожній бетон, що твердіє, за наступними причинами:

- зі зниженням температури період схоплювання цементу збільшується, а швидкість твердіння бетону зменшується;
- утворені лінзи льоду руйнують стінки пор і капілярів структури бетону, що не зміцніла.

Після доби твердіння в нормальних умовах замерзлий бетон втрачає  $30...50\%$  міцності. Можна допустити замерзання бетону лише після набору міцності понад  $50\%$ .

### **5.1 Практичне застосування розроблених математичних моделей у технологічних розрахунках**

Постановка задачі. Потрібно виконати цементно-бетонне покриття автомобільної дороги з морозостійким модифікованим захисним шаром.

Відповідно до завдання замовника, загальна товщина дорожнього покриття становить  $300$  мм. Товщина морозостійкого модифікованого захисного шару бетону складає  $70$  мм.

За проектом марочна міцність нижнього, основного шару бетону повинна скласти 25 МПа. Відповідно до технологічних вимог щодо укладання бетонної суміші рухливість бетонної суміші, що визначається осадом стандартного конуса повинна становити 12 см (високо рухлива бетонна суміш). Вимоги до бетону з морозостійкості не пред'являються.

Верхній, морозостійкий шар бетону повинен мати марочну міцність 30,0 МПа та витримувати 300 циклів поперемінного заморожування – відтавання за нормативним документом (F 300). Рухливість бетонної суміші по осаді стандартного конуса, де відповідно до технологічного регламенту з укладання бетонної суміші, повинна становити 8 см (рухливі бетонні суміші).

Рішення задачі:

Матеріали, що використовуються.

1) Матеріали для основного, нижнього, шару бетону використовуємо: як великий заповнювач – щебінь гранітний, найбільшим розміром зерна (Фщ) 70 мм; як дрібний заповнювач – пісок кварцовий, з модулем крупності (Мк) 2,55; як в'язучий - портландцемент М 400 (без добавок або з добавками). Активність цементу складає  $405 \text{ кг/см}^2$ . Нормальна густина цементного тесту (НГ) становить 26%. Бетонна суміш зачиняється водою, відповідно до вимог ГОСТ.

2) Матеріали для верхнього морозостійкого захисного шару бетону.

Як великий заповнювач використовуємо щебінь гранітний фракції 5 – 20 мм. Як дрібний заповнювач – пісок кварцовий, з модулем крупності (Мк) 2,55. Як в'язучий - бездобавок ПЦ М400, активністю  $408 \text{ кг/см}^2$ . Бетонна суміш зачиняється розчином комплексної хімічної добавки системи: вода; суперпластифікатор С-3; гідрофобізуюча добавка ГКЖ-11К; латекс СКС-65ГП. Приймається значення нормальної густоти цементного тіста, зачиненого водним розчином з комплексною хімічною добавкою становить 26%.

Визначення складу бетону для нижнього, основного шару дороги.

Використовуємо розроблені математичні моделі, представлені у цій роботі.

$$R_6^{28} = -146,7 + 1,667 \times \text{Ц} + 5,31443 \times \text{Н} + 6,944 \times \text{М}_к + 1,067 \times \text{Ф}_щ - 0,001 \times \text{Ц}^2 - 0,01 \times \text{Ц} \times \text{Н} - 0,00021 \times \text{Ц} \times \text{Ф}_щ - 0,23148 \times \text{Н}^2 - 1,50463 \times \text{Н} \times \text{М}_к - 0,00231 \times \text{Н} \times \text{Ф}_щ + 10,42 \times (\text{М}_к)^2 - 0,00972 \times (\text{Ф}_щ)^2 - 0,001 \times \text{Ц}^2 - 1,51 \times \text{Ц} + 311,12 = 0;$$

виходячи з цього рівняння  $\text{Ц} = 245$  кг.

У цій моделі, відповідно до необхідної проектної величини осідання стандартного конуса, що дорівнює 12 см, висота реологічної шкали Н складе 14 см.

Підставляючи фактичні значення:  $R_6 = 250$  кг/см<sup>2</sup>;  $\text{Н} = 14$  см;  $\text{М}_к = 2,55$ ;  $\text{Ф}_щ = 70$  мм і вирішуючи її щодо витрати цементу Ц, визначимо необхідну кількість цементу на 1 м<sup>3</sup> бетону кг.

Витрата цементу становить 245 кг.

Витрата щебеню визначимо за допомогою моделі:

$$\text{Щ} = 1560 - 0,59\text{Ц} - 13,111\text{Н} = 1560 - 0,59 \times 245 - 13,111 \times 14 = 1232 \text{ кг}$$

Витрата щебеню на 1 м<sup>3</sup> бетону складе 1232 кг.

Витрата дрібного заповнювача (П) визначимо, використовуючи модель:

$$\begin{aligned} \text{П} = & 558,86 + 0,17234 \times \text{Ц} + 8,11 \times \text{Н} + 52,06 \times \text{М}_к + 1,1735 \times \text{Ф}_щ - 0,001 \times \text{Ц}^2 - 0,007 \times \text{Ц} \\ & \times \text{Н} - 0,097 \times \text{Ц} \times \text{М}_к - 0,00094 \times \text{Ц} \times \text{Ф}_щ - 0,43813 \times \text{Н}^2 + 0,36678 \times \text{Н} \times \text{М}_к + 0,00829 \times \text{Н} \times \text{Ф}_щ \\ & + 8,42072 \times (\text{М}_к)^2 - 0,04684 \times \text{М}_к \times \text{Ф}_щ - \end{aligned}$$

$$0,00597 \times (\text{Ф}_щ)^2 = 558,86 + 0,17234 \times 245 + 8,11 \times 14 + 52,06 \times 2,55 + 1,1735 \times 70 -$$

$$0,001 \times 245^2 - 0,007 \times 245 \times 14 - 0,097 \times 245 \times 2,55 - 0,00094 \times 245 \times 70 -$$

$$0,43813 \times 245^2 + 0,36678 \times 245 \times 2,55 + 0,00829 \times 245 \times 70 + 8,42072 \times (2,55)^2 -$$

$$0,04684 \times 2,55 \times 70 - 0,00597 \times (70)^2 = 722 \text{ кг}$$

Витрата піску становитиме 722 кг на 1 м<sup>3</sup> бетону.

Витрата води замішування (ВЗ) визначимо за допомогою моделі:

$$\text{В}_3 = 178,709 - 0,16027 \times \text{Ц} + 1,95856 \times \text{Н} - 17,5744 \times \text{М}_к -$$

$$0,45838 \times \text{Ф}_щ + 0,005 \times \text{Ц} \times \text{Н} + 0,049 \times \text{Ц} \times \text{М}_к + 0,00036 \times \text{Ц} \times \text{Ф}_щ + 0,21063 \text{Н}^2 -$$

$$0,41222 \times \text{Н} \times \text{М}_к - 0,00313 \times \text{Н} \times \text{Ф}_щ - 2,66343 \times (\text{М}_к)^2 + 0,01765 \times \text{М}_к \times \text{Ф}_щ$$

$$+ 0,00245 \times (\text{Ф}_щ)^2 = 178,709 - 0,16027 \times 245 + 1,95856 \times 14 - 17,5744 \times 2,55 -$$

$$0,45838 \times 70 + 0,005 \times 245 \times 14 + 0,049 \times 245 \times 2,55 + 0,00036 \times 245 \times 70 + 0,21063 \times 14^2 - \\ 0,41222 \times 245 \times 2,55 - 0,00313 \times 245 \times 70 - 2,66343 \times (2,55)^2 + 0,01765 \times 2,55 \times 70 \\ + 0,00245 \times 70 = 162 \text{ літра}$$

Витрата води замішування склала 162 літрів.

Далі доцільно визначити середньостатистичний, прогнозоване значення залишкового об'єму повітря ( $V_{\text{воз}}$ ) в ущільненій бетонній суміші.

Для цього використовуємо математичну модель:

$$V_{\text{воз}} = 2,875 - 0,00016 \times \text{Ц} - 0,01263 \times \text{Н} - 0,21 \times \text{М}_к + 0,0016 \times \Phi_{\text{щ}} - 0,001 \times \text{Ц} \times \text{М}_к - \\ 0,00455 \times \text{Н}^2 + 0,02741 \times \text{Н} \times \text{М}_к - 0,05 \times (\text{М}_к)^2 = 2,875 - 0,00016 \times 245 - 0,01263 \times 14 - \\ 0,21 \times 2,55 + 0,0016 \times 70 - 0,001 \times 245 \times 2,55 - 0,00455 \times 245^2 + 0,02741 \times 245 \times 2,55 - \\ 0,05 \times (2,55)^2 = 14 \text{ літрів}$$

Прогнозований залишковий об'єм повітря в бетонній суміші ущільненої складе 1,4 % або 14 літрів в 1 м<sup>3</sup>.

Достовірність визначення складу бетону перевіряємо за рівнянням абсолютних обсягів:

$$1000 = \text{Ц}/S_{\text{ц}}^{\text{н}} + \text{П}/S_{\text{п}}^{\text{н}} + \text{Щ}/S_{\text{щ}}^{\text{н}} + \text{В}_3/S_{\text{в}}^{\text{н}} + V_{\text{воз}}$$

$$1000 = 245/3,1 + 722/2,65 + 1232/2,98 + 162/1,0 + 14 = 940,4$$

Склад бетону визначено правильно, похибка становить близько 5,96 %.

Визначення складу верхнього морозостійкого захисного шару бетону з комплексною хімічною добавкою. Використовуємо розроблені математичні моделі:

$$R_6^{28} = -204,5833 + 2,5104 \times \text{Ц} + 10,4583 \times \text{НГ} - 0,0009 \times \text{Ц}^2 - 0,0104 \times \text{Ц} \times \text{Н} - \\ 0,0313 \times \text{Ц} \times \text{НГ} - 0,2263 \times \text{Н}^2 + 0,0694 \times \text{Н} \times \text{НГ} - 0,2083 \times \text{НГ}^2 \\ 0,0009 \text{Ц}^2 - 1,64 \text{Ц} + 386,16 = 0, \text{ виходячи з цього рівняння } \text{Ц} = 278 \text{ кг}$$

Відповідно до проектного значення опади стандартного конуса, що дорівнює 8 см, значення висоти реологічної шкали Н складе 12 см.

Вирішуючи це рівняння визначаємо необхідну витрату цементу на 1 м<sup>3</sup> бетону.

Витрата цементу Ц становитиме 278 кг.

Визначимо витрату цементу на  $1\text{ м}^3$  бетону виходячи з проектних вимог щодо морозостійкості бетону.

$$M_{p3,28} = -701,611 + 1,9131 \times Ц + 7,8395 \times Н + 40,111 \times НГ - 0,0004 \times Ц^2 - 0,009 \times Ц \times Н - 0,0281 \times Ц \times НГ - 0,2812 \times Н^2 - 0,1389 \times Н \times НГ - 0,6944 \times (НГ)^2 + 0,0004 Ц^2 - 1,14Ц + 425,34 = 0, \text{ виходячи з цього рівняння } Ц = 438 \text{ кг}$$

Підставляючи проектні значення: МР3,28, Н та НГ цементного тесту визначаємо необхідне значення витрати цементу на  $1\text{ м}^3$  бетону.

Витрата цементу (Ц) становитиме 438 кг.

Остаточне рішення щодо витрати цементу на  $1\text{ м}^3$  бетону приймаємо виходячи з вимог до бетону в марочному віці по морозостійкості, тобто 438 кг.

Визначимо витрати великого заповнювача (Щ, кг).

$$Щ = 1589,833 - 0,5989 \times Ц - 13,3185 \times Н - 4,3333 \times НГ + 0,0833 \times (НГ)^2 = 1589,833 - 0,5989 \times 438 - 13,3185 \times 12 - 4,3333 \times 24 + 0,0833 \times (24)^2 = 1066 \text{ кг}$$

Витрата щебеню становитиме 1066 кг.

Витрата дрібного заповнювача, піску (П) визначимо, використовуючи модель:

$$П = 1079,5444 + 0,5223 \times Ц + 21,1975 \times Н - 20,0944 \times НГ - 0,0009 \times Ц^2 - 0,0072 \times Ц \times Н - 0,02 \times Ц \times НГ - 0,4122 \times Н^2 - 0,4722 \times Н \times НГ + 0,2778 \times (НГ)^2 = 1079,5444 + 0,5223 \times 438 + 21,1975 \times 12 - 20,0944 \times 24 - 0,0009 \times 438^2 - 0,0072 \times 438 \times 12 - 0,02 \times 438 \times 24 - 0,4122 \times 12^2 - 0,4722 \times 12 \times 24 + 0,2778 \times 24^2 = 625 \text{ кг}$$

Витрата піску становитиме 625 кг на  $1\text{ м}^3$  бетону.

Витрата рідкої фази замішування  $1\text{ м}^3$  бетонної суміші, розчин хімічних добавок у воді, (Жф, кг) визначимо з рівняння:

$$Ж_{\text{ф}} = 122,8111 - 0,2486 \times Ц - 3,984 \times Н - 1,6611 \times НГ + 0,0002 \times Ц^2 + 0,0051 \times Ц \times Н + 0,0069 \times Ц \times НГ + 0,201 \times Н^2 + 0,1944 \times Н \times НГ + 0,0694 \times (НГ)^2 = 122,8111 - 0,2486 \times 438 - 3,984 \times 12 - 1,6611 \times 24 + 0,0002 \times 438^2 + 0,0051 \times 438 \times 12 + 0,0069 \times 438 \times 24 + 0,201 \times 12^2 + 0,1944 \times 12 \times 24 + 0,0694 \times (24)^2 = 189 \text{ літрів}$$

Витрата рідкої фази - замішування бетонної суміші складе 189 літрів.

Середньостатистичне значення залишкового об'єму повітря ( $V_{\text{воз}}$ , %) в бетонній суміші ущільненої визначимо з рівняння:

$$V_{\text{воз}} = -4,62 - 0,0029 \times Ц + 0,0796 \times Н + 0,485 \times НГ - 0,0002 \times Ц \times Н - 0,0047 \times Н^2 - 0,0008 \times Н \times НГ - 0,0087 \times (НГ)^2 = -4,62 - 0,0029 \times 438 + 0,0796 \times 12 + 0,485 \times 24 - 0,0002 \times 438 \times 12 - 0,0047 \times 12^2 - 0,0008 \times 12 \times 24 - 0,0087 \times (24)^2 = 2,6 \text{ літра}$$

Залишковий обсяг повітря складе 0,26%, або 2,6 літрів в 1м<sup>3</sup> бетонної суміші.

Достовірність визначення складу бетону перевіряємо за рівнянням абсолютних обсягів:

$$1000 = \frac{Ц}{S_{\text{ц}}} + \frac{Ц}{S_{\text{ц}}} + \frac{П}{S_{\text{п}}} + \frac{Ж_{\text{ф}}}{S_{\text{ж}}} + V_{\text{воз}}$$

$$1000 = 1066/2,98 + 438/3,15 + 625/2,65 + 189/1,02 + 2,6 = 924,22$$

Склад бетону визначено правильно, похибка становить близько 7,578 %.

Для порівняння, як «базовий варіант», розрахуємо склад бетону для будівництва дороги традиційним способом

Вихідні умови:

Розрахувати склад бетону для будівництва автомобільного дорожнього покриття з маркою з морозостійкості F 200 (200 циклів).

Виходячи з технологічного регламенту, рухливість бетонної суміші по осаді стандартного конуса має становити 8 см (рухливі суміші). Як вихідні матеріали приймаємо бездодатковий ПЦ М400. Як великий заповнювач – щебінь гранітний, найбільшим розміром зерна ( $\Phi_{\text{щ}}$ ) 40 мм; як дрібний заповнювач – пісок кварцовий, з модулем крупності ( $M_{\text{к}}$ ) 2,25.

Бетонну суміш готуємо без хімічних добавок.

Рішення задачі

Для розрахунків використовуємо розроблені математичні моделі.

Морозостійкість бетону ( $M_{\text{рз}}$ ) у циклах визначимо з рівняння:

$$M_{\text{рз}} = -130,36 + 0,75 \times Ц + 6,03 \times Н + 6,45 \times M_{\text{к}} + 0,65 \times \Phi_{\text{щ}} - 0,006 \times Ц \times Н + 0,034 \times Ц \times M_{\text{к}} - 0,197 \times Н^2 - 1,331 \times Н \times M_{\text{к}} - 0,00116 \times Н \times \Phi_{\text{щ}} + 4,34 \times (M_{\text{к}})^2 + 0,01736 \times M_{\text{к}} \times \Phi_{\text{щ}} - 0,0066 \times (\Phi_{\text{щ}})^2$$



$$200 = -130,36 + 0,75Ц + 72,36 + 14,51 + 26 - 0,072Ц + 0,0765Ц - 28,37 - 35,94 - 0,56 + 21,97 + 1,56 - 10,56$$

$$Ц = 354,46 \approx 355$$

Виходячи з вимог щодо укладання бетонної суміші, осад стандартного конуса задана 8 см, отже в цьому рівнянні значення висоти реологічної шкали (Н) складе 12 см.

Вирішуючи рівняння визначаємо витрату цементу на 1м<sup>3</sup> бетонної суміші 355 кг.

Міцність бетону в марочному віці складе:

$$R_b = -146,7 + 1,667 \times Ц + 5,31443 \times Н + 6,944 \times M_k + 1,067 \times \Phi_{ш} - 0,001 \times Ц^2 - 0,01 \times Ц \times Н - 0,00021 \times Ц \times \Phi_{ш} - 0,23148 \times Н^2 - 1,50463 \times Н \times M_k - 0,00231 \times Н \times \Phi_{ш} + 10,42 \times (M_k)^2 - 0,00972 \times (\Phi_{ш})^2$$

$$R_b = -146,7 + 591,79 + 63,77 + 15,62 + 42,68 - 126,03 - 42,6 - 2,98 - 33,33 - 40,63 - 1,11 + 52,75 - 15,55 \quad R_b = 357,7 \approx 358$$

Вирішуючи рівняння отримаємо значення  $R_b = 358$  кг/см<sup>2</sup>

Визначимо склад бетону:

Середньостатичне значення об'єму повітря в бетонній суміші ущільненої ( $V_{воз}$ ) складе:

$$V_{воз} = 2,875 - 0,00016 \times Ц - 0,01263 \times Н - 0,21 \times M_k + 0,0016 \times \Phi_{ш} - 0,001 \times Ц \times M_k - 0,00455 \times Н^2 + 0,02741 \times Н \times M_k - 0,05 \times (M_k)^2$$

$$V_{воз} = 2,875 - 0,00016 \times 355 - 0,01263 \times 12 - 0,21 \times 2,25 + 0,0016 \times 40 - 0,001 \times 355 \times 2,25 - 0,00455 \times 12^2 + 0,02741 \times 12 \times 2,25 - 0,05 \times (2,25)^2 = 12,9 \text{ літрів}$$

Прогнозований залишковий об'єм повітря в бетонній суміші ущільненої складе 1,29 % або 13 літрів в 1 м<sup>3</sup>.

Витрата дрібного заповнювача (П) визначимо, використовуючи модель:

$$П = 558,86 + 0,17234 \times Ц + 8,11 \times Н + 52,06 \times M_k + 1,1735 \times \Phi_{ш} - 0,001 \times Ц^2 - 0,007 \times Ц \times Н - 0,097 \times Ц \times M_k - 0,00094 \times Ц \times \Phi_{ш} - 0,43813 \times Н^2 + 0,36678 \times Н \times M_k + 0,00829 \times Н \times \Phi_{ш} + 8,42072 \times (M_k)^2 - 0,04684 \times M_k \times \Phi_{ш} - 0,00597 \times (\Phi_{ш})^2$$

$$П = 558,86 + 0,17234 \times 355 + 8,11 \times 12 + 52,06 \times 2,25 + 1,1735 \times 40 - 0,001 \times 355^2 - 0,007 \times 355 \times 12 - 0,097 \times 355 \times 2,25 - 0,00094 \times 355 \times 40 -$$

$$0,43813 \times 355^2 + 0,36678 \times 355 \times 2,25 + 0,00829 \times 355 \times 40 + 8,42072 \times (2,25)^2 - \\ 0,04684 \times 2,25 \times 40 - 0,00597 \times (40)^2 = 614,41 \text{ кг}$$

Витрата піску становитиме 615 кг на 1м<sup>3</sup> бетону.

Витрата щебеню визначимо за допомогою моделі:

$$\text{Щ} = 1560 - 0,59\text{Ц} - 13,111\text{Н} = 1560 - 0,59 \times 355 - 13,111 \times 12 = 1193,2 \text{ кг}$$

Витрата щебеню на 1м<sup>3</sup> бетону становитиме 1194 кг.

Витрата води замішування (В<sub>3</sub>) визначимо за допомогою моделі:

$$\text{В}_3 = 178,709 - 0,16027 \times \text{Ц} + 1,95856 \times \text{Н} - 17,5744 \times \text{М}_к - \\ 0,45838 \times \text{Ф}_щ + 0,005 \times \text{Ц} \times \text{Н} + 0,049 \times \text{Ц} \times \text{М}_к + 0,00036 \times \text{Ц} \times \text{Ф}_щ + 0,21063 \text{Н}^2 - \\ 0,41222 \times \text{Н} \times \text{М}_к - 0,00313 \times \text{Н} \times \text{Ф}_щ - 2,66343 \times (\text{М}_к)^2 + 0,01765 \times \text{М}_к \times \text{Ф}_щ \\ + 0,00245 \times (\text{Ф}_щ)^2 = 178,709 - 0,16027 \times 355 + 1,95856 \times 12 - 17,5744 \times 2,25 - \\ 0,45838 \times 40 + 0,005 \times 355 \times 12 + 0,049 \times 355 \times 2,25 + 0,00036 \times 355 \times 40 + 0,21063 \times 12^2 - \\ 0,41222 \times 355 \times 2,25 - 0,00313 \times 355 \times 40 - 2,66343 \times (2,25)^2 + 0,01765 \times 2,25 \times 40 \\ + 0,00245 \times 40 = 162,7 \text{ літра}$$

Витрата води замішування склала 163 літри.

Достовірність визначення складу бетону перевіряємо за рівнянням абсолютних обсягів:

$$1000 = \text{Ц}/\text{S}_ц^и + \text{П}/\text{S}_п^и + \text{Щ}/\text{S}_щ^и + \text{В}_3/\text{S}_в^и + \text{V}_{\text{воз}}$$

$$1000 = 355/3,15 + 615/2,65 + 1194/2,98 + 163/1,0 + 13 = 921,45$$

Склад бетону визначено правильно, похибка становить близько 7,85 %.

На підставі вироблених варіантів розрахунку склад бетону для будівництва доріг складають кошториси, визначається техніко-економічна ефективність варіантів та визначається технологія найбільш ефективного варіанту виконання робіт.

## 5.2 Визначення техніко-економічної ефективності технології будівництва доріг з важкого бетону з морозостійким модифікованим захисним шаром

Техніко-економічну ефективність визначаємо на підставі розроблених кошторисів використовуючи програмний комплекс АВК-5.

Таблиця 5.1 – Вихідні данні для розрахунку

Показники	Позначення	Одиниця виміру	Варіанти	
			базовий	новий
1	2	3	4	5
Об'єм робіт для дослідження	$A_2$	$100\text{м}^2$		20
Показники на $100\text{м}^2$				
- витрати бетону		$\text{м}^3$	30,3	30,3
- суперпластифікатор С-3		т		0,06
- латекс СКС-65-ГП		т		0,06
- гідрофобізируючі добавки ГКЖ-11 К		т		0,06
Вартість БМР	С	тис.грн.	160,813	180,997
Річні витрати у сфері експлуатації:	І	тис.грн.	5,59	5,52
- для базового: $I_1=C_1(0,015+0,02)=16,813(0,015+0,02)=0,59$				
- для нового: $I_2= C_2(0,015:2+0,02)=18,997\times 0,0275=0,52$				
Строки служби до капремонту	$T_c$	роки	15	30
Доли обчислений от балансової вартості покриття	Р		0,0315	0,0102
Нормативний коефіцієнт економічної ефективності	$E_n$		0,15	0,15

Розрахунок економічної ефективності застосування технології будівництва доріг та аеродромних покриттів з важкого бетону з морозостійким модифікованим захисним шаром проводиться шляхом зіставлення наведених витрат з базовим та новим варіантами. Як базовий варіант приймаємо тугіше технологію з тим же складом дрібнозернистого бетону, але без введення комплексних хімічних добавок.

Економічний ефект досягається внаслідок збільшення терміну служби покриття до капітального ремонту та за рахунок зниження річних витрат у сфері експлуатації покриття.

Економічний ефект від впровадження розробки становитиме:

$$E = \left( C_1 \frac{P_1 + E_1}{P_2 + E_2} + \frac{I_1 - I_2}{P_2 + E_2} - C_2 \right) \times A_2 \quad (5.1)$$

$$E = \left( 160,813 \frac{0,1815}{0,1602} + \frac{5,59 - 5,52}{0,1602} - 180,997 \right) \times 20 = 23,24 \text{ тис.грн.}$$

## ВИСНОВКИ

Досягнутий нині рівень розвитку дорожнього будівництва дозволяє отримувати високоякісний дорожній бетон гарантованої міцності та морозостійкості та цементно-бетонні покриття з терміном служби 30-50 років та більше.

Контроль міцності монолітного дорожнього бетону та його морозостійкості слід додатково вести за зразками, що формуються на місці укладання бетону та твердіють до досягнення проектної міцності в умовах твердіння конструкції.

Морозостійкість дорожнього бетону повинна забезпечуватися заходами «первинного» захисту, що включають правильний вибір матеріалів, складу бетону та технології бетонних робіт, а також проведення необхідного контролю якості будівництва.

Детальним аналізом умов роботи цементобетонного покриття на автомобільних дорогах встановлено, що покриття перебуває у складних умовах експлуатації, що з часом призводить до руйнувань покриття від спільного впливу усадки цементобетону, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів. Установлено, що існуючі методи та критерії оцінки довговічності цементобетонного покриття носять розрізнений характер, так як при оцінюванні не в повній мірі враховують спільну дію усадки цементобетону, зміну напружень від сезонних річних і добових температур та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

Основними причинами руйнування цементобетонного покриття є: неправильний підбір складу суміші, порушення технології виробництва та укладання суміші, неправильний догляд та експлуатація, відсутність своєчасної санації покриттів.

Основним чинником при виборі ремонтних матеріалів має бути збіг їх фізико-механічних характеристик з характеристиками цементобетонного покриття, що ремонтується.

Сьогодні рівень автомобілізації в Україні один із найменших у Європі: 232 авто на 1000 осіб. З початком повномасштабного вторгнення, за попередніми експертними оцінками, з активної частини автопарку України вибуло майже мільйон транспортних засобів (із них щонайменше 200 тисяч повністю знищено), але на період до кінця 2023 року намічається різке зростання протяжності автошляхів високих категорій не зважаючи на складності які пов'язані з воєнними діями на території України.

Для існуючої дорожньої мережі характерна певна суперечність між технічним рівнем та експлуатаційним станом автошляхів, що є однією з головних причин невідповідності між високою вартістю та низькою ефективністю витрат на забезпечення функціонування дорожньої мережі країни. У умовах практично немає альтернативи дорожній одязі з конструктивними шарами з цементобетону. Залежно від міцнісних і деформативних властивостей цементобетону змінюється призначення (основа, покриття) і конструктивне рішення шару (без швів і арматури; зі швами, але без арматури; зі швами, армованими металевими штирями; без швів з безперервним армуванням по всій довжині конструктивного шару).

На підставі техніко-економічного обґрунтування підтверджена економічна ефективність використання важкого бетону з морозостійким модифікованим захисним шаром для будівництва та ремонту автомобільних доріг що дозволяє досягти економічного ефекту у порівнянні із традиційними методами.

Для розширення масштабів застосування цементобетону необхідно переробити основні нормативні документи щодо проектування та будівництва дорожнього одягу з конструктивними шарами з цементобетону, розглядаючи системно з єдиних методичних позицій усі можливі варіанти конструктивних рішень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Бичевий П.П., Мішук К.М. Сучасні матеріали поліфункціонального призначення: навч.-метод. посібник для студ. ЗДІА спец. 192 "Будівництво та цивільна інженерія" ден. та заоч. форм навчання; ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 144 с.
- 2 Гамеляк І. П., Корецький А. С., Корецький С. С. Про необхідність будівництва в Україні автомобільних доріг із цементобетонним покриттям. Автомобільні дороги. 2013. – № 5. – С. 24–31.
- 3 Гамеляк І.П. Нові перспективи дорожнього цементобетону на Україні. URL: <https://nadu.com.ua/novi-perspektivi-dorozhnogo-czementobetonuna-ukra%D1%97ni/>. (дата звернення 09.10.2022).
- 4 Гамеляк І. П. По вибоїнам далеко не заїдеш, або чому виникає ямковість та які її наслідки. *Дорожня галузь України: виробничий, науковотехнічний журнал*. № 2 . 2013. С. 14-24.
- 5 ГБН В.2.3-37641918-557:2016 Дорожній одяг жорсткий. Проектування. [Чинний від 2017-04.01] Вид. офіц. Київ : Міністерство інфраструктури України, 2016. С. 83.
- 6 ДСТУ 3008-95. Документація. Звіти у сфері науки і техніки : Структура і правила оформлення. [Чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1995. 37 с.
- 7 Дворкін Л. Й. Будівельне матеріалознавство : навч.-довід. посібник. Київ: Кондор, 2017. 640 с.
- 8 Дворкін Л. Й, Лаповська С. Д. Будівельне матеріалознавство : підручник. Київ : Кондор, 2017. 448 с.
- 9 Кривенко П.В, Пушкарьова К.К., Барановський В.Б. Будівельне матеріалознавство : підручник для внз. Київ : ЕксОб, 2006. 703 с.
- 10 Кривенко П. В. Будівельне матеріалознавство. Київ : Експрес-Поліграф, 2010. 704 с.

11 Нагайчук В. М., Радовський Б. С. Світовий досвід та сучасні підходи до використання цементобетонного покриття. *Дороги і мости*. 2020. Вип. 21. С. 188 – 200.

12 Онищенко А.М., Гаркуша М.В., Чиженко Н.П. Розробка методики оцінки довговічності цементобетонного покриття на автомобільних дорогах з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії транспорту. Збірник матеріалів І Міжнародної науково – технічної конференції «Дорожно-будівельний комплекс: проблеми, перспективи, інновації». м. Харків, ХНАДУ, 2019. С. 197-198.

13 Онищенко А.М., Чиженко Н.П. Метод оцінки довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг. *Збірник тез міжнародної науково-технічної конференції Гідротехнічне і транспортне будівництво*. Одеса. 28-29 травня 2020 р. С.85-89.

14 Проект розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Концепції Державної цільової економічної програми будівництва автомобільних доріг загального користування з цементобетонним покриттям на 2021-2025 роки». URL: [https://ukravtodor.gov.ua/4489/povidomlennia\\_pro\\_opryliudnennia/60100.html](https://ukravtodor.gov.ua/4489/povidomlennia_pro_opryliudnennia/60100.html). (дата звернення 09.10.2022).

15 Переваги цементобетонних доріг в Україні. Економічна оцінка. URL: [http://www.ukrcement.com.ua/zakhodi/icalrepeat.detail/2017/11/14/48/-/kruhlyistil-na-temu-betonni-dorohy-realnist-dlia-ukrainy-pid-holovuvanniam-pershohozastupnyka-holovy-komitetu-z-pytan-transportu-vasiunyka-iv-zauch.html?published\\_fv=-1](http://www.ukrcement.com.ua/zakhodi/icalrepeat.detail/2017/11/14/48/-/kruhlyistil-na-temu-betonni-dorohy-realnist-dlia-ukrainy-pid-holovuvanniam-pershohozastupnyka-holovy-komitetu-z-pytan-transportu-vasiunyka-iv-zauch.html?published_fv=-1). (дата звернення 12.10.2022)

16 Рапопорт П.Б., Рапопорт Н.В., Полянский В.Г., Соколова Е.Р., Гарибов Р.Б., Кочетков А.В., Янковский Л.В. Анализ срока службы современных цементных бетонов. *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 4. С. 35 – 47

17 Толмачев С.М. Будівництво автодоріг із цементобетонним покриттям в Україні – реальність сьогодення. *Автошляховик України*. 2013.



№ 4. С. 36-40.

18 Чиженко Н.П. Удосконалення методу оцінки довговічності цементного покриття автомобільних доріг : дис. ... канд. тех. наук : 05.22.11. Київ, 2021. 294с.

19 Чистяков В.В., Шургая А.Г., Дорошенко Ю.М., Чиженко Н.П., Сербін В.П., Дорошенко О.Ю. Вплив комплексної добавки на структуроутворення і властивості цементобетону для покриття доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*: наук.-техн. збірник. Київ. 2011. Вип. 82. С. 59-64.

20 Шевчук Г. Я., Генсецький М. П., Гнип О. П., Раєцька К. О. Модифіковані цементобетони для дорожніх та аеродромних покриттів. Вісник ОДАБА. 2015. Вип. №. 57. С. 461–464.

21 Укладання цементобетонного покриття <https://mcet.com.ua/betonni-dorogi-avtotrasi-majbutnogo/>. (дата звернення 12.11.2022 )

22 Velasquez, Retal. Implementation of the MEPDG for New and Rehabilitated Pavement Structures for Design of Concrete and Asphalt Pavements in Minnesota. Report MN/RC 2009-06, St. Paul, Minnesota. 229 pgs.

23 Hall, K., D. Dawood, et al. Long-Life Concrete Pavements in Europe and Canada. Report № FHWA-PL-07-027. 2007. Pp. 1–84.

24 Blanchard, A.H. Elements of highway engineering. John Wiley & Sons, 1915. 514 pgs.

25 Snell, L.M., B.G. Snell. Oldest concrete street in the United States // Concrete International, 2002. С. 72–74.

26 Pasko, T.J. Concrete pavements – past, present, and future // Public Roads, 1998. Vol. 62 No. 1 Pp. 1–9.

27 Harger, W.G. Rural Highway and Pavements. – NewYork, McGraw-Hill Book Company, Inc., 1924. Pp. 1–637.

28 Taylor, P.C., S.H. Kosmatka, G. F. Voigt. Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: A State-of-the-Practice Manual, Iowa State University. FHWA, 2007. Pp. 1–326.

29 IndianaDOT: Highway Certified Technician Program Training Manuel. 2011. 109 pgs.

30 Delatte, N. Concrete Pavement Design, Construction, and Performance. – Taylor & Francis, London and New York, 2008. Pp. 1–372.

31 Colorado Department of Transportation. Pavement Design Manual. 2015. 601 pgs.

32 Caltrans. Highway Design Manuel. 2014. March, 07. 765 pgs.

33 Caltrans. Maintenance Technical Advisory Guide .Rigid Pavements, 2006. 217 pgs.

34 Bejarano, M.O., J.T. Harvey. Accelerated Pavement Testing of Drained and Undrained Pavements Under Wet Base Conditions. Transportation Research Record №1816, TRB, National Research Council, Washington, D.C. Pp. 137–147.

35 Corley-Lay, J., C.S. Morrison. ThirtyThree year performance of jointed concrete test sections in North Carolina. Transportation Research Record 1806.

36 Pavement Consultancy Services. Guidelines and methodologies for the rehabilitation of rigid highway pavements using asphalt concrete overlays. Report for NAPA and SAPAE, Beltsville, MD. 1991.