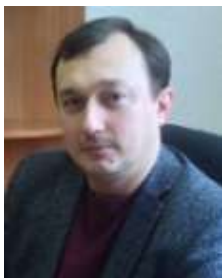


ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ПРОЕКТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ З
ДРЕНАЖАМИ МІЛКОГО ЗАКЛАДАННЯ

BASIC PRINCIPLES OF DESIGNING OPTIMAL ROAD STRUCTURES WITH SHALL LAYING
DRAINAGE



Бубела Андрій Володимирович, доктор технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: bubelaandrey@ukr.net, тел.: +380505535594, Україна, 01010, Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1,

<https://orcid.org/0000-0002-5619-003X>

Анотація. *Вступ.* Безконтрольний рух великовагових транспортних засобів, порушення технології будівництва та недоліки при проектуванні доріг спричиняють утворення передчасних руйнувань навіть на новобудованих та капітально відремонтованих дорогах. Руйнування покриттів у багатьох випадках пов'язане з перезволоженням земляного полотна і дорожніх основ через незадовільний стан дренажних і водовідвідних конструкцій або їх повну відсутність. Серйозну небезпеку і великі додаткові затрати, пов'язані з утриманням доріг, викликають тріщини, які є першопричиною виникнення вибоїн. Виходячи з типу зволоження робочого шару земляного полотна, ґрунтово-гідрологічних і кліматичних умов, рельєфу місцевості, наявності дорожньо-будівельних матеріалів призначають варіанти дренажних конструкцій.

Проблематика. Влаштування дренажних конструкцій обумовлює необхідність розв'язування актуальної проблеми водовідведення з дорожньої конструкції на трьох взаємопов'язаних етапах: проектування, будівництва та експлуатації дороги. Такі проектні рішення вимагають пошук оптимальних варіантів дорожніх конструкцій за відповідними критеріями, проте проблемі їх обґрунтування не приділяється належної уваги.

Мета роботи полягає у формуванні основних принципів проектування оптимальних дорожніх конструкцій за рахунок запропонованих заходів з регулювання їх водно-теплового режиму.

Матеріали і методи: аналітичні та статистичні методи; методи математичного моделювання.

Результати: у роботі досліджено методологічну структуру з вибору оптимальної дорожньої конструкції: уточнення мети будівництва, пошук можливих оптимальних варіантів, встановлення критерію оптимальності, визначення витрат ресурсів за варіантами, отримання оптимального рішення, кінцевий вибір оптимальної дорожньої конструкції.

Висновки. Проектування оптимальних дорожніх конструкцій з поперечними дренажами мілкового закладання базується на принципах забезпечення міцності, морозостійкості та зсувостійкості дорожнього одягу за умови мінімальних приведених витрат на будівництво.

Ключові слова: земляне полотно, водно-тепловий режим, критерій оптимальності, дренаж мілкового закладання, автомобільна дорога, дорожня конструкція.

Вступ

Для отримання загального оптимального рішення при поваріантному проектуванні у будівництві попередньо необхідно знайти оптимальні рішення частинних завдань. Наприклад, кожен із порівнюваних варіантів дорожніх конструкцій (ДК) повинен бути оптимальним за конструкцією земляного полотна (ЗП) у поєднанні з усіма шарами дорожнього одягу (ДО) та, за наявності, з дренажними конструкціями. Можливе зменшення вартості ДО за рахунок збільшення висоти насипу. Різні поєднання підстилаючих шарів ДО, конструктивних заходів з регулювання водно-теплового режиму (ВТР), також мають свій оптимум за вартістю. Для кожного з варіантів, що порівнюються, потрібно знайти таке поєднання висоти насипу, товщини та розміщення шарів ДО, дренажних конструкцій, при яких сумарні витрати на ДК були б мінімальні.

Загальний підхід з визначення оптимального рішення вимагає методологічної структури, яка б дозволила зіставляти між собою всі отримані критерії частинної оптимізації та визначити єдиний комплексний критерій для вирішення проблеми в цілому. Основним способом отримання оптимальних рішень є математичне моделювання. Будівництво автомобільної дороги – це багаторівнева система, до складу якої входять підсистеми планування, управління, виконання робіт, матеріального і технічного забезпечення. Для практичного впровадження при моделюванні таких складних систем та підсистем їх необхідно спрощувати, зберігаючи при цьому найістотніші риси.

ДК з трубочастими дренами під шарами ДО є нетиповими, на відміну від стандартних. Такі проектні рішення з регулювання ВТР потребують обґрунтованого підходу за критерієм оптимальності, оскільки вони вимагають додаткових капіталовкладень, що суттєво збільшують вартість будівництва ділянки автомобільної дороги.

В свою чергу, відсутність таких конструкцій призводить до появи тріщин та водних калюж на поверхні покриття, що сприяють послабленню несної здатності та в десятки разів збільшують витрати на утримання автомобільної дороги [1]. Наслідки поганого водовідведення, суттєво впливають на безпеку дорожнього руху та на міжремонтні терміни, що детально розглянуто в роботах [2,3].

Одним із шляхів регулювання ВТР є влаштування гідроізолюючих шарів та прошарків у ЗП. Перші систематичні дослідження щодо застосування таких конструкцій у практиці дорожнього будівництва колишнього СРСР та України зокрема, розпочато у 40-і роки минулого століття. Як гідроізоляційний матеріал в основному використовувалися ґрунти, оброблені бітумом або цементом. Шари з таких матеріалів не знайшли широкого застосування через труднощі технологічного характеру.

У роботі [4] визначено, що проникність асфальтобетонних покриттів залежить від наявності в них тріщин та деформацій. Визначено основні фактори, які впливають на швидкість інфільтрації через тріщини в покритті. Проведено моделювання фізичних процесів пошкоджень асфальтобетонних покриттів, внаслідок довготривалого впливу води. Наведені умови невідповідності характеристик дорожньо-будівельних матеріалів, які було визначено в лабораторії та з яких фактично побудована дорога. У роботі [5] наведено обґрунтування вибору оптимальної конструкції, який базується не тільки на аналізі комплексу природних умов, а і на сукупності техніко-технологічних параметрів, що визначають роботу дренажів мілкового закладання як конструктивний захід з регулювання ВТР.

Це обумовлює мету роботи: формування основних принципів проектування оптимальних дорожніх конструкцій за рахунок запропонованих заходів з регулювання їх водно-теплового режиму.

Основні завдання роботи полягають у наступному:

- визначити найбільш економічні заходи з регулювання водно-теплового режиму;
- встановити критерії оптимальності щодо вибору дорожньої конструкції;
- визначити цільову функцію для пошуку найбільш оптимальної дорожньої конструкції з дренажами мілкового закладання за спрощеним процесом економічного порівняння.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Методологічна структура з отримання оптимального рішення щодо вибору ДК складається із шести взаємопов'язаних етапів.

Першим етапом пошуку оптимальної конструкції є уточнення мети будівництва. Ефективність капітальних вкладень у дорожнє будівництво оцінюється зниженням собівартості автомобільних перевезень після введення у дію побудованої (реконструйованої) дороги за рахунок збільшення середніх швидкостей руху транспортних засобів.

Оптимізація прийнятих рішень щодо дорожнього будівництва найчастіше не є абсолютною, а відносною, оскільки йдеться про найбільшу ефективність вкладення коштів та ресурсів, обмежених із ряду причин. Таким чином, можливі такі три аспекти з визначення оптимальної ДК: при обмежених ресурсах знайти рішення, що дає найбільш ефективне їх використання; при заданому рівні економічної ефективності знайти рішення, що забезпечує мінімум витрат ресурсів; при необмежених ресурсах знайти рішення, що дає найефективніше вкладення ресурсів (абсолютна ефективність). Найчастіше у дорожньому будівництві розглядаються перші два аспекти, відповідно до відносної оптимізації.

Для вдосконалення існуючих та розвитку нових методів конструювання стійких і економічних ДК необхідно вирішити наступні основні проблеми ВТР:

- проаналізувати фізичну сутність водно-теплових процесів в ЗП і ДО з урахуванням змін метеорологічних умов і дії коливань від зовнішніх навантажень. Вирішення цієї проблеми дозволить розробити теорію міграції і накопичення вологи, що буде сприяти розробці методів підвищення стійкості полотна і одягів у різних природних умовах;

- розробити заходи з регулювання водно-теплових процесів ДК шляхом проведення досліджень на експериментальних моделях з декількома модифікаціями дренажів мілкого закладання (ДМЗ) з імітацією опадів різної інтенсивності.

Для забезпечення міцності ДК необхідно розробити варіанти заходів щодо регулювання ВТР виходячи з типу зволоження робочого шару ЗП, ґрунтово-гідрологічних та кліматичних умов, рельєфу місцевості, наявності дорожньо-будівельних матеріалів та запланованих темпів будівництва. Як варіанти заходів, слід передбачати влаштування спеціальних поперечних профілів (берми на укосах насипу), підвищення або зниження висоти насипу в порівнянні з спочатку наміченою величиною, влаштування морозозахисних і дренажних шарів з непухлинистих і слабопухлинистих пісків, теплоізолювальних шарів з різних дренажних, армуючих та геосинтетичних матеріалів, гідроізолюючих прошарків, а також влаштування шарів ЗП з ґрунтів підвищеної щільності.

Найбільш економічним підходом регулювання ВТР ДК, що підвищує міцність та забезпечує стійкість, якість і довговічність дорожнього покриття, є заходи зі своєчасного відведення води, яка накопичується у верхній частині ЗП (рис.1).



Рисунок 1 – Основні групи заходів з регулювання водно-теплого режиму дорожньої конструкції
Figure 1 – The main groups of measures to regulate the water-thermal regime of the road structure

На другому етапі пошуку оптимальної ДК визначаються можливі оптимальні варіанти, які відрізняються як за трасою, так і за конструкцією на ділянках доріг, що знаходяться поблизу великих населених пунктів, порівнюються варіанти їх обходів, також розглядаються конструкції ДО різної капітальності.

Якщо щорічні експлуатаційні витрати за варіантами незмінні в часі, коефіцієнт порівняльної економічної ефективності E [6] визначається за формулою:

$$E = \frac{B_2 - B_1}{K_1 - K_2}, \quad (1)$$

де K_1, K_2 – капітальні вкладення за варіантами; B_1, B_2 – річні дорожньо-транспортні експлуатаційні витрати за варіантами.

За співвідношенням (1) коефіцієнт E відповідає зменшенню експлуатаційних витрат при збільшенні капітальних витрат певного варіанту. Кожен із варіантів ґрунтується на експлуатаційному завданні та враховує місцеві умови, але варіантний аналіз має недолік щодо втрати найбільш раціонального варіанту при виборі з усіх можливих. У деяких завданнях може бути знайдено оптимальний варіант без порівняння.

При техніко-економічному обґрунтуванні ДК для зменшення капіталовкладень, а також збереження стабільної щільності та вологості ґрунту в процесі експлуатації дороги враховують ефект від зниження висоти насипу та використання шару ґрунту з підвищеною щільністю як нижній конструктивний шар ДО, а також додаткові понаднормативні витрати на ущільнення ґрунту.

При таких умовах ущільнення ґрунту є ефективним методом покращення ВТР ЗП, за рахунок підвищення міцності та морозостійкості ґрунтів. Підвищення щільності, по-перше, покращує однорідність ґрунту, що призводить до зниження нерівномірності морозного пучення, по-друге – забезпечує більш високу мінімальну щільність, нижче за яку не відбувається подальше розущільнення ґрунту, і, по-третє, зменшує швидкість міграції капілярної води, внаслідок чого уповільнюється розущільнення ґрунту. Уповільнення цього процесу дозволяє краще сформуватися вторинній структурі ґрунту, внаслідок чого він може мати високі показники порівняно з ґрунтом непорушеної структури за однакової щільності. Прикладом цього є відсутність у ряді випадків плинності ґрунту з непорушеною структурою при вологості вище за межу плинності.

За умови можливості розущільнення ґрунту розглядають варіанти конструкцій ЗП з дренавальними, гідроізоляційними та теплоізолювальними шарами, що дозволяють зберегти, досягнути при будівництві, щільність ґрунту. Одним з основних традиційних заходів, що оберігають конструкцію від надмірного зимового спучування, є влаштування дренавальних, морозозахисних шарів.

Дренавальні шари з піску без випуску на укоси виконують функцію вологонакопичувача, і є одним з суттєвих екологічних заходів на ділянках доріг. Такий шар працює за функцією поглинання, його товщину без спеціальних дренавальних конструкцій призначають з метою забезпечення розміщення в ньому на тривалий час всієї води, що надходить. Необхідно, щоб рівень води в дренавальному шарі не піднімався на всю його товщину та, відповідно, не зменшував міцність ДО.

Але дренавальні шари з піску з випуском на укоси, які переважно застосовують для будівництва ДК, також не забезпечують швидке водовідведення і за умовами роботи, в основному, працюють на поглинання. Згідно експериментальних досліджень [7], було визначено, що дренавальний шар з піску починає працювати на осушення після поглинання певної кількості води. Для того, щоб не відбувалося процесу перезволоження шару ґрунту у верхній частині ЗП, взаємопроникнення глинистих і піщаних частинок, товщина піщаного шару повинна бути досить великою для поглинання всієї води, яка надходить за тривалий час. Це також дозволить забезпечити міцність всієї ДК, за умови певного зернового складу піску, допустимого рівня води в ньому, а також відповідної вологості та щільності глинистих ґрунтів ЗП.

Широко відомими, але практично не застосовуваними в якості дренавальних, є шари з фільтруючих зернистих матеріалів. Товщина цих шарів залежить від крупності матеріалу, при чому його верхню та нижню частини необхідно забезпечити прошарками з дрібного гравію, щебеню, або з одношарового чи двошарового геосинтетичного матеріалу. Проведені дослідження показали [8], що наявність прошарків з геосинтетичних матеріалів між гравієм або щебенем та глинистими ґрунтами запобігають замуленню що дозволяє не збільшувати товщину дренавального шару, за умови дотримання морозостійкості. Такі шари завжди працюють за принципом осушення, не накопичують воду та швидко її відводять, а також виконують функцію капіляроперериваючих.

На третьому, найбільш відповідальному етапі визначення оптимальної ДК встановлюється критерій оптимальності. Математичні методи дозволяють визначити мінімум вкладених коштів, необхідних на будівництво. Критерій оптимальності повинен задовольняти наступним основним вимогам: 1) відображати у загальній формі витрати на різні ресурси, які використовуються у процесі будівництва; 2) допускати порівняння витрат за часом; 3) забезпечувати порівняння в єдиному вимірнику витрат на будівництво та економічного ефекту від них.

Труднощі визначення загального критерію оптимальності пояснюються складністю та різноманітністю ресурсів та сучасних технологій, які необхідно представити в єдиному вимірнику.

Вартісні критерії оптимальності дозволяють порівняти різноманітні витрати комплексу дорожньо-будівельних робіт. Розрахунки щодо їх кошторисної вартості показують, що кошти, вкладені у реконструкцію та будівництво доріг, окупаються зазвичай через зниження дорожньо-транспортних експлуатаційних витрат. Термін окупності додаткових капітальних вкладень T у першому варіанті ($K_1 > K_2$) за рахунок зниження річних дорожньо-транспортних експлуатаційних витрат ($B_2 > B_1$) визначається за формулою:

$$T = \frac{K_1 - K_2}{B_2 - B_1} \quad (2)$$

Термін окупності додаткових капітальних вкладень є величиною, оберненою до коефіцієнта порівняльної економічної ефективності, а саме:

$$T = \frac{1}{E}. \quad (3)$$

Формули (1) та (2) дозволяють оцінювати на стадії проектування економічність будівництва або реконструкції автомобільних доріг у випадках, коли капітальні вкладення K проводяться одночасно, а річні дорожньо-транспортні експлуатаційні витрати B постійні протягом терміну служби дороги. Насправді такі умови зустрічаються порівняно рідко за такими причинами: дорога може будуватися (реконструюватись) стадійно; інтенсивність та склад руху в ході експлуатації дороги змінюються, особливо коли спостерігається значне зростання інтенсивності руху в часі та збільшення частки автомобілів та автопоїздів великої вантажопідйомності; витрати на ремонт та утримання дороги у зв'язку із зростанням руху і поступовим погіршенням стану покриття також зростають в часі.

ДО у порівнюваних варіантах може мати різний термін служби. Відповідно, при порівнянні варіантів, необхідно враховувати залишкову вартість ДО до кінця розрахункового періоду. З урахуванням цих положень, авторами [6] було запропоновано метод наведених сумарних капітальних вкладень, дорожніх та транспортних експлуатаційних витрат. Сутність методу полягає у визначенні суми капітальних вкладень (з врахуванням стадійності будівництва або реконструкції), дорожніх та транспортних експлуатаційних витрат, з урахуванням того, що капітальні вкладення та експлуатаційні витрати здійснюються у різні терміни. Тому їх приводять до базисного року, за який приймають рік, що передує введенню дороги в експлуатацію. Найкращим із порівнюваних проектних рішень визнається варіант із мінімальними сумарними наведеними витратами. При використанні цього методу насамперед виникають два завдання: визначення тривалості періоду T_D , за який потрібно підсумовувати витрати за варіантами; встановлення методики приведення капітальних вкладень та експлуатаційних витрат до базисного року (коефіцієнт приведення k_{np}). Коефіцієнт приведення витрат до базисного року визначається за формулою складних відсотків:

$$k_{np} = \frac{1}{(1 + E_0)^t}, \quad (4)$$

де E_0 – нормативний коефіцієнт ефективності; t – кількість років, що відокремлюють рік витрат від базисного року.

Якщо витрати передують базисному року, то величина t вводиться у формулу (4) зі знаком мінус, якщо витрати реалізуються після базисного року – зі знаком плюс.

Таким чином, відповідні наведені до базисного року витрати C_{inp} визначаються множенням фактичних витрат C_i на зазначений коефіцієнт, тобто:

$$C_{inp} = C_i k_{np} = \frac{C_i}{(1 + E_0)^t}. \quad (5)$$

Сума наведених капітальних вкладень та експлуатаційних витрат за термін T_D по кожному з порівнюваних варіантів обчислюється за залежністю:

$$\sum C_{np} = C_{Inp} + C_{II np} + C_{pnp} + C_{anp} + C_{Anp} + C_{ynp} - (C_{onp} + C_{oAnp}), \quad (6)$$

де $C_{I np}$ – сума капітальних витрат на I стадії будівництва дороги, приведені до базисного року; $C_{II np}$ – відповідні приведені витрати на II стадії будівництва, при одностадійному будівництві $C_{II np} = 0$; $C_{p np}$ – сумарні приведені витрати на ремонти та утримання за період T_D ; C_{anp} – приведені транспортні витрати за той самий термін; C_{Anp} та C_{oAnp} – приведені витрати на первинне придбання транспортних засобів та їх залишкова вартість до кінця терміну T_D ; C_{onp} – залишкова приведена вартість ДО до кінця того ж періоду; C_{ynp} – приведені до базисного року витрати, спричинені подорожчанням автомобільних перевезень за періоди ремонту дороги.

Витрати на ремонт дороги за розрахунковий термін обчислюють за наступною формулою:

$$C_{inp} = \frac{C_{ip1}}{(1+E_0)^{t_1}} + \frac{C_{ip2}}{(1+E_0)^{t_2}} + \dots + \frac{C_{ipn}}{(1+E_0)^{t_n}}, \quad (7)$$

де $C_{ip1}, C_{ip2}, \dots, C_{ipn}$ – вартість першого, другого, ..., n -го ремонтів; t_1, t_2, \dots, t_n – число років від базисного року до моменту витрат за відповідний ремонт. Різниця $t_i - t_{i-1} = t_{між}$ – тривалість відповідного міжремонтного періоду.

Приведені витрати на утримання та ремонт встановлюють із залежності:

$$C_{ppp} = C_{T_1} \sum_1^t \frac{1}{(1+E_0)^t} + \frac{C_{T_2}}{(1+E_0)^{t_1}} \sum_1^{t_2-t_1} \frac{1}{(1+E_0)^t} + \dots + \frac{C_{T_n}}{(1+E_0)^{t_{n-1}}} \sum_1^{t_n-t_{n-1}} \frac{1}{(1+E_0)^t}, \quad (8)$$

де $C_{T_1}, C_{T_2}, \dots, C_{T_n}$ – середньорічні витрати на утримання та ремонт 1 км дороги у відповідні періоди; t_1, t_2, \dots, t_n – кількість років від базисного року до відповідного ремонту.

Величину наведених транспортних витрат при цілорічних перевезеннях на 1 км дороги можна обчислити за формулою:

$$C_{anp} = 365 \frac{\left(\frac{q}{1+E_0}\right)^{T_d} - 1}{q - (1+E_0)} \sum_1^{T_d} N_i Q_i c_i, \quad (9)$$

де q – знаменник геометричної прогресії зростання інтенсивності руху у часі $q \neq (1+E_0)$; N_i – середньорічна добова інтенсивність автомобілів i -ї вантажопідйомності в перший рік періоду порівняння T_d ; Q_i – вантажопідйомність відповідних автомобілів; c_i – собівартість перевезень за 1 ткм. Собівартість перевезень визначається із залежності:

$$c_i = \frac{C_{пост} + C_{змін} v_T}{Q_i \gamma \beta v_T}, \quad (10)$$

де $C_{пост}$ – постійні витрати на 1 автомобіле-годину; $C_{змін}$ – змінні витрати на 1 км пробігу автомобіля; v_T – середньотехнічна швидкість руху автомобілів; γ, β – коефіцієнти використання вантажопідйомності та пробігу.

ДК різняться за матеріалами та товщинами шарів основи, за висотою насипу. Оскільки всі варіанти повинні бути рівномірними, то при однотипному покритті щорічні дорожньо-транспортні експлуатаційні витрати будуть для порівнюваних варіантів однаковими. Тоді саме порівняння варіантів можна вести за розмірам будівельних витрат (за кошторисною вартістю), приймаючи як найкращий варіант з найменшою кошторисною вартістю. Цей метод найменших капітальних витрат спрощує процес економічного порівняння.

ДК з однаковими коефіцієнтами запасу міцності можуть мати різні дренажувальні властивості. Це, в свою чергу, обумовлює відмінність в приведених витратах. Суму приведених витрат по кожному варіанту обчислюють за формулою:

$$C = C_{дмз} + C_{до}, \quad (11)$$

де C – приведені витрати на будівництво ДО з дренажем, грн; $C_{дмз}$ – розраховані за кошторисом витрати на влаштування відповідної конструкції з ДМЗ, грн; $C_{до}$ – розраховані за кошторисом витрати на влаштування ДО, грн.

Для пошуку найбільш оптимальної ДК з ДМЗ отримано цільову функцію за двома групами критеріїв: кошторисною вартістю та сукупністю техніко-технологічних показників, що характеризують ефективність їх роботи:

$$F(C_i, Z_1, Z_2, \dots, Z_n) = \frac{C_i}{\sum_1^n P_{ij}}, \quad (12)$$

де n – кількість конструкцій з поперечним дренажем мілкого закладання, прийнятих до порівняння; C_i – кошторисна вартість i -ої конструкції з поперечним дренажем мілкого закладання; P_{ij} – значення j -го техніко-технологічного параметра для i -ої конструкції поперечних дренажів мілкого закладання.

Крім вартісних критеріїв, наведених вище, іноді використовуються відповідні їм критерії енерговитрат [5].

Четвертий етап пошуку оптимальної ДК полягає у проведенні для визначення витрат ресурсів за варіантами.

П'ятий етап визначення оптимальної ДК – це здійснення вибору математичної моделі для знаходження оптимального рішення. Відповідно до цього, математичні моделі для отримання оптимального рішення можуть бути детермінованими та/або імовірнісними. У складніших випадках доводиться використовувати спеціальні математичні методи та моделі.

Шостий етап визначення оптимальної ДК полягає у безпосередньому вирішенні завдання пошуку оптимального рішення з урахуванням обраної математичної моделі.

Висновки

Отримане рішення з вибору оптимальної дорожньої конструкції ґрунтується на методологічній структурі, яка містить шість етапів: – уточнення мети будівництва за рахунок визначення ефективності капіталовкладень; – пошук можливих оптимальних варіантів, зокрема, за рахунок конструкції дорожнього одягу та заходів з регулювання водно-теплого режиму; – встановлення критерію оптимальності; – визначення витрат ресурсів за варіантами; – отримання оптимального рішення за обґрунтованою математичною моделлю; – кінцевий вибір оптимальної дорожньої конструкції.

Проектування оптимальних дорожніх конструкцій з поперечними дренажами мілкого закладання базується на трьох основних принципах. Це забезпечення міцності, морозостійкості та зсувостійкості дорожнього одягу за умови мінімальних приведенних витрат на будівництво дорожнього одягу на ділянці дороги та щорічних витрат на її експлуатаційне утримання, які складаються із суми наведених капітальних вкладень у дорожнє будівництво і витрат на експлуатаційне утримання дороги.

Перелік посилань

1. Erna Ismiyani, Dewi Handayani, RR. Rintis Hadiani. The impact of drainage towards roads in maintenance cost. The 4th International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering. 2018. Volume 195. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819505012>.
2. Tiza Michael Toryila, Iorver Vitalis Terparse, Iortyom Enoch Terlun. The effects of poor drainage system on road pavement: a review. International journal for innovative research in multidisciplinary field. 2016. Volume 2, Issue 8. P. 216–223. URL: https://www.researchgate.net/publication/307167618_THE_EFFECTS_OF_POOR_DRAINAGE_SYSTEM_ON_ROAD_PAVEMENT_A_REVIEW
3. Dipanjan Mukherjee. Highway Surface Drainage System & Problems of Water Logging In Road Section. The International Journal Of Engineering And Science. 2014. Volume 3, Issue 11. P. 44–51. URL: <http://www.theijes.com/papers/v3-i11/Version-1/G031101044051.pdf>
4. Dawson Andrew. Water in Road Structures. Transportation Engineering Centre University of Nottingham. UK. 2009. P.438.
5. Славінська О.С., Бубела А.В., Бондаренко Л.П., Чечуга О.С. Визначення оптимальної дорожньої конструкції з поперечними дренажами мілкого закладання. International Academy Journal Web of Scholar. 2020. Vol 5 (47), С. 3-11. URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/31052020/7088
6. Рувинский В.И., Чуев В.И. Техничко-экономическая эффективность применения тепло- и водоизолирующих слоёв для обеспечения прочности и устойчивости земляного полотна и дорожных одежд. М.: Труды СоюздорНИИ. 1975. Вып. 76. С. 59-81.
7. Бубела А.В., Кватадзе А.І. Дослідження режимів роботи дренавальних шарів в дорожніх конструкціях. Science Review. 2020. 5(32). С. 24-29. URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30062020/7140.

BASIC PRINCIPLES OF DESIGNING OPTIMAL ROAD STRUCTURES WITH SHALLOW LAYING DRAINAGE

Bubela Andrew V., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: bubelaandrey@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-5619-003X>

Abstract. Introduction. Uncontrolled movement of heavy vehicles, violations of construction technology and deficiencies in road design cause premature destruction even on newly built and extensively renovated roads. Destruction of coatings in many cases is associated with overmoistening of the ground surface and road foundations due to the unsatisfactory state of drainage and drainage structures or their complete absence. Cracks, which are the root cause of potholes, cause serious danger and high additional costs associated with road maintenance. Depending on the type of moistening of the working layer of the subsoil, soil-hydrological and climatic conditions, the topography of the area, the availability of road construction materials, options for drainage structures are assigned.

Problem Statement. The installation of drainage structures determines the need to solve the urgent problem of water drainage from the road structure at three interrelated stages: design, construction and operation of the road. Such design decisions require the search for optimal options for road structures according to the relevant criteria, but the problem of their substantiation is not given due attention.

The purpose of the work is to form the basic principles of designing optimal road structures due to the proposed measures to regulate their water-thermal regime.

Materials and methods: analytical and statistical methods; methods of mathematical modeling.

Results: the work investigated the methodological structure for choosing the optimal road structure: clarification of the purpose of construction, search for possible optimal options, establishment of optimality criteria, determination of resource costs by options, obtaining the optimal solution, final selection of the optimal road structure.

Conclusion. The design of optimal road constructions with transverse drainages of shallow laying is based on the principles of ensuring the strength, frost resistance and sliding resistance of the road surface under the condition of minimal reduced construction costs.

Key words: subgrade, water-thermal regime, optimality criterion, shallow drainage, road, road construction.

References

1. Erna Ismiyani, Dewi Handayani, RR. Rintis Hadiani. The impact of drainage towards roads in maintenance cost. The 4th International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering. 2018. Volume 195. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819505012>.
2. Tiza Michael Toryila, Iorver Vitalis Terparse, Iortyom Enoch Terlumun. The effects of poor drainage system on road pavement: a review. International journal for innovative research in multidisciplinary field. 2016. Volume 2, Issue 8. P. 216–223. URL: https://www.researchgate.net/publication/307167618_THE_EFFECTS_OF_POOR_DRAINAGE_SYSTEM_ON_ROAD_PAVEMENT_A_REVIEW
3. Dipanjan Mukherjee. Highway Surface Drainage System & Problems of Water Logging In Road Section. The International Journal Of Engineering And Science. 2014. Volume 3, Issue 11. P. 44–51. URL: <http://www.theijes.com/papers/v3-i11/Version-1/G031101044051.pdf>
4. Dawson Andrew. Water in Road Structures. Transportation Engineering Centre University of Nottingham. UK. 2009. P.438.
5. Slavinska O.S., Bubela A.V., Bondarenko L.P., Chechuga O.S. Determination of the optimal road construction with transverse drainages of shallow laying. International Academy Journal Web of Scholars. 2020. Vol 5 (47), C. 3-11. URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/31052020/7088 [in Ukrainian].
6. Ruvinsky V.I., Chuev V.I. Tekhniko-ekonomicheskaya effektivnost' primeneniya teplo- i vodoizoliruyushchikh sloyov dlya obespecheniya prochnosti i ustoychivosti zemlyanogo polotna i dorozhnykh odezhd [Technical and economic effectiveness of the use of heat- and water-insulating layers to ensure the strength and stability of the ground surface and road surfaces]. M.: Trudy SoyuzdorNII. 1975. Issue 76. P. 59-81. [in rusian].
7. Bubela A.V., Kvatadze A.I. (2020). STUDY OF THE OPERATING MODES OF DRAINAGE LAYERS IN ROAD CONSTRUCTION. Science Review, (5(32), 24-29. URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30062020/7140 [in Ukrainian].