

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

На правах рукопису

СТЬОЖКА ВІТАЛІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 625.123

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ДРЕНАЖНИХ
СИСТЕМ МІЛКОГО ЗАКЛАДЕННЯ**

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник
Славінська Олена Сергіївна
доктор технічних наук, професор

Київ – 2015

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ВОЛОГОНАКОПИЧЕННЯ ТА МЕТОДІВ РЕГУЛЮВАННЯ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ ДОРОЖНЬОЇ КОНСТРУКЦІЇ.....	12
1.1 Джерела зволоження дорожньої конструкції та їх негативний вплив на експлуатаційний стан і довговічність автомобільної дороги.....	12
1.2 Класифікація джерел зволоження та розрахункових схем водно-теплого режиму.....	17
1.3 Дослідження закономірностей зміни температури і вологості шарів основи дорожнього одягу і робочої зони земляного полотна з часом та їх кількісна оцінка.....	25
1.4 Види дренажних систем мілкового закладення та їх елементів.....	34
1.5 Висновки по розділу.....	43
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ НАДХОДЖЕННЯ ВОЛОГИ ТА ПАРАМЕТРІВ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ РОБОЧОЇ ЗОНИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА.....	45
2.1 Дослідження процесу фільтрації у піщаних дренуючих шарах.....	45
2.2 Основні принципи проектування дренажних систем робочої зони земляного полотна.....	58
2.3 Визначення величини надходження води в дренажну конструкцію мілкового закладення при розтаванні ґрунту земляного полотна.....	60
2.4 Визначення величини надходження інфільтраційної води до дренажної конструкції мілкового закладення через покриття проїзної частини, узбіччя та розділювальну смугу.....	64

2.5	Визначення загальної величини надходження вологи.....	72
2.6	Підбір внутрішнього діаметру дренажної труби.....	73
2.7	Методи визначення товщини піщаного дренажного шару та основні схеми його роботи.....	77
2.7.1	Розрахунок товщини піщаного дренажного шару, який працює за принципом поглинання.....	77
2.7.2	Розрахунок товщини піщаного дренажного шару, який працює за принципом осушення.....	79
2.7.3	Врахування зниження пропускної здатності піщаного дренажного шару внаслідок його ущільнення з часом під впливом навантажень від транспорту та забруднення.....	80
2.8	Нестационарна математична модель переносу фільтраційного потоку в дренажних прошарках.....	83
2.9	Висновки по розділу.....	88
РОЗДІЛ 3	МЕТОД РЕАЛІЗАЦІЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ФІЛЬТРАЦІЇ В ДРЕНАЖНИХ ПРОШАРКАХ РОБОЧОЇ ЗОНИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА.....	89
3.1	Використання методу прогону для розрахунку параметрів роботи піщаного дренажного шару дорожньої конструкції....	89
3.1.1	Прямий хід методу прогону.....	91
3.1.2	Обернений хід методу прогону.....	93
3.2	Модифіковані рівняння переносу фільтраційного потоку в дренажних шарах за методом прогону.....	93
3.3	Схема реалізації запропонованої математичної моделі переносу фільтраційного потоку в робочій зоні земляного полотна автомобільної дороги.....	95
3.4	Висновки по розділу.....	100

РОЗДІЛ 4	ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОЗДОВЖНИХ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ У РОБОЧІЙ ЗОНІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА.....	102
4.1	Основні положення методу розрахунку параметрів поздовжнього дренажу у робочій зоні земляного полотна автомобільної дороги	102
4.2	Вихідні дані для визначення параметрів поздовжнього дренажу мілкового закладення автомобільної дороги	103
4.3	Визначення величини надходження вологи при розтаванні дорожньої конструкції.....	104
4.4	Визначення величини надходження інфільтраційної вологи протягом року.....	109
4.5	Визначення загальної розрахункової величини надходження вологи в дорожню конструкцію.....	114
4.6	Розрахунок параметрів піщаного дренажного шару поздовжньої дренажної системи мілкового закладення автомобільної дороги.....	115
4.7	Практичні аспекти застосування результатів розрахунків у конструкції дорожнього одягу ділянки автомобільної дороги Н-01 Київ – Знам’янка у Київській області.....	126
4.8	Економічна ефективність від впровадження результатів досліджень.....	131
4.9	Висновки по розділу.....	136
	ВИСНОВКИ.....	138
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	141
Додаток А	МЕТОДИКА ЧЕГОДАЄВА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФІЦИТУ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ 5 % ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ	153
Додаток Б	ДОВІДКОВІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ.....	155

Додаток В	МЕТЕОРОЛОГІЧНА СТАТИСТИКА УКРАЇНСЬКОГО ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО ЦЕНТРУ.....	158
Додаток Г	РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ НАДХОДЖЕННЯ ВОЛОГИ ПРИ РОЗТАВАННІ ДОРОЖНЬОЇ КОНСТРУКЦІЇ.....	168
Додаток Д	РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ ПАРАМЕТРІВ ДРЕНАЖУ МІЛКОГО ЗАКЛАДЕННЯ ЗА УДОСКОНАЛЕНОЮ МЕТОДИКОЮ.....	180
Додаток Е	ФОТОМАТЕРІАЛИ ОБСТЕЖЕННЯ ДІЛЯНОК АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ, ЯКІ ЗАЗНАЛИ РУЙНУВАНЬ ВНАСЛІДОК НЕСПРИЯТЛИВОГО ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ.....	188
Додаток Ж	РОЗРАХУНОК ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ.....	193
Додаток К	РОЗРАХУНОК ВАРТОСТІ ВЛАШТУВАННЯ ДОРОЖНЬОЇ КОНСТРУКЦІЇ З ДРЕНАЖЕМ МІЛКОГО ЗАКЛАДЕННЯ....	197
Додаток Л	ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ.....	210

ВСТУП

Актуальність роботи

Автомобільні дороги є важливою складовою економіки будь-якої держави. Їх стан та розгалуженість мережі впливають на всі галузі народного господарства. Від рівня безпеки на автомобільних дорогах залежать здоров'я та життя учасників руху.

Найбільш поширеними на території України є покриття, які влаштовують з використанням органічних в'язучих: асфальтобетонні – 59,7 тис. км (34,5 %); чорні шосе – 71,7 тис. км (42,1 %). Решта становить незначну частину: цементобетонні – 1,6 %, бруківки – 4,6 %, білі щебеневі та гравійні – 15 %.

Покриття, влаштовані з використанням органічних в'язучих, характеризуються високою чутливістю до температурно-зволожувальної дії, безперервними змінами міцності та деформативних характеристик у часі, у зв'язку з природним старінням в'язучого (у тому числі дьогтів, кам'яновугільних смол) та з використанням місцевих матеріалів (жорства, вапняки), які витримують незначну кількість циклів (до 30) заморожування-розмерзання, що суттєво ускладнює прогнозування їх довговічності.

На сьогодні переважна більшість дорожніх покриттів є водонепроникними внаслідок старіння матеріалів, наявності тріщин та мікротріщин. Накопичення вологи у нижніх шарах дорожнього одягу та робочій зоні земляного полотна в результаті значної кількості зимових опадів та плюсових температур; потрапляння вологи від дощу через дефекти покриття, не сплановані узбіччя, розділювальну смугу; відтискання води з нижніх шарів при розтаванні конструкції весною та багато інших факторів призводять до втрати несної здатності дорожньою конструкцією.

При будівництві, реконструкції чи капітальному ремонті доріг в умовах несприятливого водно-теплового режиму, при наявності глинистих, схильних до здимання ґрунтів виникає потреба у влаштуванні систем регулювання вологості дорожнього одягу та робочої зони земляного полотна.

Із цією метою влаштовують дренажні системи мілкового закладення, які знаходяться в зоні промерзання і призначені для забезпечення водовідводу (принцип осушення) або розміщення в них (принцип поглинання) всієї води, яка надходить до основи проїзної частини в розрахунковий період, а також забезпечення максимального захисту земляного полотна від перезволоження поверхневою водою.

На теперішній час методи визначення параметрів елементів дренажних систем мілкового закладення носять розрізнений характер, у розрахунках часто використовують емпіричні залежності та застарілі статистичні дані, що значно знижує точність розрахунків. Існуючі методи не повністю враховують дію усіх можливих джерел зволоження, особливості клімату регіону проходження дороги, режими руху рідини у пористому середовищі піщаного дренажного прошарку тощо.

Підвищення точності розрахунків при проектуванні дренажів мілкового закладення дасть змогу призначати обґрунтовані параметри конструкції, запобігти перезволоженню та руйнуванню дорожньої конструкції у несприятливий період з точки зору водно-теплогового режиму, подовжити строк служби автомобільної дороги, зменшити витрати на її ремонт та експлуатаційне утримання.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення важливої науково-практичної задачі – удосконалення методу розрахунку дренажних систем мілкового закладення за рахунок використання математичної моделі переносу фільтраційного потоку в робочій зоні земляного полотна автомобільної дороги, з урахуванням спільного впливу різних джерел зволоження протягом року.

Подальші дослідження моделей та методів розрахунку дренажних систем мілкового закладення повинні бути спрямовані на визначення актуальних розрахункових величин надходження вологи до дорожньої конструкції для різних регіонів України; застосування сучасних математичних методів для визначення часу осушення конструкції після припинення надходження вологи;

врахування доущільнення та забруднення дренуючого шару з часом; розрахунок ефективності використання геосинтетичних матеріалів у конструкції дренажів мілкового закладення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Наукові результати одержані у процесі виконання таких робіт згідно з тематичним планом науково-дослідних робіт Державного агентства автомобільних доріг України: «Розробити методику визначення пропускну здатності дренажної конструкції мілкового залягання з урахуванням річного циклу роботи» (д/б № 41-10, РК 0110U004126) та «Розробити рекомендації щодо оптимізації заходів з сезонного утримання доріг та підвищення якості їх виконання» (д/б № 57-12, РК 0112U005242).

Мета і задачі досліджень

Мета дослідження полягає в розробленні методу розрахунку дренажних систем мілкового закладення в робочій зоні земляного полотна автомобільної дороги з урахуванням спільного впливу різних джерел зволоження протягом року.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити наступні *задачі*:

- провести аналіз закономірностей зміни температури і вологості шарів основи дорожнього одягу і робочої зони земляного полотна з часом та процесу фільтрації у піщаних дренуючих шарах дорожньої конструкції;
- розробити розрахункові схеми переносу фільтраційного потоку в робочій зоні земляного полотна автомобільної дороги;
- розробити математичну модель переносу фільтраційного потоку в дренажних прошарках з урахуванням надходження вологи від різних джерел протягом року та метод її реалізації;
- виконати розрахунок параметрів піщаного дренуючого шару дренажної системи мілкового закладення автомобільної дороги із застосуванням існуючих та удосконаленого методів;

- розробити практичні рекомендації щодо застосування отриманого методу при проектуванні дренажних систем мілкого закладення робочої зони земляного полотна автомобільної дороги.

Об'єктом дослідження є процеси надходження вологи до дренажної системи мілкого закладення протягом року та її фільтрації в дренуючих шарах робочої зони земляного полотна.

Предметом дослідження є метод розрахунку поздовжніх дренажних систем мілкого закладення в робочій зоні земляного полотна автомобільної дороги.

Методи дослідження – методи математичного та числового моделювання, статистичні методи обробки експериментальних даних для порівняння розрахункових параметрів, одержаних із використанням різних методів.

Наукова новизна отриманих результатів:

- *удосконалено* математичну модель безнапірного нестационарного руху води в площині у піщаному шарі при наявності інфільтрації з урахуванням особливостей конструкції поперечного профілю та умов роботи дренажних систем мілкого закладення автомобільної дороги;

- *вперше одержано* схему реалізації та точні розв'язки рівнянь, які описують процес фільтрації в дренуючих шарах конструкції дорожнього одягу автомобільної дороги; розроблено інформаційно-аналітичну систему для реалізації отриманих рівнянь;

- *запропоновано* метод розрахунку дренажних систем мілкого закладення на підставі моделі безнапірного нестационарного руху води у пористому середовищі з урахуванням загальної величини надходження вологи до шарів дорожнього одягу та робочої зони земляного полотна від різних джерел зволоження протягом року.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблений метод розрахунку дозволяє проектувати поздовжню дренажну

систему мілкового закладення в робочій зоні земляного полотна залежно від глибини фільтраційного потоку у розрахунковий період з урахуванням кліматичних особливостей регіону та параметрів поперечного перерізу конструкції.

Теоретичні положення дисертаційної роботи доведені до рівня алгоритмів, програмних засобів та інженерної методики визначення розрахункових характеристик піщаного дренажного прошарку автомобільної дороги. Результати досліджень і практичні рекомендації можуть бути використані підприємствами та організаціями, які виконують роботи з проектування систем регулювання водно-теплогового режиму дорожнього одягу та верхньої частини земляного полотна автомобільних доріг.

Матеріали досліджень були впроваджені в Державному агентстві автомобільних доріг України при розробленні нормативних галузевих документів М 218-02070915-684:2011 «Методика визначення пропускної здатності дренажної конструкції мілкового закладення з урахуванням річного циклу роботи» та Р В.3.1-21476215-816:2013 «Рекомендації щодо оптимізації заходів з сезонного утримання доріг та підвищення якості їх виконання», а також у ДП «Укрдїпродор» та Службах автомобільних доріг Київської, Тернопільської і Чернігівської областей.

Особистий внесок здобувача

Внесок автора в опубліковані зі співавторами наукові праці:

- автором проаналізовано особливості процесів вологонакопичення в дорожніх конструкціях з дренажними прошарками, виконано порівняльний розрахунок із застосуванням різних методів [1];

- проаналізовано умови зволоження дорожніх конструкцій у різних умовах та існуючі методи кількісної оцінки цього процесу, зроблено висновки про необхідність розробки удосконаленого методу, який би більш точно враховував індивідуальні особливості регіону [2];

- обґрунтовано необхідність та доцільність використання рівнянь плавно змінного нестационарного руху рідини при розрахунку піщаних дренажних прошарків [3];

- запропоновано розрахункову схему роботи дренажного шару за принципом осушення; досліджено вплив рухомого складу на зниження пропускної здатності дренажного шару з часом [4];

- проаналізовано основні фактори, які формують водно-тепловий режим верхньої частини земляного полотна та основи дорожнього одягу; розглянуто методи визначення параметрів дренажних систем мілкового закладення з урахуванням режиму руху рідини, підвищення щільності піщаного шару з часом, особливостей клімату регіону будівництва [5];

- розроблено модифіковану математичну модель руху води в дорожній конструкції та виконано розрахунок зміни рівня води у піщаному дренажному шарі в розрізі часу та по довжині зони фільтрації [6].

Апробація результатів дисертації

Основні результати дисертаційної роботи були представлені на: міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні методи проектування, будівництва та експлуатації систем водовідводу на автомобільних дорогах» 1-2 березня 2012 року, м. Київ, Україна; всеукраїнській інтернет-конференції молодих учених і студентів «Проблеми сучасного будівництва» 21-22 листопада 2012 року, м. Полтава, Україна; наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету № № 65 – 71 в 2009 – 2015 рр.

Публікації

За результатами дисертаційної роботи опубліковано 19 друкованих робіт, у тому числі: 7 статей у фахових виданнях; 1 стаття у закордонному виданні, 1 публікація в матеріалах наукової конференції та 10 тез доповідей на наукових конференціях.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ВОЛОГОНАКОПИЧЕННЯ ТА МЕТОДІВ РЕГУЛЮВАННЯ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ ДОРОЖНЬОЇ КОНСТРУКЦІЇ

1.1. Джерела зволоження дорожньої конструкції та їх негативний вплив на експлуатаційний стан і довговічність автомобільної дороги

Автомобільна дорога є складною інженерною спорудою, яка складається зі значної кількості конструктивних елементів. Відповідальність і важливість їх безвідмовної роботи пов'язані з безпосереднім впливом на безпеку руху користувачів. Особливо важливим є забезпечення нормативних експлуатаційних характеристик тих елементів, з якими відбувається безпосередній контакт транспортних засобів – це покриття дорожнього одягу та узбіч, земляне полотно. На зазначені елементи чинять вплив погодно-кліматичні фактори (зміна температури, вплив опадів, вивітрювання та ін.), сонячна радіація, навантаження від рухомого складу, заходи з експлуатаційного утримання.

Очевидно, що на відміну від покриття, земляне полотно і основа дорожньої конструкції повинні влаштовуватись міцними одразу на достатню перспективу зростання руху; тоді не знадобиться перебудова всієї дороги, що пов'язано зі значними труднощами і витратами [1].

Земляне полотно в невисоких насипах чи в нульових відмітках на дорогах нашої місцевості в деяких випадках, внаслідок утворення в пилюватому ґрунті льодяних лінз, зимою нерівномірно здимається [7]. На цементобетонних покриттях в результаті цього з'являються тріщини, сусідні плити утворюють пороги, а на нежорстких одягах весною при розмерзанні ґрунту відбуваються деформації покриттів від дії навантажень. На таких слабких дорогах для уникнення руйнувань доводиться обмежувати рух важких вантажних автомобілів. Немалі кошти витрачаються щорічно також і на тимчасові заходи

по захисту покриттів від подальшого руйнування на ділянках зі слабким земляним полотном [8, 9].

Натурними спостереженнями, які виконувались у період з 2011 року по 2015 рік (додаток Е) підтверджено [10, 11], що строки обмеження руху великовагового транспорту напряду залежать не лише від температурного режиму верхніх шарів нежорстких дорожніх одягів, а й від вологості ґрунту робочої зони земляного полотна та шарів основи.

Встановлено, що інтенсивним руйнуванням у період перезволоження піддаються не лише ділянки автомобільних доріг, які вичерпали свій ресурс у зв'язку із недотриманням міжремонтних строків, а й ділянки, на яких виконувалися поточні середні і капітальні ремонти за декілька років до обстеження. Це свідчить про те, що ні в якому разі не варто нехтувати влаштуванням заходів, спрямованих на покращення водно-теплогового режиму, оскільки заміна шарів покриття може не усунути першопричину руйнувань і вони повторяться знову, а це, у свою чергу, призведе до невиправданих витрат на повторні ремонти.

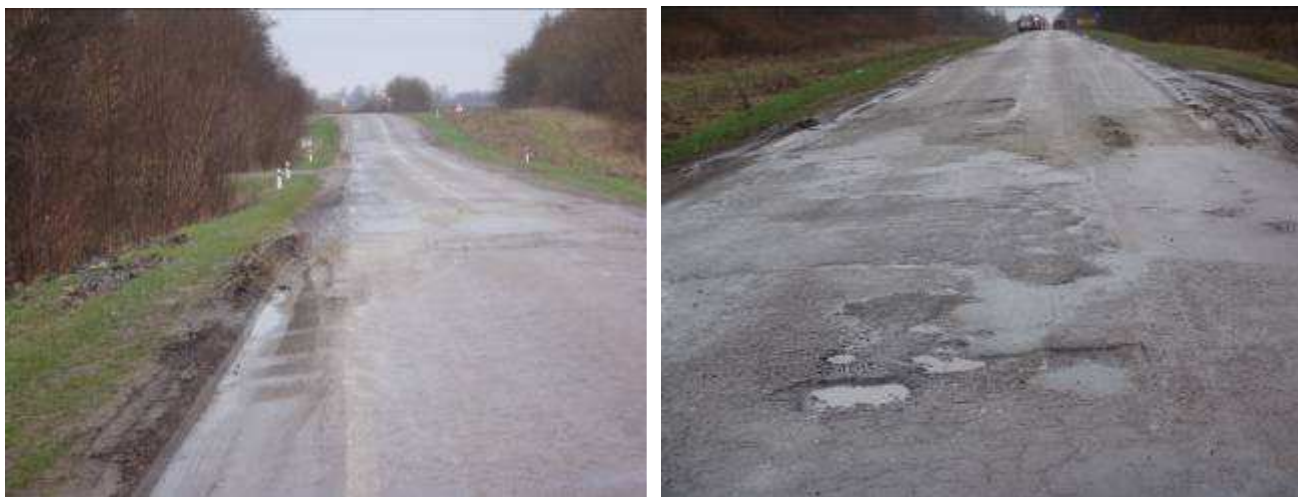


Рисунок 1.1 – Проникнення води через дефекти дорожньої конструкції (а/д Н-03 Житомир – Чернівці – Теремблече в Житомирській області, квітень 2011 року)

Крім того, ремонт дефектів дорожньої конструкції, які спричинені несприятливим водно-тепловим режимом (рисунки 1.1, 1.2), передбачає

тривале обмеження в русі транспортних засобів (такий ремонт є ефективним після стабілізації вологості ґрунту земляного полотна) та заміну конструкції дорожнього одягу на всю товщину.

Цей факт підтверджують натурні спостереження, проведені весною 2012 року під час проведення робіт з ліквідації руйнувань та деформацій покриття автомобільних доріг загального користування в післязимовий період (рисунок 1.3).



Рисунок 1.2 – Руйнування покриття, спричинені несприятливим водно-тепловим режимом (а/д М-12 Стрий – Тернопіль – Кіровоград – Знам'янка в Кіровоградській області, весна 2012 року)



Рисунок 1.3 – Ліквідація руйнувань дорожньої конструкції на а/д М-12 Стрий – Тернопіль – Кіровоград – Знам'янка в Кіровоградській області, весна 2012 року

Стан дорожніх конструкцій залежить від процесів, що відбуваються в приземних шарах атмосфери і верхніх шарах літосфери. Оцінюючи міцність і довговічність доріг, найбільшу увагу слід звернути на фактори, що впливають на зміну температури і вологості шарів конструкції. До них відносяться кліматичні дії – температура і відносна вологість повітря; сонячна радіація, атмосферні опади і швидкість вітру; гідрологічні – поверхневий стік; гідрогеологічні – ґрунтові води; вплив інженерних комунікацій – теплотраси, водопроводи, каналізації та ін.

Цей різноманітний і складний комплекс тепловологісних дій викликає в дорожній конструкції тепломасообмінні процеси: кондукцію і конвекцію тепла, дифузію водяної пари, концентраційну дифузію рідинної фази води, капілярну міграцію і гравітаційний рух води, промерзання порової води і розтавання льоду [5].

Тепловологісний вплив і тепломасообмінні процеси визначають водно-тепловий режим, тобто закономірні сезонні зміни в активній зоні дорожньої конструкції температури і вологості шарів одягу і ґрунту полотна [12].

Водно-тепловий режим обумовлює деформаційну здатність, міцність і довговічність дорожньої конструкції. Тому, при розробці принципів і методів проектування стійких та економічних дорожніх конструкцій необхідно вміти оцінювати інтенсивність та закономірність зміни водно-теплого режиму.

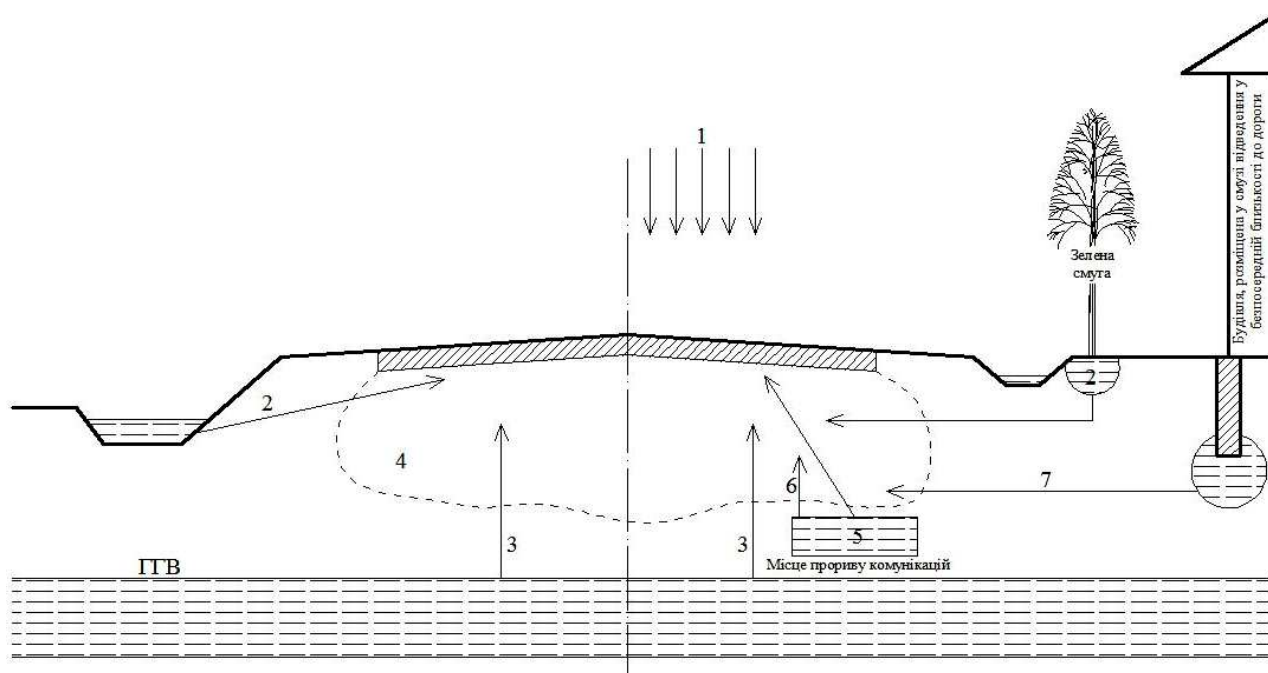
Особливості водно-теплого режиму дорожніх конструкцій визначаються джерелами зволоження (рисунок 1.4) [13, 14].

Короткочасним, але найбільш активним джерелом зволоження є атмосферні опади. Вони зволожують шари конструкції при існуванні в дорожньому покритті тріщин, які утворюються внаслідок неякісного утримання доріг та дії надмірних навантаження від транспортного потоку, або у випадку наявності водопроникних покриттів.

При порушенні цілісності труб або колодязів зливової каналізації створюються зони локального зволоження біля кромки проїзної частини. У випадку нормального утримання доріг з сучасними водонепроникними

покриттями атмосферні опади практично не проникають в шари дорожньої конструкції.

В період інтенсивних дощів, сніготанення або поверхневого стоку в зеленій зоні відбувається промочування ґрунту. Зона максимальної інфільтрації води в ґрунт може досягати 50-100 см. В результаті створюється певна небезпека бокового капілярного й плівкового зволоження. Джерело 2 короткочасне і при нормально ущільненому ґрунті земляного полотна не являє собою небезпеки.



1 – атмосферні опади; 2 – вода з бокових каналів і з боку зеленої смуги; 3 – ґрунтова вода; 4 – водяна пара; 5 – вода від прориву водоносних комунікацій; 6 – вода від тимчасового горизонту вод; 7 – вода із зони значного зволоження

Рисунок 1.4 – Джерела зволоження автомобільних доріг

При близькому заляганні ґрунтових вод (1-2 м від низу дорожнього одягу) відбувається капілярно-висхідне зволоження. Джерело 3 потужне, постійно діюче і небезпечне.

Ґрунт земляного полотна є дисперсно-пористим тілом. Одночасно з повітрям в порах дифундує водяна пара. При відсутності інших джерел зволоження водяна пара – основне і постійно діюче джерело. Якщо

конструювання дорожнього одягу неправильне, джерело 4 може бути небезпечним.

Під проїзною частиною або поблизу від неї можуть бути розташовані різні водоносні комунікації (водопровід, каналізація тощо). Досвід експлуатації доріг свідчить про існування можливості прориву таких водоносних комунікацій внаслідок різних причин. В зонах прориву виникає надзвичайно могутнє локальне зволоження – 5. Вода під тиском охоплює значну зону. Після усунення аварій ґрунт в цій зоні тривалий час знаходиться у перезволоженому стані і є локальним джерелом.

У ряді випадків вода проникає у зливову каналізацію і, рухаючись по ній, виходить у віддалені від місць проривів комунікації.

Таке зволоження, що переміщується, особливо небезпечне, оскільки часто важко встановити місце виникнення джерела зволоження.

На віддалених ділянках можливе утворення джерела зволоження з боку ґрунтових вод, що безперервно наступають. Це джерело 6 є потужним і небезпечним.

У процесі влаштування фундаменту під будови, що розташовуються у смузі відведення автомобільної дороги у безпосередній близькості до земляного полотна, відбувається інтенсивне зволоження ґрунту атмосферними опадами і поверхневим стоком. Виникають зони надмірного зволоження, які деякий час після закінчення будівництва споруд залишаються джерелом зволоження. Це джерело 7 може створювати незначну загрозу лише при близькому розташуванні проїзної частини доріг від споруди.

1.2. Класифікація джерел зволоження та розрахункових схем водно-теплового режиму

Джерела зволоження дорожньої конструкції поділяються на три групи та характеризуються такими кількісними показниками (рисунк 1.5):

1) об'єм води ($\text{м}^3/\text{доба}$ на 1 м^2 проїзної частини), що звільняється при розтаванні ґрунту під проїзною частиною та узбіччями (відтискається із нижніх шарів земляного полотна у весняний період) – Q_1 ;

2) величина надходження інфільтраційної вологи в основу дорожнього одягу (в $\text{м}^3/\text{добу}$ на 1 м дороги) від атмосферних опадів (Q_2) через узбіччя, покриття проїзної частини, розділювальну смугу;

3) кількість капілярної вологи (Q_3).

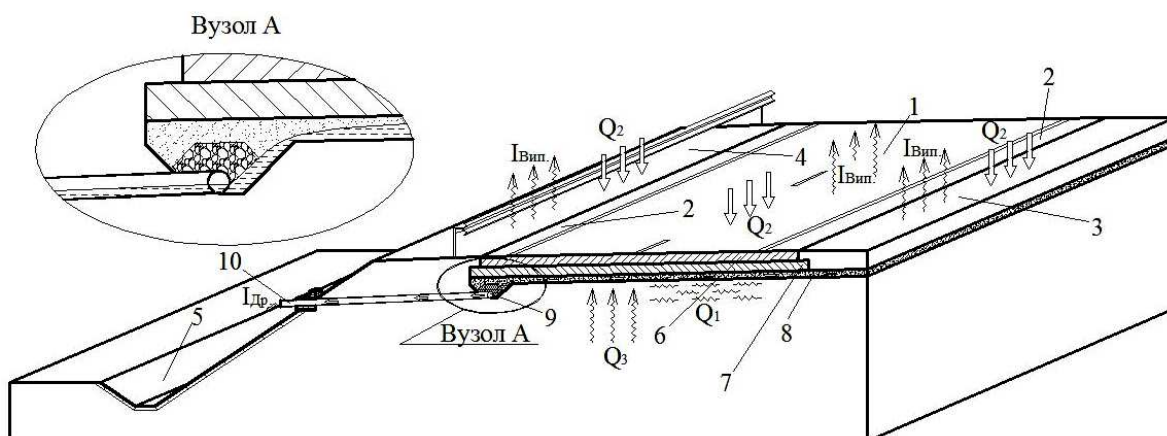


Рисунок 1.5 – Джерела зволоження верхньої частини земляного полотна автомобільної дороги:

1 – проїзна частина; 2 – укріплена частина узбіччя або розділювальної смуги; 3 – розділювальна смуга; 4 – неукріплена частина узбіччя; 5 – кювет; 6 – шари покриття дорожнього одягу; 7 – шари основи дорожнього одягу; 8 – підстильний шар основи з піску (дренуючий шар); 9 – поздовжній дренаж мілкового закладення; 10 – поперечний скид води з поздовжнього дренажу мілкового закладення

Як правило, при розрахунках основним джерелом зволоження вважається волога, що звільняється при розтаванні ґрунту під проїзною частиною та узбіччями (відтискається із нижніх шарів земляного полотна у весняний період). Проте, враховуючи той факт, що дорожні одяги автомобільних доріг та конструкції узбіч не забезпечують повної водонепроникності, кількість інфільтраційної вологи від атмосферних опадів може перевищувати кількість

вологи від зимового вологонакопичення. З огляду на це, стоїть питання визначення розрахункового (найбільш несприятливого) періоду індивідуально для кожного регіону з урахуванням режиму випадання опадів та температурних коливань.

Для роботи дорожньої конструкції у сприятливих умовах водно-теплогового режиму необхідно, щоб сумарний приток вологи від різних джерел зволоження ($\sum Q_i$) не перевищував кількості вологи, яка випаровується ($I_{\text{Вип.}}$), йде на змочування поверхонь ($I_{\text{Зм.}}$) та відводиться дренажною системою ($I_{\text{Др.}}$):

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 \leq I_{\text{Вип.}} + I_{\text{Зм.}} + I_{\text{Др.}} \quad (1.1)$$

У залежності від погодних умов та конструкції поперечного профілю автомобільної дороги деякі із доданків нерівності 1.1 можуть бути відсутні.

Оскільки величина джерела зволоження Q_3 дуже мала, порівняно з величинами Q_1 і Q_2 , при інженерних розрахунках нею можна знехтувати.

Для врахування особливостей джерел зволоження при проектуванні і експлуатації доріг існує гідрогеологічна класифікація ділянок доріг за ступенем зволоження.

Дію джерел зволоження на дорожні конструкції за ступенем небезпеки за зазначеною класифікацією об'єднано у три гідрогеологічні групи.

Перша гідрогеологічна група

Ґрунтові води залягають від споду дорожнього одягу далеко, на глибині більше 5 м. Покриття водонепроникне, не має тріщин, дорожня конструкція атмосферними опадами не зволожується. Під проїзною частиною доріг водоносних комунікацій немає. Діють ізольовано джерела 4, 2, 7.

Дорожні конструкції на ділянках першої гідрогеологічної групи зазнають найменш небезпечних тепловологісних впливів.

Друга гідрогеологічна група

Ґрунтові води залягають від споду одягу близько, на глибині 1-2 м. Характерне капілярне зволоження ґрунту джерелами 3 і 6. Можуть діяти

джерела 4, 2, 7. Дорожні конструкції на ділянках другої групи зазнають небезпечних тепловологісних дій.

Третя гідрогеологічна група

Грунтові води залягають від споду одягу далеко, на глибині більше 5 м. Характерне періодичне інтенсивне (надмірне) зволоження за рахунок джерел 1 (водопроникне покриття) або 5 (прориви мереж). Можливе зволоження, що переміщується, коли вода від проривів або витоків водоводів проникає по трубах мереж та інфільтрується десь далеко від місця виникнення джерела. Можуть діяти джерела 4, 2, 7.

Для ділянок доріг третьої групи характерна наявність під проїзною частиною водоносних комунікацій. Такі випадки можливі при будівництві доріг на ділянках, де раніше були прокладені водоносні комунікації.

Дорожні конструкції на ділянках третьої гідрогеологічної групи зазнають найбільш небезпечних тепловологісних дій.

У деяких випадках друга і третя групи можуть поєднуватися.

Наведена гідрогеологічна класифікація доріг дозволяє за загальними ознаками робити висновок про ступінь небезпечного впливу на дорожні конструкції водно-теплогового режиму.

Відносно доріг загального користування існує розподіл місцевостей за типами зволоження [14], який також включає три позиції:

1-й тип (сухі ділянки) – дорога зволожується атмосферними опадами та водяною парою. Поверхневий стік забезпечено, ґрунтові води залягають глибоко;

2-й тип (вологі ділянки) – дорога зволожується водою з бічних канав; вода тривалий час застоюється біля земляного полотна; ґрунтові води залягають глибоко;

3-й тип (перезволожені ділянки) – близьке залягання ґрунтових вод.

Дана класифікація знайшла практичне застосування і в діючій в Україні нормативній документації [15], де регламентується необхідність використання додаткових шарів основи для забезпечення стабільної роботи дорожньої

конструкції під дією кліматичних та ґрунтово-гідрологічних факторів, необхідність забезпечення поверхневого водовідведення та відведення ґрунтових вод.

За погодно-кліматичними факторами, ґрунтово-гідрологічними умовами зволоження, а також досвідом експлуатації доріг [15] територія України поділяється на чотири дорожньо-кліматичні зони.

Крім того, виділено 16 дорожніх районів України [16]. Район характеризується типовими кліматом, геологією, ґрунтами, рельєфом місцевості і, як наслідок, родом ґрунту, вологістю в характерні періоди року, стандартною щільністю, міцністю та іншими фізико-механічними властивостями.

Для аналізу фізичної сутності тепломасообміну в дорожніх конструкціях існує класифікація розрахункових схем (типів) водно-теплогового режиму (рисунок 1.6) [13].

Тип 1 – Дифузний режим

Діє джерело зволоження 4, покриття водонепроникне для джерела 1. Ґрунтові води залягають на глибині h_b , що значно перевищує глибину активної зони передачі навантажень від рухомого складу h_a тобто $h_b \gg h_a$, перша гідрогеологічна група.

Вода мігрує в формі ненасиченої або насиченої водяної пари. Плівкова міграція вологи відсутня. Наближені інтервали сезонного коливання відносної вологості ґрунту $W_{\min}=0,30$, $W_{\max}=0,50$. Зміна вологості в залежності від глибини активної зони обумовлюється пружністю водяної пари і температурою. Максимальне зволоження спостерігається звичайно на критичній глибині (від 0,1 м до 0,4 м від споду дорожнього одягу).

Цей тип водно-теплогового режиму спостерігається на автодорогах з двошаровим асфальтобетонним покриттям. Характерний для дорожньо-кліматичних зон У-III і У-IV в південних районах.

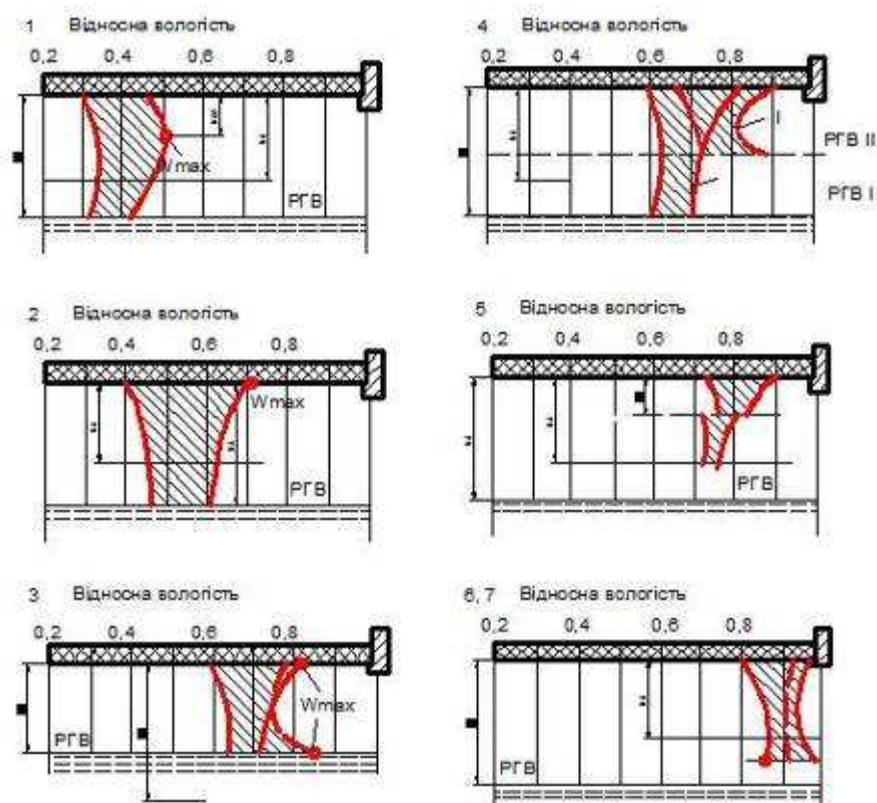


Рисунок 1.6. – Типи водно-теплогового режиму автомобільних доріг [13]:

- 1 – дифузний;
- 2 – дифузно-плівковий;
- 3 – капілярний;
- 4 – локально-капілярний;
- 5 – інфільтраційний;
- 6, 7 – інфільтраційний, що переміщується, і локально-інфільтраційний

Тип 2 – Дифузно-плівковий режим

Діють джерела зволоження – 4, 2, 7, покриття водонепроникне для джерела 1, $h_b \gg h_a$, перша гідрогеологічна група. Вода мігрує в двофазному стані: насичена водяна пара (40-90 %) + рідинна фаза (плівкова або капілярна, 60-10 %), $W_{\min}=0,40$, $W_{\max}=0,70$, рідко вище. Зміна вологості залежить від глибини активної зони і обумовлюється термодифузією і конденсацією вологи, а також потенціалами тепломасообміну. Максимум зволоження наприкінці холодного періоду спостерігається на поверхні ґрунтової основи.

Цей тип водно-теплогового режиму спостерігається на дорогах вищих категорій у дорожньо-кліматичній зоні У-ІІІ при наявності додаткових джерел зволоження 2 і 7 або при дії тільки джерела 4 в дорожньо-кліматичних зонах У-ІІІ і У-ІV в південних районах.

Тип 3 – Капілярний режим

Діє джерело зволоження 3. Додатково можуть діяти джерела 4, 2, 7. Покриття водонепроникне для джерела 1. Ґрунтові води залягають близько, $h_b < h_a$, друга гідрогеологічна група.

Вода знаходиться у вільному стані під дією капілярних сил і мігрує переважно у рідкій фазі (90-100 %). Лише у верхній частині капілярної кайми на пароподібне зволоження припадає до 15-25 %. Вода мігрує головним чином за рахунок капілярних сил. $W_{\min}=0,70$, $W_{\max}=0,80$. Характер розподілу вологості в активній зоні залежить від величини h_b . В теплий період року спостерігається зростання вологості з глибиною, в холодний період максимальна вологість спостерігається на поверхні ґрунтової основи.

Для капілярного режиму зовнішньою ознакою є близький рівень ґрунтових вод (1-2 м і ближче від споду одягу).

Зустрічається у У-І – У-ІV зонах.

Тип 4 – Локально-капілярний режим

Діє джерело зволоження 6 за рахунок підйому рівня ґрунтових вод від проривів водоводів або витоків води, додатково можуть діяти джерела 4, 2, 7. Покриття водонепроникне для джерела 1, глибина залягання ґрунтових вод безперервно зменшується від значення $h_b > h_a$ до $h_b < h_a$, друга гідрогеологічна група. Решта характеристик цього типу водно-теплогового режиму така ж, як і для типу 3. Вологість змінюється в більш широких інтервалах: при $h_b > h_a$ – $W_{\min}=0,6$, $W_{\max}=0,8$; при $h_b < h_a$ – $W_{\min}=0,8$, $W_{\max}=0,9$.

Цей тип водно-теплогового режиму спостерігається у зонах У-І – У-ІV на ділянках доріг, під якими (або поруч) укладені водоносні комунікації і підстеляється водостійкий шар.

Тип 5 – Інфільтраційний режим

Діє джерело 1, додатково можуть діяти джерела 4, 2, 7. Покриття водонепроникне, $h_b \gg h_a$, третя гідрогеологічна група. Зволоження ґрунтової основи відбувається поверхневою водою періодично крізь тріщини в покритті. Вода в ґрунті знаходиться в пухко зв'язаному або вільному стані під дією сорбційних або капілярних сил і переміщується переважно (70-80 %) в рідкій фазі, $W_{\min}=0,75$, $W_{\max}=0,9$ і вище.

Після інтенсивного промочування опадами характер кривої вологості по глибині відповідає в кожній точці значенню повної вологоємності, далі міграція вологи в ґрунтовій основі відбувається вгору в бік дорожнього одягу за рахунок випаровування. Максимальне значення вологості відзначається в нижній площині зони інфільтрації, мінімальне – в основі дорожнього одягу.

Спостерігається у зонах У-I – У-IV.

Тип 6 – Інфільтраційний, що переміщується

Посередньо діє джерело 5. Зволоження відбувається через протікання в водоносних комунікаціях або за рахунок виходу води з каналізаційних труб, куди вона потрапляє внаслідок проривів далеко від місця зволоження ґрунту. Покриття водонепроникне для джерела 1. Додатково можуть діяти джерела 4, 2, 7, $h_b \gg h_a$, третя гідрогеологічна група.

Вода знаходиться у вільному стані і мігрує під дією невеликого напору при витіканні з труби, а далі під дією капілярних та гравітаційних сил; переміщається переважно в рідинній формі. $W_{\min}=0,80$, $W_{\max}=0,95$ і вище. Крива зволоження має максимум у місці витікання.

Спостерігається у зонах У-I – У-IV.

Тип 7 – Локально-інфільтраційний

Діє джерело 5. Зволоження відбувається за рахунок інтенсивної інфільтрації води при проривах водоводів. За дуже короткий строк (1-2 години) уся активна зона насичується водою, $h_b \gg h_a$, третя гідрогеологічна група. Вода знаходиться у гравітаційному стані і переміщується в рідинній фазі (100 %). $W_{\min}=0,8$ (біля основи одягу), $W_{\max}=1,0$ і вище. Крива зволоження має максимум у місці прориву.

Спостерігається у зонах У-I – У-IV.

Наведена класифікація описує різноманітні випадки зволоження автомобільних доріг. Найменш небезпечним є перший тип водно-теплогового режиму, найбільш небезпечним – сьомий.

1.3. Дослідження закономірностей зміни температури і вологості шарів основи дорожнього одягу і робочої зони земляного полотна з часом та їх кількісна оцінка

Питаннями прогнозування закономірностей зміни температури і вологості шарів основи дорожнього одягу та верхньої частини земляного полотна з часом та їх кількісної оцінки займалися як вітчизняні, так і іноземні вчені.

Окремі результати досліджень знайшли своє відображення у діючій нормативній базі. У 70-х – 80-х роках минулого століття проведено цілий ряд експериментальних досліджень на існуючих об'єктах.

Багато уваги у своїх працях опису особливостей водно-теплогового режиму приділив О.Я. Тулаєв. Він зазначав, що водно-тепловий режим земляного полотна автомобільної дороги складається із п'яти стадій [17].

Перша стадія є початковою і пов'язана з осіннім періодом зволоження. У зв'язку з процесом інфільтрації вільної води підвищується вологість ґрунту земляного полотна. Рівень ґрунтових вод дещо підвищується, проте не впливає на вологість ґрунтів верхньої частини земляного полотна. Перша стадія триває до встановлення середньодобової температури повітря на рівні від мінус 3 до мінус 5 °С.

Друга стадія – зимове вологонакопичення. При промерзанні ґрунту волога, що накопичилася в осінній період, перерозподіляється завдяки силам кристалізації. При пониженні межі промерзання відбувається підтягування вологи із нижніх шарів ґрунту. Ґрунтові води сприяють зволоженню земляного полотна. Оскільки з пониженням температури ґрунт промерзає, відбувається

утворення льодяних прошарків із вологи, що накопилася протягом першої стадії. Чим швидше відбувається зниження температури, тим менше вологи встигає переміститися з нижніх більш теплих шарів у верхню частину земляного полотна. Тому м'яка зима з поступовим і незначним зниженням температури носить більш несприятливий характер.

Третя стадія – вимерзання води із піщаного підстильного шару основи дорожнього одягу та ґрунту верхньої частини земляного полотна. Даний період характеризується найбільш низькою температурою. Вологість верхньої частини земляного полотна практично не змінюється, рівень ґрунтових вод продовжує знижуватись. Якщо є підстильний шар з піску, то його вологість дещо знижується через процес вимерзання (при умові досить низьких температур).

Четверта стадія – насичення. При таненні снігового покриву відбувається підняття рівня ґрунтових вод. З'являється надлишок вільної води, яка відтискається в підстильний шар дорожнього одягу під дією динамічного впливу транспорту та защемленого повітря, яке розширюється при різниці температур $\geq 3^{\circ}\text{C}$. Нерівномірність розмерзання супроводжується перезволоженням ґрунтів під дорожнім одягом, що супроводжується зниженням його міцності. Наявність валиків снігу на узбіччях сприяє проникненню вільної води, особливо у місцях сполучення з проїзною частиною. Дана стадія характеризується появою руйнувань дорожнього покриття та утворенням колій. Великий вплив на зміну вологості чинить швидкість розмерзання земляного полотна. Чим триваліша затяжна весна із нічними заморозками та теплими сонячними днями без опадів, тим швидше знижується вологість внаслідок підвищеного випаровування вдень та вимерзання вночі. До джерел зволоження додаються атмосферні опади, що потрапляють до верхньої частини земляного полотна у вигляді інфільтрату через тріщини та пори покриття, місця сполучення проїзної частини з узбіччям, неукріплені або недостатньо сплановані узбіччя.

П'ята стадія водно-теплового режиму – відновлення літнього режиму. При повному розтаванні земляного полотна в ґрунтах залишається лише

капілярно-розімкнута (підвішена) вода. Підвищується щільність і понижується вологість ґрунту за рахунок інтенсивного випаровування та пониження рівня підземних вод.

Наведена вище узагальнена закономірність зміни вологості відноситься до верхньої частини земляного полотна глибиною до $(2,5 \div 3) \cdot D$ відносно поверхні проїзної частини (де D – діаметр відбитку колеса розрахункового типу автомобіля, м).

Легко зробити висновок [3], що найбільш небезпечними для верхньої частини земляного полотна є перша, друга та четверта стадії водно-теплогового режиму.

У практиці інженерних розрахунків за розрахунковий [16] регламентується приймати період весняного розмерзання дорожньої конструкції, не виключається можливість перезволоження земляного полотна поверхневою водою. Відзначається, що в основу дорожнього одягу надходить вода, яка звільняється при розмерзанні перезволоженого ґрунту земляного полотна під проїзною частиною та узбіччями, і вода від атмосферних опадів, яка просочується із поверхні дороги та із придорожньої смуги.

Розрахунок основних параметрів систем осушення шарів дорожнього одягу та верхньої частини земляного полотна виконується на основі загального питомого надлишку води, яка надходить у найбільш несприятливий період від усіх можливих джерел зволоження. Ця величина і є основним параметром, який характеризує водно-тепловий режим. Вона залежить як від умов зволоження у попередній період, так і від зміни температури повітря, конструкції, режимів випадіння опадів, швидкості розтавання конструктивних шарів та ін. [18].

Розрахунку даної величини у своїх роботах приділяли увагу О.Я. Тулаєв, І.А. Золотарь, В.М. Сіденко, В.І. Рувинський та ін.

О.Я. Тулаєв у своїй монографії [17] говорить, що сумарну кількість вільної води протягом періоду розтавання можна визначити, знаючи кількість інфільтраційної вологи, яка надходить через покриття, узбіччя та

розділювальну смугу, при умові, якщо в результаті спостережень відомі вологість і відповідна щільність ґрунтів для типової ділянки, нижня межа текучості ґрунту (величини, необхідні для розрахунку кількості води, яка звільняється при розтаванні конструкції).

Метод є досить простим, але основний його недолік – недостатня точність у визначенні кількості інфільтруючої вологи від опадів. Розрахункові значення, визначені раніше, є застарілими і можливість їх використання потрібно уточнювати, виходячи із актуальної погодної статистики останніх років.

Загальний питомий надлишок води у такому випадку буде складатися із суми питомих надлишків від інфільтрації, визначених за результатами багаторічних спостережень, та загальної кількості вологи, яка вивільнилася протягом періоду розтавання конструкції, розділеної на тривалість періоду розтавання до глибини, рівної такій, з якої вода може відтискатися в корито.

Постає питання визначення швидкості розтавання дорожньої конструкції, вирішення якого розглянемо далі.

Кількість інфільтраційної вологи часто пропонують визначати за таблицями, отриманими в результаті обробки даних, отриманих багаторічними спостереженнями.

Принципово інший метод (формула 1.1) визначення притоку вологи базується на тому, що на типових ділянках заміряють пучиноутворення покриття і виконують розрахунки із врахуванням коефіцієнту переходу льоду у вільну воду, що найчастіше становить 0,6.

$$Q = l \cdot K_{\text{л}} + Q_2, \quad (1.1)$$

де Q – загальна величина притоку вологи до дорожньої конструкції, $\text{м}^3/\text{м}^2$;

l – морозне здимання покриття, мм;

$K_{\text{л}}$ – коефіцієнт переходу льоду у вільну воду;

Q_2 – кількість інфільтраційної вологи, $\text{м}^3/\text{м}^2$.

Даний метод має той же недолік, що і попередній. Крім того, спочатку необхідно мати дослідну ділянку дороги, на якій спостерігається пучиноутворення, тобто ділянку з недоліками в конструкції, і провести на ній натурні спостереження. Для кожного окремого випадку проектування необхідно виконувати дослідження на дослідній ділянці з індивідуальними особливостями, що потребує значних витрат як коштів, так і часу.

Очікувану ж величину зимового здимання [19] пропонується визначати розрахунково за залежністю:

$$l = 1,09 \cdot Q_{\text{нак}} + 0,09 \cdot (z_{\text{пр}} - z_1) \cdot (V_{\text{пв}} - V_{\text{в}} - V_{\text{h}}), \quad (1.2)$$

де $Q_{\text{нак}}$ – об’єм води, яка накопичується в зимовий період, (формула 1.3)
у стовпі ґрунту з перетином 1 м^2 , м^3

$z_{\text{пр}}$ – розрахункова глибина промерзання дорожньої конструкції, м;

z_1 – загальна товщина шарів із стабільного матеріалу, м;

$V_{\text{пв}}$ – об’єм пор в ґрунті перед промерзанням;

$V_{\text{в}}$ – об’єм заземленого в ґрунті повітря;

V_{h} – об’єм незамерзаючої при незначних від’ємних температурах води.

$$Q_{\text{нак}} = \frac{2 \cdot k_{\text{к}} \cdot (W_1 - W_2)}{\beta \cdot \gamma \cdot 2 \cdot \alpha_0} \cdot z_{\text{пр}} \cdot (H_0 - z_{01}) \cdot \left\{ \left(\gamma \cdot \frac{1 - z_{01}}{H_0 - z_{01}} - 1 \right) \cdot \exp \left[\gamma \cdot \left(\frac{1 - z_{01}}{H_0 - z_{01}} - 1 \right) \right] + \exp(-\gamma) \right\}, \quad (1.3)$$

де $k_{\text{к}}$ – коефіцієнт капілярної вологопровідності ґрунту, $\text{м}^2/\text{доба}$;

$$H_0 = \frac{H_{\text{вп}}}{z_{\text{пр}}}; \quad (1.4)$$

$$z_{01} = \frac{z_1}{z_{\text{пр}}}; \quad (1.5)$$

W_1 – вологість ґрунту поблизу рівня ґрунтових вод, долі одиниці від об'єму;

W_2 – вологість ґрунту біля межі промерзання, долі одиниці від об'єму;

α_0 – показник, який враховує особливості кліматичних умов, м²/доба;

β та γ – коефіцієнти, які характеризують перерозподіл вологи у процесі промерзання земляного полотна та залежать від початкової щільності та властивостей ґрунтів;

$H_{пв}$ – відстань до рівня підземних вод, м.

Також сумарну кількість вільної води протягом періоду розтавання пропонується визначати, користуючись розрахунковими рівняннями В.М. Сіденко, М.А. Пузакова, І.А. Золотаря та ін. [19]. Однак, потрібні важливі вихідні дані, в тому числі і коефіцієнт вологопровідності, визначення якого потребує складних лабораторних експериментів.

О.Я. Тулаєвим було зроблено висновок про наявність недоліків у перелічених вище методах та їх недостатню достовірність [17]. Він говорить про можливість застосування даних, отриманих протягом багатьох років (1941-1978 рр.) шляхом заміру питомого надлишку води, що витікає безпосередньо із трубчатих дренажів [20, 21]. Нажаль, сьогодні (через 37-74 роки) доцільність використання цих даних викликає певні сумніви, а виконати нові експериментальні дослідження неможливо у зв'язку з відсутністю достатньої кількості дренажних конструкцій на дорогах України.

Ще один метод розрахунку було запропоновано в [22]. Розглядалася можливість використання або табличних даних, або рекомендацій для розрахунку.

В рекомендаціях йдеться про те, що вода із розтавшего земляного полотна потрапляє в дренажний прошарок, якщо вологість ґрунту в результаті зимового вологонакопичення перевищує величину його повної вологоємності при потрібній щільності.

До уваги береться значення швидкості розтавання конструкції, а кількість води, яка проникає в основу проїзної частини з поверхні дороги (в тому числі, від атмосферних опадів) пропонується приймати за даними таблиць. Зважаючи на те, що рекомендації були опубліковані ще в 1974 році, використання табличних даних є суттєвим недоліком методики, що розглядається. І, взагалі, відсутність актуальних результатів статистичних спостережень за зміною водно-теплового режиму дорожньої конструкції ускладнює процес точного та ефективного прийняття рішень при розробці проектів систем осушення робочої зони земляного полотна автомобільних доріг [11, 23].

Окрім того, в описаних методах розрахунку прослідковується одна спільна риса – недостатньо уваги приділяється визначенню кількості вологи, яка потрапляє в конструкцію від атмосферних опадів. Не наводиться чітка послідовність для визначення цієї величини.

Цілком можливо, що табличні дані для визначення надходження інфільтраційної вологи [22] були отримані шляхом розрахунку за методикою, наведеною в [24, 25, 26].

Зазначена методика описана В.І. Рувінським [27]. Викладені основи розрахунку проникнення опадів у ґрунт та їх випаровування з використанням даних про конструктивні параметри ділянки дороги та дані метеорологічної статистики. Для інженерних обчислень методика досить складна та трудомістка. Проте, логічна послідовність залежностей дає змогу створити комп'ютерну інформаційно-аналітичну систему для автоматизованих розрахунків. Поєднавши зазначену методику з залежністю, наведеною в [22], можна досить точно для індивідуальних умов підрахувати величину надходження вологи до дорожньої конструкції від різних джерел.

В [28] проаналізовано основні групи джерел зволоження дорожньої конструкції та наведено рівняння для визначення зміни вологості ґрунту земляного полотна по глибині на основі теорії тепломасообміну [19, 29, 30, 31], розробленої М.А. Пузаковим, В.М. Сіденко, О.Я. Тулаєвим та ін. для кожного з

типів місцевості за характером зволоження (формули 1.6 – для першого типу місцевості за характером зволоження, 1.7 – для другого, 1.8 – для третього).

$$W(z, T) = W_n - m \cdot z \cdot \sqrt{\frac{T}{\pi \cdot a_1}} \cdot \exp\left(-\frac{z^2}{4 \cdot a_1 \cdot T}\right) + \\ + m \cdot \left(T + \frac{z^2}{2 \cdot a_1}\right) \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{z}{2 \cdot \sqrt{a_1 \cdot T}}\right), \quad (1.6)$$

де W_n – відносна вологість ґрунту по глибині земляного полотна на початку другого періоду, $W(z, 0) = \text{const}$, долі одиниці;

T – час, який відраховується від початку періоду з W_n , год;

m – коефіцієнт, який враховує зміну вологості ґрунту полотна під дорожнім одягом у період вологонакопичення, 1/год;

a_1 – коефіцієнт вологопровідності двофазної води, м²/год.

$$W(z, T) = W_{\text{пв}} - [W_{\text{пв}} - (W_{\text{н}} + m_1 \times T)] \cdot \frac{z}{l} + \frac{2}{\pi} \cdot \\ \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{1}{n} \cdot \exp\left(-\frac{\pi^2 \cdot n^2 \cdot a \cdot T}{l^2}\right) \cdot \left[W_{\text{н}} - W_{\text{пв}} - \frac{(-1)^n \cdot l^2 \cdot m}{\pi^2 \cdot n^2 \cdot a_1} \right] + \frac{(-1)^n \cdot l^2 \cdot m}{\pi^2 \cdot n^3 \cdot a_1} \right\} \cdot \\ \cdot \sin \frac{n \cdot \pi \cdot z}{l}, \quad (1.7)$$

де l – горизонтальна відстань від точки перетину тимчасового горизонту поверхневих вод з укосом полотна до кромки проїзної частини, м;

$W_{\text{пв}}$ – відносна вологість ґрунту полотна по вертикалі, проведений через точку перетину тимчасового горизонту поверхневих вод з укосом полотна, долі одиниці;

$W_{\text{н}}$ – початкова відносна вологість ґрунту в точці перетину тимчасового горизонту поверхневих вод з укосом полотна до наповнення бічної канави водою, долі одиниці;

T – тривалість стояння води в бічній канаві, год;

m, m_1 – коефіцієнти, які враховують інтенсивність наростання вологості ґрунту за період T у вертикальних площинах відповідно біля канави і біля кромки проїзної частини.

$$W(z, T) = W_1 + m \cdot T_B + \frac{1}{h_{\Gamma B}} \cdot (W_{\Pi B} - W_1 - m \cdot T_B) - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \cdot m \cdot h_{\Gamma B}^2}{\pi^3 \cdot a_1 \cdot n^3} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\pi^2 \cdot n^2 \cdot a_1 \cdot T_B}{h_{\Gamma B}^2}\right) \cdot \sin \frac{\pi \cdot n \cdot z}{h_{\Gamma B}} \right], \quad (1.8)$$

де $h_{\Gamma B}$ – відстань від розрахункового горизонту ґрунтових вод до низу дорожнього одягу, м;

T_B – тривалість стояння розрахункового горизонту ґрунтових вод, год;

W_1 – відносна вологість ґрунту під граничним шаром одягу в період $T_{\epsilon} = 0$, долі одиниці;

$W_{\Pi B}$ – початкова відносна вологість ґрунту у площині дзеркала розрахункового горизонту ґрунтових вод, долі одиниці.

Відповідно до [25], навесні, при розтаванні дорожньої конструкції, вивільняється вода, яка, переміщуючись вгору, зволожує ґрунт активної зони земляного полотна та дорожній одяг.

Що стосується глибини промерзання та швидкості розтавання дорожньої конструкції, необхідність визначення яких обґрунтовано вище, то слід зазначити, що ґрунт буде віддавати вологу до тих пір, поки не розмерзнеться повністю. Значення нормативної глибини промерзання можна отримати з діючої нормативної бази [16] або розрахувати відповідно до [13].

Переважає більшість з проаналізованих методик розроблялися з використанням даних про кліматичні умови всієї території колишнього Радянського Союзу, у кращому випадку, – його європейської частини [32].

Не викликає заперечень необхідність дослідження можливих змін клімату, які відбуваються у зв'язку з діяльністю людини [33, 34], та зумовлюють зростання пікових опадів, потеплінь, повіней та ін.

Нажаль, переважна більшість діючих нормативних документів також [15, 16, 25, 37, 38] не повною мірою розкривають питання визначення величини надходження вологи в дорожню конструкцію від різних джерел, розрахункового (найбільш несприятливого) періоду та особливостей проектування і будівництва систем регулювання водно-теплого режиму дорожньої конструкції.

Отже [2, 35, 36], цілком зрозуміло, що існує необхідність створення єдиної методики визначення величини надходження вологи у верхню частину дорожньої конструкції, зокрема земляного полотна, з урахуванням всіх джерел зволоження, як перший етап удосконалювання методу розрахунку дренажних систем мілкового закладення саме для території України.

1.4. Види дренажних систем мілкового закладення та їх елементів

Досить поширеним і простим способом регулювання водно-теплого режиму верхньої частини земляного полотна та дорожнього одягу є влаштування дренажної конструкції мілкового закладення.

Дренажні конструкції на автомобільних дорогах влаштовуються для забезпечення стійкості земляного полотна та максимального захисту від перезволоження основи дорожнього одягу поверхневими та підземними водами. Вода під покриття просочується шляхом капілярного підняття та через пори і тріщини покриття і т. д., появу яких і розподіл по площі покриття передбачити заздалегідь неможливо. Тому, дренаж повинен забезпечити акумулювання і відвід води з будь-якої точки покриття без переривання руху, в любий період. Дренажна конструкція повинна розповсюджуватися по низу покриття на повну його ширину. На даний момент відсутні водонепроникні покриття, які змогли б забезпечити достатню водостійкість на необхідний час.

Саме тому, проектування дренажної системи потрібно передбачати при будівництві як жорстких, так і нежорстких типів покриттів.

При будівництві доріг з давніх часів знали про необхідність враховувати рівень ґрунтових вод і приток води від усіх відомих джерел зволоження. Переважно при конструюванні дренажу враховують відведення води, яка надходить в конструктивні шари дорожнього одягу від впливу ґрунтових вод та внаслідок весняного вологонакопичення, не враховуючи вплив інфільтраційної вологи. Проте, інфільтраційна волога інколи є основним і найбільш вагомим джерелом зволоження.

Після детального вивчення випадків і причин руйнування покриттів від перезволоження інфільтраційною водою було зроблено висновки про те, що дренажна система покриття повинна влаштовуватись завжди, крім особливих випадків, наприклад, при будівництві покриття в посушливих районах з незначною кількістю опадів або коли вони розраховуються для руху низької інтенсивності, тобто крім випадків, коли влаштування дренажу стає економічно не вигідним.

Дренажі мілкового закладення використовуються у виїмках, на ділянках малих насипів, в «нульових» місцях у випадку значного притоку води в активну зону земляного полотна. Особливістю є те, що вони розташовуються в зоні промерзання і призначені для видалення води з верхньої частини дорожньої конструкції у теплий період або в період розтавання дорожньої конструкції. Їх застосовують для просушування дренажного прошарку, який забезпечує фільтрацію води в капілярному вигляді. Дренажі мілкового закладення необхідно передбачати у випадку, коли кількість води, яка надходить в основу дорожнього одягу в окремі періоди, більша, ніж може розміститися в порах нижніх шарів одягу та підстильному ґрунті без значного зниження їх опору автомобільним навантаженням [39].

Ці дренажі мають наступні переваги:

- виключають необхідність видалення намерзлого льоду;
- мають порівняно невелику будівельну вартість;

- влаштовуються з високим рівнем механізації робіт;
- мають тривалий термін служби;
- ефективно осушують активну зону земляного полотна.

Проте, всі вище наведені переваги матимуть місце лише при будівництві правильно розрахованої конструкції та дотриманні технології виконання будівельних робіт.

У залежності від методу розрахунку, орієнтації відносно осі автомобільної дороги, матеріалів, що використовуються, виділяється декілька видів дренажних систем мілкового закладення та їх елементів.

Параметри дренажів мілкового закладення розраховуються за двома принципово різними методами:

- 1) за методом поглинання – з метою визначення мінімальної товщини піщаного дренажного шару для розміщення в ньому всієї води, що надходить в розрахунковий період або для розміщення води, що надходить до піщаного дренажного шару в період розтавання поперечних випусків;
- 2) за методом осушення – з метою визначення товщини піщаного шару і внутрішнього діаметру дренажної труби, достатніх для ефективного відведення зазначеної вище кількості води.

Дренажна система мілкового закладення може складатися із конструктивних елементів, які в залежності від орієнтації відносно осі дороги можна поділити на три групи:

- 1) площинні елементи дренажу мілкового закладення;
- 2) поздовжні елементи дренажу мілкового закладення;
- 3) поперечні елементи дренажу мілкового закладення.

Площинними елементами є піщані дренажні шари основи дорожнього одягу, розраховані за наведеними вище методами поглинання або осушення.

Площинний дренаж мілкового закладення, розрахований за методом поглинання застосовується самостійно, без поєднання з іншими елементами.

Площинний дренаж мілкого закладення, розрахований за методом осушення, може застосовуватись як самостійно (з виходом на укоси земляного полотна), так і у поєднанні з поперечними і поздовжніми елементами, призначеними для відведення з нього води.

Площинний дренаж мілкого закладення, розрахований за методом осушення, розраховується і за методом поглинання для перевірки можливості його ефективної роботи у період розтавання поперечних випусків.

Поздовжнім елементом дренажної системи мілкого закладення є поздовжня дрена (або крупнопористе ядро) для відведення води із піщаного дренуючого шару основи дорожнього одягу.

До поперечних елементів дренажу мілкого закладення належать поперечні випуски із поздовжнього дренажу та поперечні дренажні прорізи.

У залежності від матеріалів, що використовуються при влаштуванні ядра для відводу води у поперечних та поздовжніх елементах дренажу мілкого закладення, їх поділяють на елементи з:

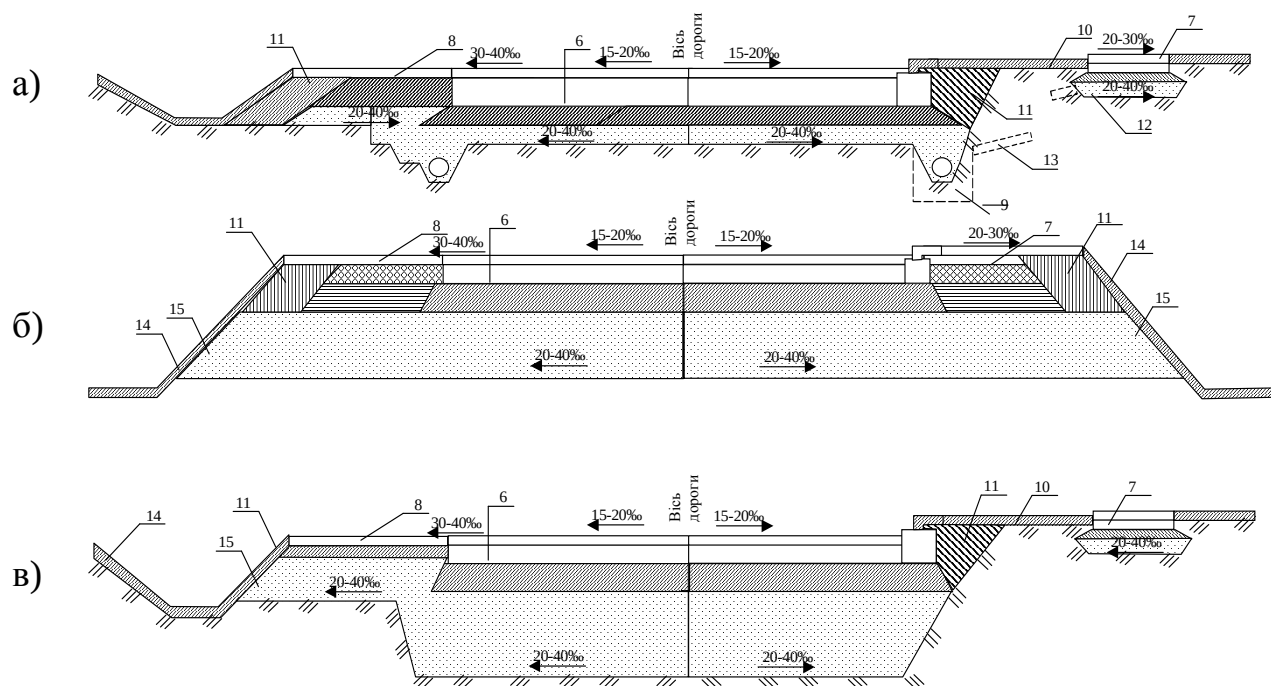
- 1) перфорованими трубами або трубофільтрами [40];
- 2) ядром із крупнопористого матеріалу.

Поперечні дренажні прорізи у свою чергу поділяються на:

- 1) наскрізні двосторонні – направлені в обидві сторони від осі дороги;
- 2) наскрізні односторонні – направлені в одну сторону у межах проїзної частини та одного з узбіч;
- 3) укорочені – розміщені у межах узбіч.

Розглянемо коротко кожен із запропонованих видів дренажних систем мілкого закладення та їх елементів.

Поздовжні дренажі мілкого закладення (рисунок 1.7 а) використовуються у виїмках, на ділянках малих насипів, в нульових місцях у випадку притоку води в дренуючий шар. Вони розташовані в зоні промерзання та застосовуються для просушування дренажного прошарку, який забезпечує фільтрацію води в капілярному вигляді.



1 – проїзна частина; 2 – тротуари; 3 – узбіччя; 4 – смуги озеленення; 5 – центральна розділювальна смуга; 6 – конструкція дорожнього одягу проїзної частини; 7 – конструкція тротуару; 8 – укріплення узбіч; 9 – поздовжній дренаж мілкового закладення; 10 – газон; 11 – ущільнений ґрунт; 12 – трубчаста воронка; 13 – труба діаметром 80 – 100 мм; 14 – закріплення ухилів бічних каналів; 15 – зворотний фільтр

Рисунок 1.7 – Конструкції дренажних систем мілкового закладення [16]:

а) дренажна система мілкового закладення, розрахована за методом осушення, з поздовжнім дренажем мілкового закладення та поперечними випусками (дренажна конструкція з поглибленими поздовжніми рівчачками);

б) улаштування піщаного дренажного шару основи дорожнього одягу на всю ширину земляного полотна (площинний дренаж, розрахований за методом осушення);

в) дренажний шар основи дорожнього одягу, який розрахований за методом поглинання

Поздовжній дренаж мілкового закладення включає дренажну траншею, заповнену піском; дренажний трубопровід з фільтровою обсіпкою (або крупнозернисте ядро) й залізобетонні колодязі для приймання води (або

поперечні випуски води). Використовуються азбоцементні, перфоровані перхлорвінілові, пластмасові труби або трубофільтри.

Внутрішній діаметр трубопроводу визначають гідравлічним розрахунком, але приймають не менше 50 мм. Трубопровід укладають безпосередньо на дно траншеї, а при наявності плавунів – на піщану подушку висотою 7 см. Мінімальний поздовжній похил поздовжніх дрен – 0,004 при трубах $d_T > 80$ мм, та 0,005 при трубах $d_T \geq 50$ мм.

Дренажну траншею призначають шириною понад 0,3 м при глибині її до 0,25 м. При механізованому укладанні дренажів ширину траншеї приймають рівній ширині землерийного органу машини, але не менше 0,3 м.

Приклади площинних дренажів мілкового закладення, розрахованих за методами осушення та поглинання, наведено, відповідно, на рисунках 1.7 б і 1.7 в.

Для перехвату води звичайно влаштовують глибокі прорізи з відміткою їх дна нижче максимальної глибини промерзання земляного полотна. Але при цьому в зимовий період значно погіршується рівність покриття. Прорізи заповнюють на повну їх глибину крупнопористим матеріалом [17].

Між тим, товщина дорожнього одягу в 3-4 рази менша від товщини кам'яної засипки прорізів і тому відмітка покриття на їх ширині в зимовий період завжди нижча, ніж проїзної частини, яка піднімається завдяки морозному здиманню. Щоб забезпечити безпеку руху, в таких місцях вкладають шлак. Натомість, потрібно влаштовувати прорізи мілкового закладення (рисунок 1.8). Тоді морозне здимання практично однакове в межах і за межами прорізів.

Враховуючи нерівномірне розтавання земляного полотна по його ширині, в рівчаки потрібно вкладати труби. В цьому випадку, по мірі надходження вільної води в дренажний шар, вона швидко скидається в кювети або водовідвідні канави. Якщо відчувається недостача в трубах, то по ширині

проїзної частини влаштовують ядро прорізей з морозостійкого щебеню або гравію крупністю 20-40 мм.

На узбіччях і укосах обов'язкове укладання труб, що забезпечить швидке скидання вільної води, яка надходить протягом розтавання дренажного шару.

При стійкій додатній температурі повітря стінки труби нагріваються і вода, яка надходить з дренажного шару, виштовхує раніше утворений лід.

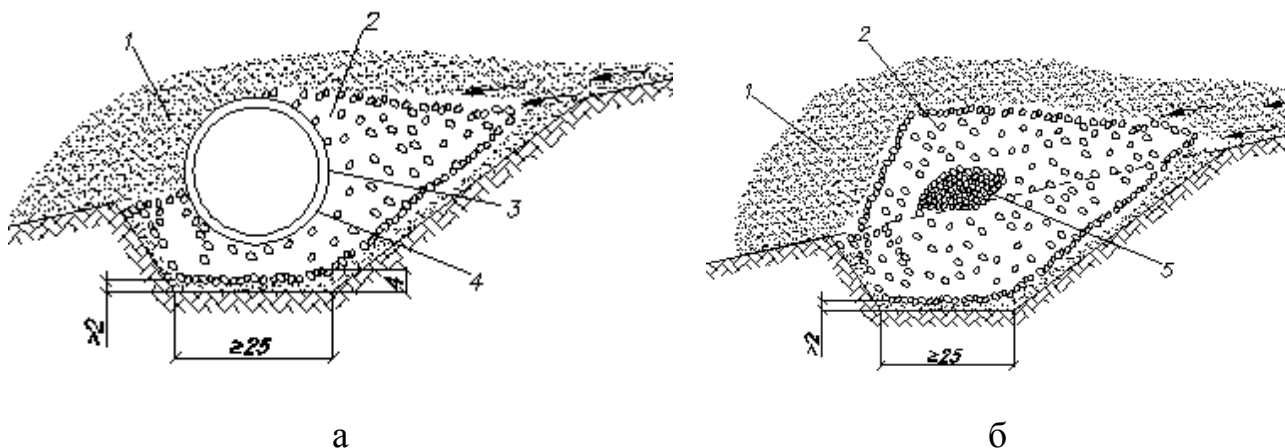


Рисунок 1.8 – Схема поперечного перетину поперечних дренажних прорізей у межах узбіч і розділювальних смуг

У плані при двоскатному поперечному профілі автомобільної дороги прорізі влаштовують наскрізними двосторонніми і, якщо їх похил більше 0,03, то потрібно передбачити додатково ще по одній для підсилення осушення дренажного шару повітряною аерацією.

На ділянках з поздовжнім похилом від 0,02 і більше прорізі можна влаштувати односторонніми, оберненими до південної сторони. Швидкість розтавання південної сторони значно більша, ніж північної, тому прорізь швидше включається в роботу (рисунок 1.9).

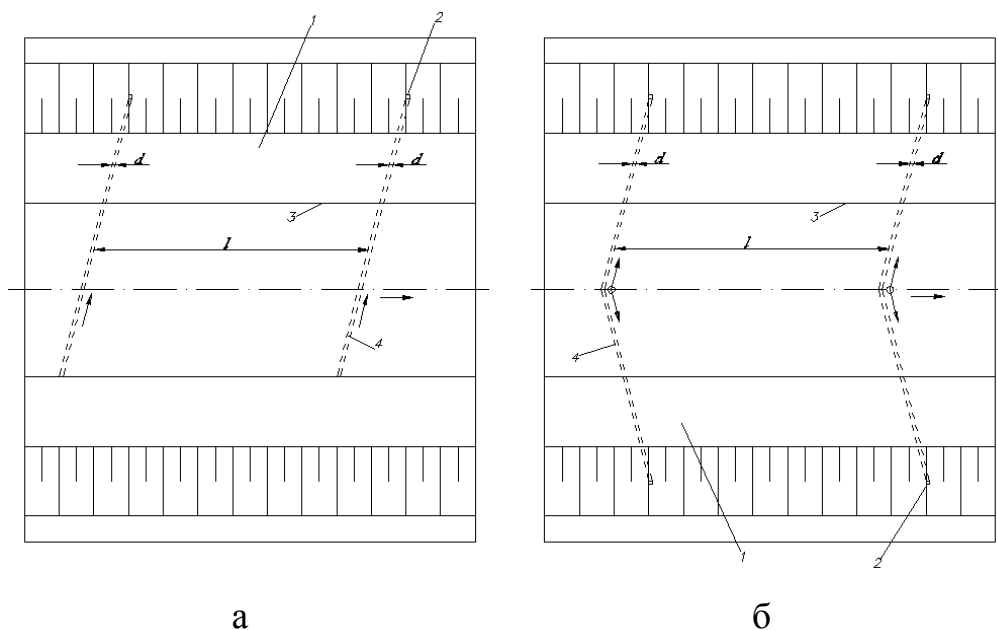


Рисунок 1.9 – Розміщення поперечних прорізів мілкового закладення:

а – наскрізних односторонніх;

б – наскрізних двосторонніх;

1 – узбіччя;

2 – скид води на укіс земляного полотна;

3 – край проїзної частини;

i_1 – поздовжній похил ділянки;

l – відстань між прорізами; стрілками показано напрямок руху води в прорізах

Прорізі влаштовують похилими, що покращує рівність покриття і не вимагає заглиблення кюветів або канав. Кут між ними і віссю ділянки залежить від поздовжнього похилу дороги. Довжина прорізі пов'язана з шириною узбіч і закладенням укосів земляного полотна (рисунок 1.10 а).

У випадку широких узбіч і пологих укосів, а також на косогорах і віражах застосовують односторонні прорізі (рисунок 1.10 б). У виїмках, нульових місцях і низьких насипах прорізі влаштовують тільки на ширині проїзної частини (рисунок 1.10 в). Для скидання з них води вкладають з одного краю проїзної частини поздовжню дренаж. Якщо висота насипу більше товщини дорожнього одягу, то влаштовують наскрізні прорізі.

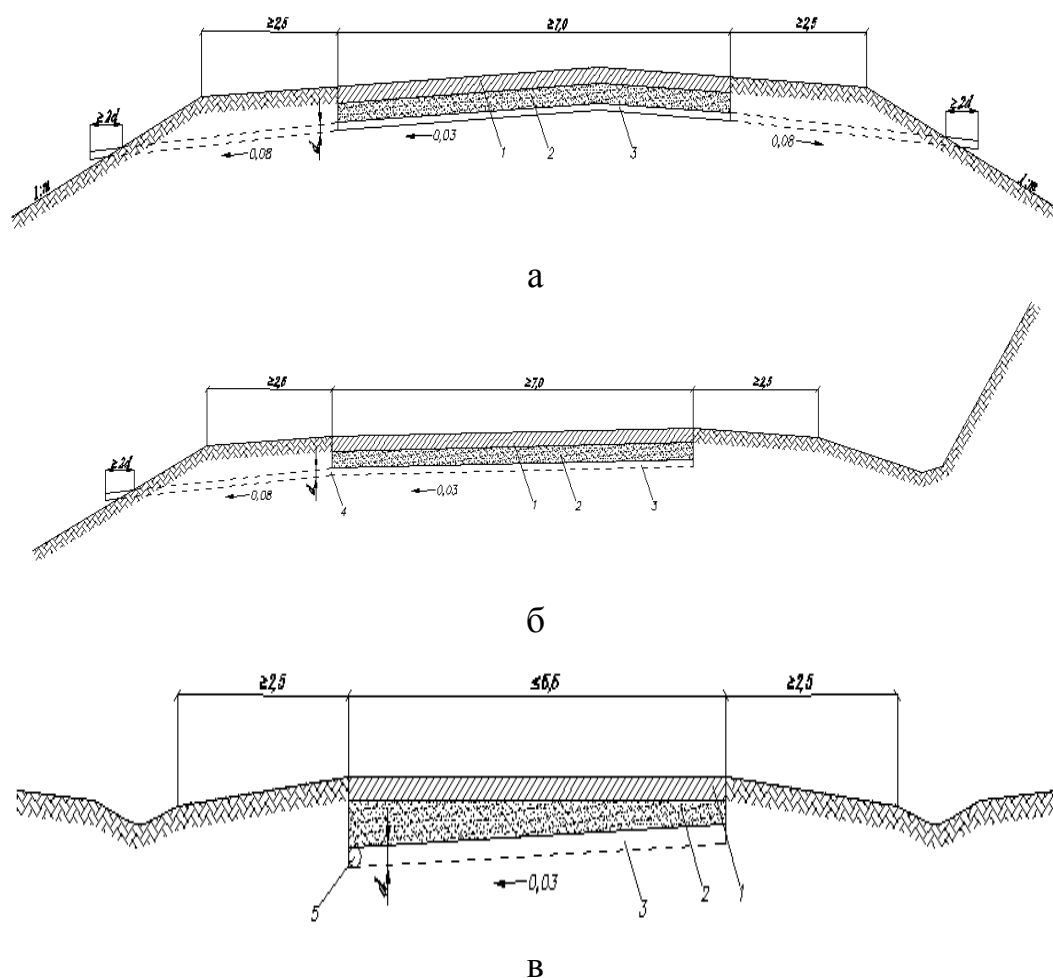


Рисунок 1.10 – Поперечний профіль дороги на ділянці з дренажними прорізами:

- а – в насипах;
- б – в напівнасипах-напіввиїмках;
- в – у виїмках та нульових відмітках;
- 1 – покриття та основа дорожнього одягу;
- 2 – дренуючий шар;
- 3 – прорізь;
- 4 – скид води з прорізі;
- 5 – поздовжня дрена

Отже, прорізи влаштовують:

- на сухих і мокрих ділянках при поздовжньому похилі більше поперечного;

- у місцях увігнутих вертикальних кривих і переходах з виїмок в насип;
- у місцях перелому поздовжнього профілю.

1.5 Висновки по розділу

Узагальнення стану питання щодо волгонакопичення та методів регулювання водно-теплого режиму дорожньої конструкції дозволяє сформулювати наступні висновки:

1. У зв'язку із тим, що переважна більшість покриттів автомобільних доріг загального користування є водонепроникними, а у процесі експлуатації проникність зростає, постає необхідність у розробці методів регулювання водно-теплого режиму верхньої частини земляного полотна та дорожніх одягів.

2. Існує поділ місцевостей проходження дороги за характером зволоження, а джерела зволоження поділяються у залежності від ступеня їх впливу на конструкцію.

3. До дорожньої конструкції проникає волога від зимового вологонакопичення, інфільтраційна волога від атмосферних опадів та розтавання снігу і льоду, вода з ґрунтових вод, капілярна волога та ін. Всі існуючі джерела зволоження слід враховувати при проектуванні системи осушення конструкції, а як розрахунковий приймати найбільш несприятливий період – коли величина надходження вологи є максимальною.

4. Дослідження науковців проводилися переважно 30-40 років тому, а, отже, результати натурних спостережень є неактуальними, а сучасні можливості використання комп'ютерної техніки дають змогу проводити більш точні та близькі до конкретних індивідуальних умов розрахунки.

5. У діючій вітчизняній нормативній базі недостатньо уваги приділено питанням точного визначення величини надходження вологи до дорожньої конструкції, а достовірні дані натурних спостережень взагалі відсутні.

6. Виходячи з того, що влаштування дренажу мілкового закладення є часто необхідним з метою ефективної роботи дорожньої конструкції, а ремонт чи зміна параметрів дренажної системи передбачає розбирання всієї конструкції дорожнього одягу, існує необхідність розробки точного та доступного для інженерних розрахунків методу визначення вихідних величин та параметрів дренажу мілкового закладення. Це дасть змогу проектувати конструкцію з параметрами, які забезпечать її ефективну роботу протягом нормативного строку служби.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ НАДХОДЖЕННЯ ВОЛОГИ ТА ПАРАМЕТРІВ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ РОБОЧОЇ ЗОНИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

2.1. Дослідження процесу фільтрації у піщаних дренуючих шарах

Основним призначенням дорожнього одягу автомобільної дороги є сприймання, перерозподіл та передача на ґрунт земляного полотна навантажень від транспортних засобів, які рухаються по автомобільній дорозі. Проте є й інші функції, які повинен виконувати дорожній одяг для того, щоб автомобільна дорога задовольняла потреби користувачів. Однією з таких функцій є акумулювання та відведення дренажним шаром основи дорожнього одягу вологи з дорожньої конструкції у несприятливі періоди року з метою запобігання перезволоженню та втраті несучої здатності. Відведення здійснюється на укiс та до бічних каналів (кюветів) або до поздовжньої трубчатої перфорованої (крупнопористої) дрени.

Рух води у ґрунтах та пористих середовищах називається фільтрацією [41]. При цьому зазвичай розглядається рух лише гравітаційної, тобто вільної, води, яка рухається під дією сили тяжіння. Ґрунтова вода, рухаючись, утворює фільтраційний потік.

Рух води в піщаному шарі дренажної системи мілкого закладення також відбувається за законами фільтрації, оскільки пісок є водопроникним і складається із окремих часток (піщинок), простір між якими заповнений порами.

При правильній роботі дренажної системи рух води в ній є безнапірним, обмеженим зверху вільною поверхнею, в точках якої тиск є постійним і зазвичай дорівнює атмосферному. Ця вільна поверхня називається депресійною поверхнею, а лінія її перетину з вертикальною площиною – кривою депресії [42].

Рух води у такому випадку відбувається в одношаровому ґрунтовому масиві з розміщенням дрени на водоупорі, за який приймається частина земляного полотна під піщаним шаром [82]. Дане припущення слід перевіряти на відповідність умові, відповідно до якої в якості водоупору може бути прийнята поверхня такого шару, через який відбувається водообмін з витратою, яка складає не більше 5-10 % від загальної витрати.

Питаннями проектування та розрахунку дренажів у свій час займалися В.М. Сіденко, О.Я. Тулаєв, М.А. Пузаков, І.А. Золотарь, М.Б. Корсунський, Л.О. Преферансова, П.Д. Россовський, В.І. Рувінський, О.Я. Олійник, В.Л. Поляков, Ю.Д. Соколов, В.М. Шестаков, П.Я. Полубарінова-Кочіна, Г.Р. Седергрєн та ін. [14, 17, 19, 27, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56].

Проаналізуємо результати роботи вчених у напрямку дослідження процесу фільтрації та визначення необхідної товщини піщаного дренажного шару.

Як сказано в [57], рух ґрунтової води в пісках і водопроникних глинистих ґрунтах є ламінарним.

Ознакою ламінарного руху води в пористому середовищі ґрунту є виконання нерівності [41]:

$$V \cdot d < 0,01 \dots 0,07, \quad (2.1)$$

де V – швидкість фільтрації;

d – діаметр часток ґрунту (деякого середнього розміру).

Для розрахунку пропускної здатності підстильного шару основи з піску можна застосувати формулу Дарсі [41] (формула 2.2), як для ламінарного потоку.

$$V = k \cdot I, \quad (2.2)$$

де k – коефіцієнт фільтрації;

I – п'єзометричний похил.

Формула Дарсі дає змогу визначати швидкість фільтрації у будь-якій точці фільтраційного потоку при ламінарному характері фільтрації.

У випадку дренажного шару важливе значення має розміщення кривої депресії, тобто рівень води у кожній точці водоносного шару.

Криву депресії можливо побудувати, скориставшись рівнянням А. Дюпюї:

$$q = \frac{h_1^2 - h_2^2}{2 \cdot L} \cdot k \rightarrow \frac{q}{k} = \frac{h_1^2 - h_2^2}{2 \cdot x} \rightarrow h = \sqrt{h_2^2 + \frac{q}{k} \cdot 2 \cdot x}, \quad (2.3)$$

q – витрата на одиницю ширини;

h_1 та h_2 – глибини потоку, з'єднані кривою депресії;

L – довжина кривої депресії;

x – відстань до перерізу з глибиною h .

Слід відзначити, що рівняння Дюпюї дає змогу отримати лише усереднені характеристики ґрунтового потоку.

Рух же води у дренажній перфорованій трубі відбувається за законами турбулентного потоку зі змінною масою (формули 2.4 та 2.5).

Основоположником теорії руху тіл зі змінною масою вважають І.В. Мещерського, який є автором ряду робіт, присвячених даній темі [58].

У загальному випадку рівняння, що описує згаданий вище рух, має вигляд:

$$M \cdot \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{F} + \frac{dM_1}{dt} \cdot (\vec{U}_1 - \vec{V}) - \frac{dM_2}{dt} \cdot (\vec{U}_2 - \vec{V}), \quad (2.4)$$

де $M = M_0 + M_1 + M_2$ – загальна маса матеріальної точки;

M_0 – постійна величина, яка дорівнює масі матеріальної точки у певний початковий момент часу;

M_1 і M_2 – відповідно, маси, які приєдналися або відділилися від матеріальної точки за певний час;

$\vec{F}$ – вектор рівнодіючої всіх зовнішніх сил, які діють на матеріальну точку;

$\vec{V}$ – вектор швидкості матеріальної точки;

$\vec{U}_1$ і $\vec{U}_2$ – відповідно, вектори швидкості центра інерції мас, що приєднуються або відєднуються.

Одним із найбільш вдалих записів рівняння плавнозмінного неусталеного руху рідини зі змінною масою є рівняння, запропоноване Г.А. Петровим [59]:

$$\frac{\alpha_0}{g} \cdot \left(V \cdot \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(z + \frac{P}{\rho \cdot g} \right) + \frac{\alpha_0 \cdot (V - \theta)}{g \cdot Q} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} \cdot V + \frac{\partial Q}{\partial t} \right) + i_f = 0, \quad (2.5)$$

де α_0 – коректив кількості руху (коефіцієнт Бусінеска);

Q , V , P – відповідно, витрата, середня швидкість, п'єзометричний тиск на відстані x від початку труби;

i_f – гідравлічний похил, викликаний дією сил тертя.

Перевагою рівняння 2.5 перед рівнянням 2.4 є те, що з його допомогою описується рух потоку рідини, а не окремих її матеріальних точок.

Дані залежності можна прийняти за основні при дослідженні процесів руху рідини у перфорованій трубі дренажу мілкового закладення та для розрахунку її параметрів.

Що стосується піщаного дренажного шару, то основне рівняння планово-плоского ґрунтового потоку [51, 60, 61] має вигляд:

$$\frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(T \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \cdot \left(T \cdot \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \omega = \mu \cdot \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (2.6)$$

де $H(x, y, t)$ – рівень води в перерізі x, y ;

$T(x, y, H)$ – провідність пласта, яка визначається як добуток середнього коефіцієнта фільтрації на глибину (потужність) потоку;

$\omega(x, y, t, H)$ – сумарна величина інтенсивності площинного живлення ґрунтових вод за рахунок інфільтрації та надходження вологи із нижніх шарів;

μ – при підпорі ($\frac{\partial H}{\partial t} > 0$) відповідає коефіцієнту дефіциту насичення μ_n , а при спаді ($\frac{\partial H}{\partial t} < 0$) – коефіцієнту водовіддачі μ_v .

Рівняння 2.6 є нелінійним, оскільки величини T , μ і ω залежать від положення рівня води H . Як показує практика досліджень та розрахунків, найбільш ефективні розв'язки задач неусталеної фільтрації отримують після лінеаризації рівняння 2.6, яку можна здійснити із застосуванням різних методів [51, 52, 61, 62, 63, 64].

Крім того, існують наближені методи розв'язання рівняння 2.6, серед яких, у першу чергу, слід виділити метод послідовної зміни стаціонарних станів; метод «осереднення $\frac{\partial h}{\partial t}$ » [49, 50, 65]; метод «інтегральних співвідношень» [66, 67] та ін. [68, 69, 70, 71].

Теорії розрахунку фільтраційних потоків, параметрів дренажних систем, вирішенню задач руху рідини у пористому середовищі приділено увагу в роботах багатьох вчених [43, 44, 45, 46, 47, 48, 72].

Ще у 80-х роках минулого століття Поляков В.Л. та Олійник О.Я. [43] навели рішення гідродинамічних та гідравлічних задач і методи регулювання водно-повітряного режиму перезволожених земель на фоні горизонтального дренажу (у розрізі осушення та зволоження сільськогосподарських земель).

Так, наведено рівняння для визначення напору у верхньому шарі при розміщенні безкінечної кількості дрен на відстані $B=2 \cdot L$ одна від іншої у

верхньому шарі двошарової ґрунтової конструкції та наявності змішаного живлення (інфільтрація та підтоплення знизу) [45, 73, 74]:

$$h_1(x, y) = h + \frac{\varepsilon}{k_1} \cdot (y + m_1) + \frac{\varepsilon}{k_2} \cdot m_2 + \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot k_1} \cdot \left[\ln \frac{A_+}{A_+(m_1)} + \ln \frac{A_-}{A_-(m_1)} - \sum_{n=1}^{\infty} b_n' \cdot \left(\ln \frac{A_{n+}}{A_{n+}(m_1)} + \ln \frac{A_{n-}}{A_{n-}(m_1)} + \ln \frac{B_{n+}}{B_{n+}(m_1)} + \ln \frac{B_{n-}}{B_{n-}(m_1)} \right) \right] + \quad (2.7)$$

$$+ \frac{q \cdot (1 - \lambda)}{4 \cdot \pi \cdot k_2} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} b_n'' \cdot \left(\ln \frac{A_{n+}}{B_{n+}(m_1)} + \ln \frac{A_{n-}}{B_{n-}^*(m_1)} \right),$$

де L – половина відстані між дренами;

h – рівень ґрунтових вод;

k_1, k_2 – коефіцієнти фільтрації шарів ґрунту;

ε – інтенсивність інфільтраційного живлення;

x, y – координати;

m_1, m_2 – товщини шарів ґрунту;

q – витрата дрени;

m_0 – висота закладення дрена над поверхнею порівняння;

b – відстань від дрени до верхньої границі двошарового ґрунту;

$$\lambda = \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2}, \quad (2.8)$$

$$B_{n\pm}^* = ch(2 \cdot \delta) \cdot (y + 2 \cdot n \cdot m_0 + 2 \cdot m \pm b) - \cos(2 \cdot \delta \cdot x), \quad \delta = \frac{\pi}{B}; \quad (2.9)$$

параметри A, A_n, B_n визначаються за формулою 2.10. В даному випадку параметри $A(m_1), A_n(m_1), B_n(m_1)$ та $B_n^*(m_1)$ також визначаються за відповідними залежностями, в яких необхідно приймати $y = -m_1$.

$$A_{\pm} = ch2\delta \cdot (y \pm b) - \cos 2\delta x; A_{n\pm} = ch2\delta \cdot (y - 2 \cdot n \cdot m_0 \pm b) - \cos 2\delta x; \quad (2.10)$$

$$B_{n\pm} = ch2\delta \cdot (y + 2 \cdot n \cdot m_0 \pm b) - \cos 2\delta x.$$

В якості розрахункових періодів виділяють весняний і літньо-осінній (після закінчення розтавання снігу – основний, після випадіння атмосферних опадів – перевірочний). Отже, враховується як зволоження водою від зимового накопичення, так і зволоження інфільтраційною водою. Розглядаються випадки розміщення розрахункового водоносного шару на водоупорі (з коефіцієнтом фільтрації, нижчим на декілька порядків), – як і у розрахунковій схемі із дренажем мілкового закладення автомобільної дороги.

Йдеться про те, що в якості водоупору може бути прийнята поверхня такого шару, через який відбувається водообмін з витратою, що складає не більше 5-10 % від загальної витрати. Тому, при наявності багатошарової конструкції обов'язково потрібно оцінювати вплив нижніх шарів і необхідність його врахування.

Висловлюється твердження, що більш точний результат дають розрахунки параметрів дренажу на основі нестационарних моделей фільтрації.

У монографії [44] наголошується на необхідності врахування інфільтраційного зволоження при визначенні величини живлення підземних вод. Наведено розрахунки систематичного дренажу (вертикального і горизонтального) в умовах нестационарної фільтрації з застосуванням методу фільтраційних опорів для врахування гідродинамічної недосконалості. Розглянуто випадки потоків з інфільтраційним живленням та без нього на горизонтальному водоупорі.

У роботах [75, 76, 77] досліджено вплив вібраційного навантаження від рухомого складу на режим фільтрації води у піщаному дренажувачу прошарку. З'ясовано, що при стабільному насипу, у не болотистій місцевості такий вплив є не суттєвим і не зумовлює необхідності його врахування при визначенні загальної товщини піщаного дренажувачу прошарку.

В роботі [72] розглянуто метод водного балансу та схему його складових (формули 2.8, 2.9, 2.10, 2.11) у розрізі боротьби із засоленням сільськогосподарських земель. Проте наведену схему складових водного балансу (рисунок 2.1) можливо застосувати і для випадку дорожньої конструкції: опади, випаровування, поверхневий стік, поверхневий приток і відтік, інфільтрація, підземний приток і відтік, вертикальний водообмін.

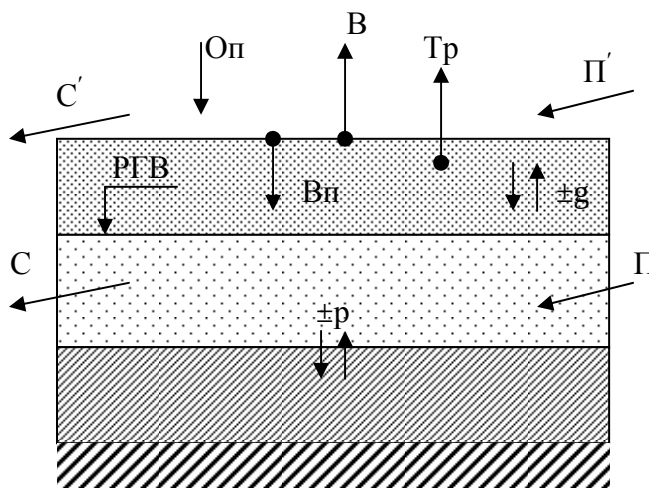


Рисунок 2.1 – Схема складових водного балансу:

C' та Π' – поверхневі стік і приток води; On – опади; B – випаровування опадів, які не проникли в ґрунт; Bn – проникнення води у ґрунт; Tr – транспірація та випаровування з ґрунту; C та Π – підземні стік і приток води; $\pm g$ – вертикальний водообмін між ґрунтом і підземними водами (знак «+» – надходження ґрунтових вод у ґрунт); $\pm p$ – вертикальний водообмін ґрунтових вод з підземними водами, які залягають більш глибоко (знак «+» – живлення ґрунтових вод знизу); РГВ – рівень ґрунтових вод

Якщо через ΔW_1 , ΔW_2 та ΔW_3 позначити відповідно зміни запасів поверхневих, фільтраційних та ґрунтових вод, а через ΔW – загальну зміну запасів води, то рівняння водного балансу будуть мати такий вигляд:

- для поверхневих вод:

$$\Delta W_1 = On - B + \Pi' - C' - Bn; \quad (2.11)$$

- для фільтраційних вод:

$$\Delta W_2 = Bn - Tp \pm g ; \quad (2.12)$$

- для ґрунтових вод:

$$\Delta W_3 = \pm g + \Pi - C \pm p ; \quad (2.13)$$

- загальний баланс:

$$\Delta W = On - (B + Tp) + (\Pi' + \Pi) - (C' + C) \pm p . \quad (2.14)$$

Використання та розрахунок дренажних систем в сільськогосподарській меліорації розглянуто в монографіях [45, 46]. Фільтраційний розрахунок меліоративного дренажу здійснюється переважно для визначення глибини пониження ґрунтових вод, відстані між дренами, витрати і об'єму дренажного стоку. Наведено наближені залежності для практичного визначення максимального перевищення рівня ґрунтових вод посередині між дренами, мінімального перевищення рівня біля дрени і витрати дрени на одиницю довжини для випадку систематичного горизонтального дренажу з інфільтраційним живленням в однорідному ґрунті. Наголошено на недоліках використання методів водного балансу при розрахунку дренажів та на перевагах методів геогідродинаміки, які дають можливість в самій математичній моделі фільтрації осушуваної території розрізнено враховувати деякі види живлення і витрати ґрунтових вод, визначати характеристики фільтраційного потоку в кожній точці області фільтрації і у різний час. Автором використовуються поняття коефіцієнту водовіддачі та інтенсивності інфільтраційного живлення [78, 79]. Наведено значення коефіцієнту водовіддачі для різних типів ґрунтів та проаналізовано розрахункові залежності для його визначення у залежності від коефіцієнту фільтрації.

Методи експериментального визначення фільтраційних властивостей та пористості матеріалів розглянуто в роботі [80].

Запропоновано залежності для визначення перевищення рівня між дренами ($h_0(t)$), витрати дрени ($q(t)$), перевищення рівня поблизу дрени ($h'_d(t)$) (формули 2.15, 2.16, 2.17) [45] у випадку однорідного ґрунту з постійною провідністю T при неусталеному режимі фільтрації та з інфільтраційним живленням.

$$h_0(t) = H_0(t) - H_d = h_0 + h_n \cdot \beta_1\left(\bar{t}\right) - \frac{\varepsilon \cdot L^2}{T} \cdot \beta_2\left(\bar{t}\right); \quad (2.15)$$

$$q(t) = \frac{2 \cdot T}{L} \cdot h_n \cdot \rho_1\left(\bar{t}\right) + \varepsilon \cdot B \cdot \left[1 - \rho_2\left(\bar{t}\right)\right]; \quad (2.16)$$

$$h'_d(t) = H'_d(t) - H_d = \frac{q(t)}{T} \cdot \Phi, \quad (2.17)$$

де h_0 – перевищення рівня ґрунтових вод при усталеному режимі фільтрації:

$$h_0 = H_0 - H_d = \frac{\varepsilon \cdot B}{4 \cdot T} \cdot \left(\frac{B}{2} + 4 \cdot \Phi\right), \quad (2.18)$$

t – час;

H_0 – рівень посередині між дренами;

H_d – рівень на контурі дрени;

H_n – початковий рівень води;

h_n – початкове перевищення рівня:

$$h_n = H_n - H_d; \quad (2.19)$$

$\beta_1, \beta_2, \rho_1, \rho_2$ – коефіцієнти, які залежать від часу $\bar{t}$ і параметра недосконалості $\bar{c}$;

$$\bar{t} = \frac{t}{\tau}; \quad (2.20)$$

$$\tau = \frac{L^2 \cdot \mu}{T}; \quad (2.21)$$

$$\bar{c} = \frac{L}{2 \cdot \Phi}; \quad (2.22)$$

B – відстань між дренами;

$L = B/2$;

T – провідність ґрунту;

ε – інтенсивність інфільтраційного живлення;

μ – коефіцієнт водовіддачі (дефіциту насичення);

Φ – фільтраційний опір дрени [81].

На основі наведених вище залежностей в [45] описано розрахунок з метою визначення цих же параметрів, але при перемінному в часі живленні (випаровуванні), яке змінюється за ступінчатим законом.

Велику увагу теорії вирішення задач нестационарної фільтрації приділено у роботах [47, 48]. Розглянуто задачу Буссінеска, як таку, що описує зміну форми кривої депресії фільтраційного потоку в часі і відповідає задачі про безкінечний ряд дрена, що лежать на водоупорі. Знайдено розв'язок для визначення витрати кожної з дрена. Докладно розглянуто аналітичні, чисельні та експериментальні методи вирішення задач нестационарного руху ґрунтових вод: метод послідовної зміни стаціонарних станів, метод кінцевих різниць, метод Монте-Карло, варіаційно-різницеви метод та ін.

В [47] наведено загальні рівняння руху ґрунтових вод при постійному коефіцієнті фільтрації k :

$$u = \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial \varphi}{\partial y}, \quad w = \frac{\partial \varphi}{\partial z}, \quad (2.23)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (2.24)$$

$$\varphi = -k \cdot \left(\frac{p}{\rho \cdot g} + z \right) + C, \quad (2.25)$$

де u , v та w – проекції швидкості фільтрації, так що:

$$\begin{aligned} u &= m \cdot \frac{dx}{dt}, \\ v &= m \cdot \frac{dy}{dt}, \\ w &= m \cdot \frac{dz}{dt}, \end{aligned} \quad (2.26)$$

де $\frac{dx}{dt}$, $\frac{dy}{dt}$, $\frac{dz}{dt}$ – проекції швидкості частинки рідини;

m – пористість ґрунту;

k – коефіцієнт фільтрації;

p – тиск;

ρ – щільність;

g – прискорення сили тяжіння.

Вісь z направлена вгору. Рівняння вільної поверхні має вигляд $F(x, y, z, t) = 0$. Диференціюванням цього рівняння за часом і користуючись рівняннями 2.26, отримано:

$$m \cdot \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} \cdot u + \frac{\partial F}{\partial y} \cdot v + \frac{\partial F}{\partial z} \cdot w = 0. \quad (2.27)$$

Ю.Д. Соколов, базуючись на рівнянні Буссінеска [47, 48], за допомогою наближеного методу послідовної зміни стаціонарних станів описав задачу про безнапірний нестаціонарний плоский приплив ґрунтових вод до

дренажної галереї при наявності інфільтрації, з горизонтальним водоупором та при похилій лінії водоупору [49, 50, 83, 84, 85]. Розглянуто дві фази нестационарного руху: перша – поширення зони депресії на певну відстань за певний проміжок часу при постійному рівні води на контурі дрени; друга – вичерпування шару за певний проміжок часу.

Для першої фази нестационарного руху при похилій лінії водоупору та при наявності інфільтрації (умови, які відповідають роботі піщаного шару дренажної системи мілкового закладення) відповідно до [49] лінія депресії описується виразом:

$$h = H = H_0 + \frac{w}{\mu} \cdot t = H_0 + \frac{\varepsilon \cdot C}{\mu} \cdot t , \quad (2.28)$$

$$\left(y = H_0 - j \cdot x + \frac{\varepsilon \cdot C}{\mu} \cdot t \right),$$

де H, H_0 – висоти води на границі шару і на початку лінії депресії в момент t_0 , м;

w – інфільтрація зверху;

μ – коефіцієнт водовіддачі;

C – коефіцієнт фільтрації;

$$\varepsilon = \frac{w}{C}; \quad (2.29)$$

$$j = \operatorname{tg} \chi; \quad (2.30)$$

χ – кут нахилу водоупору;

t – час, що відраховується від початку фази;

x – абсциса розрахункового перерізу;

h – рівень води в розрахунковому перерізі в момент t , м;

$$h = y + j \cdot x. \quad (2.31)$$

2.2. Основні принципи проектування дренажних систем робочої зони земельного полотна

Як уже зазначалося [86], поздовжня дренажна система мілкового закладення, у загальному випадку, складається з піщаного дренуючого шару (підстильний шар основи з піску); поздовжніх дрен, які призначені для відведення води з піщаного шару та формування кривої депресії, яка знижує рівень води у піщаному шарі, та поперечних випусків, які забезпечують відведення води з конструкції на укіс, в дренажний колодязь тощо (рисунок 2.2 [16]).

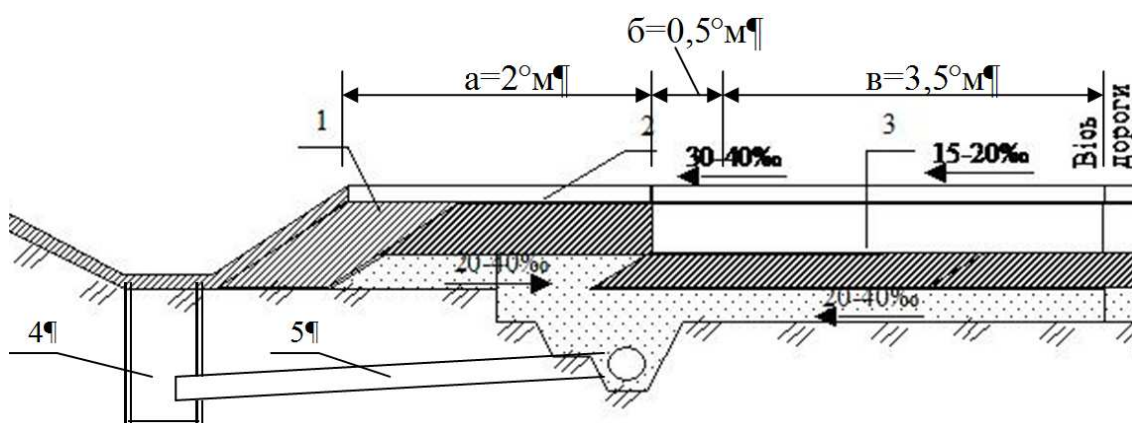


Рисунок 2.2 – Приклад поздовжнього дренажу мілкового закладення на дорозі III технічної категорії:

1 – ущільнений ґрунт; 2 – укріплення узбіч; 3 – дорожній одяг проїзної частини; 4 – підкюветний дренаж; 5 – поперечний випуск; а – ширина частини узбіччя без укріпленої смуги; б – ширина укріпленої смуги узбіччя; в – ширина смуги руху

У випадку недоцільності влаштування поздовжніх дрен, піщаний шар може виходити безпосередньо на укіс і таким чином забезпечувати відведення води. Проте, у такому випадку необхідно передбачати спеціальне укріплення укосів для попередження їх розмиву.

Поздовжні дрени можуть бути як трубчатими з перфорацією, так і з пористого матеріалу (трубофільтри; щебінь, обгорнутий геотекстильним матеріалом та ін.). Їх поперечний переріз призначається гідравлічним розрахунком з урахуванням умови роботи у безнапірному режимі.

Поперечні випуски повинні відводити воду, яка рухається по поздовжніх дренажних трубах. Вони розміщуються під кутом до поздовжніх труб у залежності від їх поздовжнього похилу.

Отже, перша і основна задача, яка постає при визначенні параметрів поздовжньої дренажної системи мілкового закладення – це визначення товщини піщаного дренуючого шару.

Параметри труб визначаються гідравлічним розрахунком, виходячи з кількості вологи, яка надійде через піщаний шар до дрен внаслідок фільтрації.

Тобто, проектування поздовжнього дренажу мілкового закладення можна розділити на такі етапи [4, 87]:

1. Збір даних про район проходження дороги.
2. Визначення розрахункового (найбільш несприятливого) періоду.
3. Розрахунок величини притоку вологи в дорожню конструкцію у розрахунковий період.
4. Визначення товщини піщаного дренуючого шару.
5. Визначення розміру поперечного перерізу поздовжньої дрени.

Слід відзначити ще одну особливість роботи дренажу мілкового закладення – це його розміщення у зоні промерзання дорожньої конструкції. У зв'язку із цим, піщаний дренуючий шар певний період (час розтавання поперечних випусків та поздовжніх дрен) не може відводити вільну воду. При наявності трубчастих дрен, які перебувають весною деякий час в замерзлому стані, робота дренуючого шару перевіряється за методом поглинання. У цей період вода накопичується, а товщина піщаного шару повинна бути достатньою для того, щоб розмістити всю воду протягом періоду розтавання.

Тому, слід розрізняти дві принципово різні схеми роботи піщаного шару – робота за принципом поглинання та робота за принципом осушення.

Відповідно до діючого в Україні нормативу [25], розрахунок пропускної здатності дренажу мілкового закладення полягає у визначенні мінімальної товщини піщаного дренуючого шару для розміщення в ньому всієї води, що надходить в розрахунковий період (метод поглинання), або товщини піщаного шару і внутрішнього діаметру дренажної труби, достатніх для ефективного відведення зазначеної вище кількості води (метод осушення).

Основним вихідним параметром для розрахунку пропускної здатності дренажу мілкового закладення є загальна величина притоку вологи у шари основи.

Для визначення інших необхідних для розрахунків величин рекомендується користуватись діючими нормативними та технологічними документами, а також довідковою літературою.

2.3. Визначення величини надходження вологи в дренажну конструкцію мілкового закладення при розтаванні ґрунту земляного полотна

Одним із суттєвих і небезпечних джерел зволоження верхньої частини земляного полотна та шарів дорожнього одягу є вода, яка звільняється при розтаванні ґрунту активної зони земляного полотна [1, 17, 19, 25, 88, 89, 90].

Відповідно до [25] об'єм води (м³/доба на 1 м² проїзної частини), що звільняється при розтаванні ґрунту під проїзною частиною та узбіччями, визначається за формулою:

$$Q_1 = h_1 \cdot (W_{\text{вес}} \cdot \rho_{\text{вес}} - \beta \cdot W_T \cdot \rho_d) \cdot K_{\Pi} \cdot K_{\Gamma}, \quad (2.32)$$

де h_1 – товщина шару ґрунту, в якому розтає лід за одну добу в активній зоні земляного полотна, м;

$W_{\text{вес}}$ – розрахункова весняна вологість ґрунту земляного полотна, яка залежить від характеру вологонакопичення за осінньо-зимовий сезон в певних умовах, в долях одиниці по вазі;

$\rho_{\text{вес}}$ – щільність скелету ґрунту при розрахунковій вологості, г/см³;

ρ_d – те саме при вологості, що дорівнює βW_T , г/см³;

β – коефіцієнт, що показує, яка кількість води утримується в порах ґрунту, ущільненого до потрібної щільності, в долях від вологості при межі текучості ґрунту: для супісків приймається рівним 0,7, а для суглинків і глинистих ґрунтів – 0,75;

W_T – вологість, яка відповідає межі текучості ґрунту, в долях одиниці по вазі;

K_{Π} – коефіцієнт, що враховує неусталений режим припливу води через нерівномірне розтавання та випадання атмосферних опадів [16];

K_{Γ} – коефіцієнт гідрологічного запасу, що враховує пониження фільтруючої спроможності дренуючого шару в процесі експлуатації дороги [16].

Надходження води в дренуючий шар при розтаванні ґрунту узбіччя визначається також по наведеній вище формулі, але із введенням в неї множника $2 \cdot l/b$ (l – ширина узбіччя, b – ширина проїзної частини). Надходження води при цьому також, як і для ґрунту під проїзною частиною, отримують в м³ за добу з 1 м² проїзної частини.

Отже, одним із факторів, які впливають на кількість надходження вологи від розмерзання дорожньої конструкції є товщина шару ґрунту, в якому розтає лід за одну добу в активній зоні земляного полотна, тобто швидкість розтавання.

Зазначена величина визначається наступним чином [13]:

$$h_1 = \sqrt{\frac{\lambda \cdot T \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{л}})}{\rho \cdot W \cdot \delta_1} + 0,25 \cdot (R_{\Pi} + R_0)^2 \cdot \lambda^2 - 0,5 \cdot (R_{\Pi} + R_0) \cdot \lambda}, \quad (2.33)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності талого ґрунту, ккал/м·г·град;

T – тривалість розтавання ґрунту, год;

t_B – температура повітря, °C;

t_L – температура льодоутворення, °C;

ρ – схована теплота льодоутворення, яка дорівнює 80 ккал/кг;

W – вологість ґрунту, у долях одиниці;

δ_1 – щільність ґрунту, кг/м³;

R_{Π} – величина, яка залежить від швидкості вітру, град·м²·г/ккал;

R_0 – тепловий опір дорожнього одягу, град·м²·г/ккал, який визначається за формулою:

$$R_0 = \frac{h_1}{\lambda_1} + \frac{h_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{h_n}{\lambda_n}, \quad (2.34)$$

де $h_1, h_2, \dots, h_n$ – товщина шарів конструкції дорожнього одягу, м;

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ – коефіцієнт теплопровідності відповідних шарів конструкції дорожнього одягу, ккал/м·г·град.

Зрозуміло, що ґрунт буде віддавати вологу до тих пір, поки не розмерзнеться повністю. Значення нормативної глибини промерзання можна отримати з діючої нормативної бази [16]. Проте, враховуючи те, що статистичні дані, які використовувались при розробці документу, можуть бути застарілими, доцільним є використання точного методу розрахунку глибини промерзання ґрунту [13, 91]:

$$h_2 = \sqrt{\frac{\lambda \cdot T}{\rho \cdot W \cdot \delta_1} \cdot \left[t_L - t_B + (t_B - t_{\Gamma}) \cdot \frac{R_{\Pi} + R_0}{R} \right]}, \quad (2.35)$$

де t_{Γ} – температура ґрунту, °C;

R – загальний тепловий опір, град·м²·г/ккал, який дорівнює:

$$R = \frac{H'}{\lambda_{\text{оп}}} + \frac{h_c}{\lambda_c}, \quad (2.36)$$

де H' – глибина, на якій береться температура t_{Γ} , м;

$\lambda_{\text{оп}}$ – коефіцієнт теплопровідності ґрунту поля, ккал/м·г·град;

h_c – товщина снігового покриву у полі з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda_{\text{оп}}$, м.

Для снігу коефіцієнт теплопровідності у ккал/м·г·град можливо розрахувати за емпіричною формулою:

$$\lambda_c = 0,02 + 0,9 \cdot \gamma_c, \quad (2.37)$$

де γ_c – об'ємна вага снігу, г/см³.

Приблизні значення γ_c можна прийняти:

- для снігу, який щойно випав (початок зимового періоду) – 0,20;
- для ущільненого снігу (середина зимового періоду) – 0,38;
- для початку розтавання (кінець холодного періоду) – 0,51.

За формулою 2.33 визначають спочатку товщину шару ґрунту активної зони, який розтає за кожен із розрахункових проміжків часу, а потім – товщину шару ґрунту, в якому розтає лід за одну добу для кожної доби, як різницю між даними за наступний та попередній проміжки часу.

Розрахунок доцільно виконувати до повного розмерзання ґрунту на глибину його нормативного або розрахованого за залежністю 2.35 промерзання, починаючи зі встановлення стабільних додатних середньодобових температур повітря.

У випадках, коли розраховуються фактичні величини для конкретного року з використанням фактичних даних погодних показників, коефіцієнти K_{Π} та K_{Γ} з формули 2.32 не враховуються.

Послідовність розрахунку величини надходження вологи до дорожньої конструкції при розтаванні ґрунту земляного полотна схематично зображено на рисунку 2.3 [92].

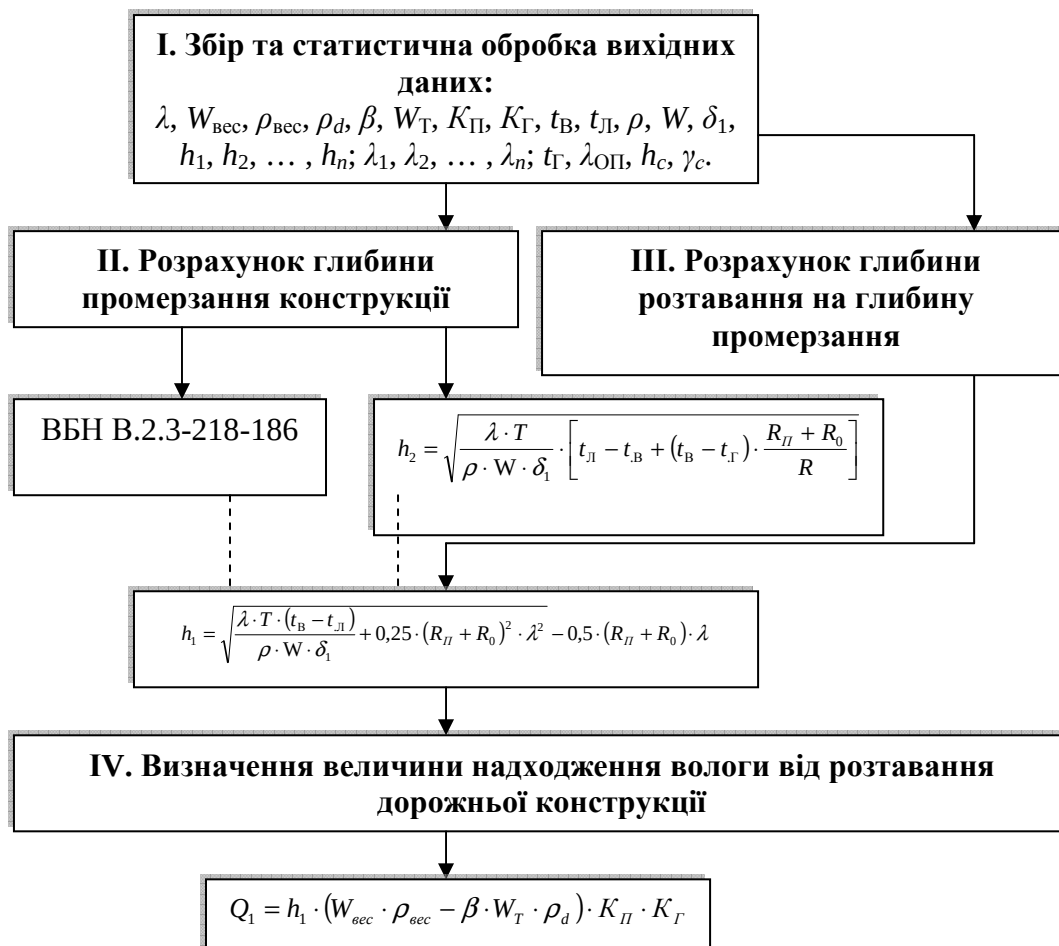


Рисунок 2.3 – Послідовність розрахунку величини надходження вологи до дорожньої конструкції при розтаванні ґрунту земляного полотна

2.4. Визначення величини надходження інфільтраційної вологи до дренажної конструкції мілкового закладення через покриття проїзної частини, узбіччя та розділювальну смугу

Оскільки, як говорилося раніше, покриття проїзної частини, узбіччя, розділювальні смуги автомобільних доріг загального користування є переважно водопроникними, існує необхідність врахування величини надходження інфільтраційної вологи від атмосферних опадів при проектуванні дренажних систем мілкового закладення.

Для індивідуальних умов проектування величину надходження інфільтраційної вологи в основу дорожнього одягу розраховують за даними

метеорологічної статистики та з урахуванням особливостей майбутньої конструкції [24, 25, 26].

Величина надходження інфільтраційної вологи безпосередньо залежить від режиму та інтенсивності випадіння опадів [93]. Тому, на першому етапі визначають можливу сумарну тривалість опадів 5 % забезпеченості (T_d , хв.) за статистичними залежностями.

Далі розраховується кількість дощів 5 % забезпеченості:

$$m = \frac{m_{\text{ср}}}{T_{\text{д(ср)}}} \cdot T_d, \quad (2.38)$$

де $m_{\text{ср}}$ – середня кількість дощів;

$T_{\text{д(ср)}}$ – середня сумарна тривалість опадів, хв.

Важливим показником, яким ні в якому разі не можна нехтувати при розрахунках, є величина випаровування вологи. Здатність вологи випаровуватись характеризується величиною дефіциту вологості повітря. Величина дефіциту вологості повітря 5 % забезпеченості (d , мбар) знаходиться за методикою Чегодаєва (додаток А.1).

Далі визначаються середня інтенсивність дощу (в мм/хв) за формулою:

$$i_d = \frac{H_{\text{д(ср)}}}{T_{\text{д(ср)}}}, \quad (2.39)$$

де $H_{\text{д(ср)}}$ – середньомісячна кількість опадів, мм,

та величина змочування поверхні покриття (в мм):

$$H_{\text{см(0)}} = a_{\text{см}} \cdot m \cdot \sqrt[3]{d \cdot \frac{T' - T_d}{m}}, \quad H_{\text{см(0)}} \leq \max H_{\text{см(0)}} = \max h_{\text{см}} \cdot m, \quad (2.40)$$

де T' – тривалість розрахункового періоду, хв;

$a_{\text{см}}, \max h_{\text{см}}$ – показники змочування поверхні проїзної частини і узбіч, мм.

При $H_{\text{см}(0)} \geq i_{\text{д}} \cdot T_{\text{д}}$ всі опади ідуть на змочування, проникнення відсутнє. При $H_{\text{см}(0)} < i_{\text{д}} \cdot T_{\text{д}}$ відбувається проникнення опадів у покриття.

З використанням розрахованих величин визначаються середня тривалість проникання вологи в покриття за один дощ (у хв, формула 2.41) та кількість води, що проникає в покриття (в мм, формула 2.42):

$$t_{\text{вп}(0)} = \frac{i_{\text{д}} \cdot T_{\text{д}} - H_{\text{см}(0)}}{i_{\text{д}} \cdot m}, \quad (2.41)$$

$$H_{\text{вп}(0)} = 0,013 \cdot m \cdot \ln(1 + a_0 \cdot i_{\text{д}}) \cdot 10^{0,4 \ln t_{\text{вп}(0)}}, \quad (2.42)$$

де a_0 – параметр, який становить 120 для літнього, 100 – для весняного і 80 – осіннього періодів.

Частина води стікає у напрямку поперечного похилу покриття на узбіччя. Інтенсивність стоку з покриття розраховується (в мм/хв) за формулою:

$$i_{\text{ст}(0)} = i_{\text{д}} - \frac{H_{\text{вп}(0)}}{m \cdot t_{\text{вп}(0)}}. \quad (2.43)$$

Узбіччя зволожуються як опадами, які випадають безпосередньо на їх поверхню, так і вологою, що стікає з поверхні покриття проїзної частини. Інтенсивність надходження води на узбіччя з урахуванням стоку з проїзної частини (в мм/хв) становить:

$$i_{\text{пв}} = i_{\text{д}} + i_{\text{ст}(0)} \cdot \frac{a}{l}, \quad (2.44)$$

де a – ширина односкатної або половини двоскатної проїзної частини у бік нахилу, м;

l – довжина узбіччя в бік нахилу, м.

Частина вологи, яка проникає на узбіччя, йде на змочування матеріалу. Величина змочування поверхні узбіч (в мм) визначається за залежністю:

$$H_{\text{см}} = a_{\text{см}} \cdot m \cdot \sqrt[3]{d \cdot \frac{T' - T_{\text{д}}}{m}}, \quad (2.45)$$

$$H_{\text{см}} \leq \max H_{\text{см}} = \max h_{\text{см}} \cdot m,$$

де $a_{\text{см}}$, $\max h_{\text{см}}$ – показники змочування поверхні проїзної частини і узбіч, мм.

При $H_{\text{см}} \geq i_{\text{пв}} \cdot T_{\text{д}}$ вся вода, яка потрапляє на узбіччя, йде на змочування, тобто проникнення у ґрунт відсутнє. При $H_{\text{см}} < i_{\text{пв}} \cdot T_{\text{д}}$ відбувається проникнення води у ґрунтові узбіччя.

Інтенсивність проникнення води у ґрунт земляного полотна залежить від характеристик ґрунту. У даному випадку ґрунт можна охарактеризувати коефіцієнтом проникнення в ґрунт земляного полотна, який визначається за формулою:

$$C = 6000 \cdot \frac{\sqrt[3]{K}}{W_{\text{Т}}^2} \left(1 - \sqrt{\frac{W_{\text{опт}}}{W_{\text{вп}}}} \right) + 30 \cdot K, \quad (2.46)$$

де K – коефіцієнт фільтрації ґрунту;

$W_{\text{Т}}$ – вологість на межі текучості ґрунту, %;

$W_{\text{опт}}$ – оптимальна вологість ґрунту, %;

$W_{\text{вп}}$ – повна вологоємність ґрунту, %.

Величини K , $W_{\text{Т}}$, $W_{\text{опт}}$, $W_{\text{вп}}$ визначаються експериментально, керуючись положеннями [94, 95].

З урахуванням коефіцієнту проникнення в ґрунт земляного полотна визначається інтенсивність проникнення води в узбіччя (в мм/хв) за такими формулами:

$$\begin{aligned} (i_{\text{пв}} \leq 0,02 \cdot C), \quad i_{\text{вп}} &= i_{\text{пв}}, \\ (i_{\text{пв}} > 0,02 \cdot C), \quad i_{\text{вп}} &= C \cdot \left(0,02 + 10^{0,02+0,68 \cdot \lg \frac{i_{\text{пв}} - i_{\text{вп}}}{\varphi(l)}} \right), \end{aligned} \quad (2.47)$$

де $\varphi(l)$ – функція похилу поверхні.

$$i_{\text{ст}} = i_{\text{пв}} - i_{\text{вп}}. \quad (2.48)$$

Інтенсивність проникнення визначається методом підбору.

Частина води, яка випадає на поверхню узбіч у вигляді опадів та стікає з покриття проїзної частини, просочується через пористий матеріал поверхні узбіч. Кількість води, що просочується в узбіччя (в мм) розраховується за залежністю:

$$H_{\text{вп}} = A_{\text{укр}} \cdot i_{\text{вп}} \cdot \left[T_{\text{д}} - \left(\frac{H_{\text{см}(0)}}{i_{\text{д}}} - \frac{H_{\text{см}} - H_{\text{см}(0)}}{i_{\text{пв}}} \right) \right], \quad (2.49)$$

де $A_{\text{укр}}$ – коефіцієнт, який враховує тип укріплення узбіч.

Частина води, під дією вітру та у залежності від вологості повітря, випаровується, що дещо знижує величину проникнення вологи до земляного полотна і, в свою чергу, вплине на розрахункову товщину піщаного дренажного шару. Інтенсивність випаровування води з узбіч при вологості ґрунту, більшій за оптимальну, становить (в мм/хв):

$$i_u = 25 \cdot 10^{-5} \cdot (E - e) \cdot \lg \left(1 + \frac{80}{d} \right) \cdot (1 + 0,15 \cdot v), \quad (2.50)$$

де E – пружність насиченої пари на границі з випаровуючою поверхнею, мбар;

e – тиск водяного пару, мбар;

d – дефіцит вологості повітря, мбар;

v – швидкість вітру, м/сек.

У перший весняний місяць різниця між температурами повітря і поверхні ґрунту незначна. Тому, в цей період розраховувати випаровування дозволяється по дещо спрощеній формулі при $E-e=d$.

Кількість води, що випаровується з узбіч за розрахунковий період (в мм), визначають з рівняння:

$$H_u = B_{\text{укр}} \cdot i_u \cdot (T' - T_d), \quad (2.51)$$

де $B_{\text{укр}}$ – коефіцієнт, який враховує вплив типу укріплення узбіч на процес випаровування.

На завершальному етапі розрахунку, визначаються величини надходження вологи в основу проїзної частини (в м³/добу на 1 м дороги):

а) через покриття:

$$q_0 = \frac{1,5 \cdot H_{\text{вп}(0)} \cdot a}{500 \cdot T''}, \quad (2.52)$$

б) через узбіччя:

$$q = \frac{1,5 \cdot (H_{\text{вп}} - H_u) \cdot l}{500 \cdot T''}, \quad (2.53)$$

де 1,5 – коефіцієнт нерівномірності випадання опадів у часі;

T'' – тривалість розрахункового періоду, доба.

Величину надходження вологи через неукріплену розділювальну смугу ($q_{p.c.}$) без водоприймачів розраховують аналогічно до узбіч з урахуванням напрямку стоку з проїзної частини та похилу і висотної відмітки розташування розділювальної смуги по відношенню до проїзної частини.

Кількість інфільтраційної вологи від атмосферних опадів, що потрапляє через узбіччя, покриття проїзної частини, розділювальну смугу (в м³/добу на 1 м) розраховується за формулою:

$$Q_2 = q_0 + q + q_{p.c.} \quad (2.54)$$

Послідовність розрахунку величини надходження інфільтраційної вологи від атмосферних опадів до дорожньої конструкції схематично зображено на рисунку 2.4.

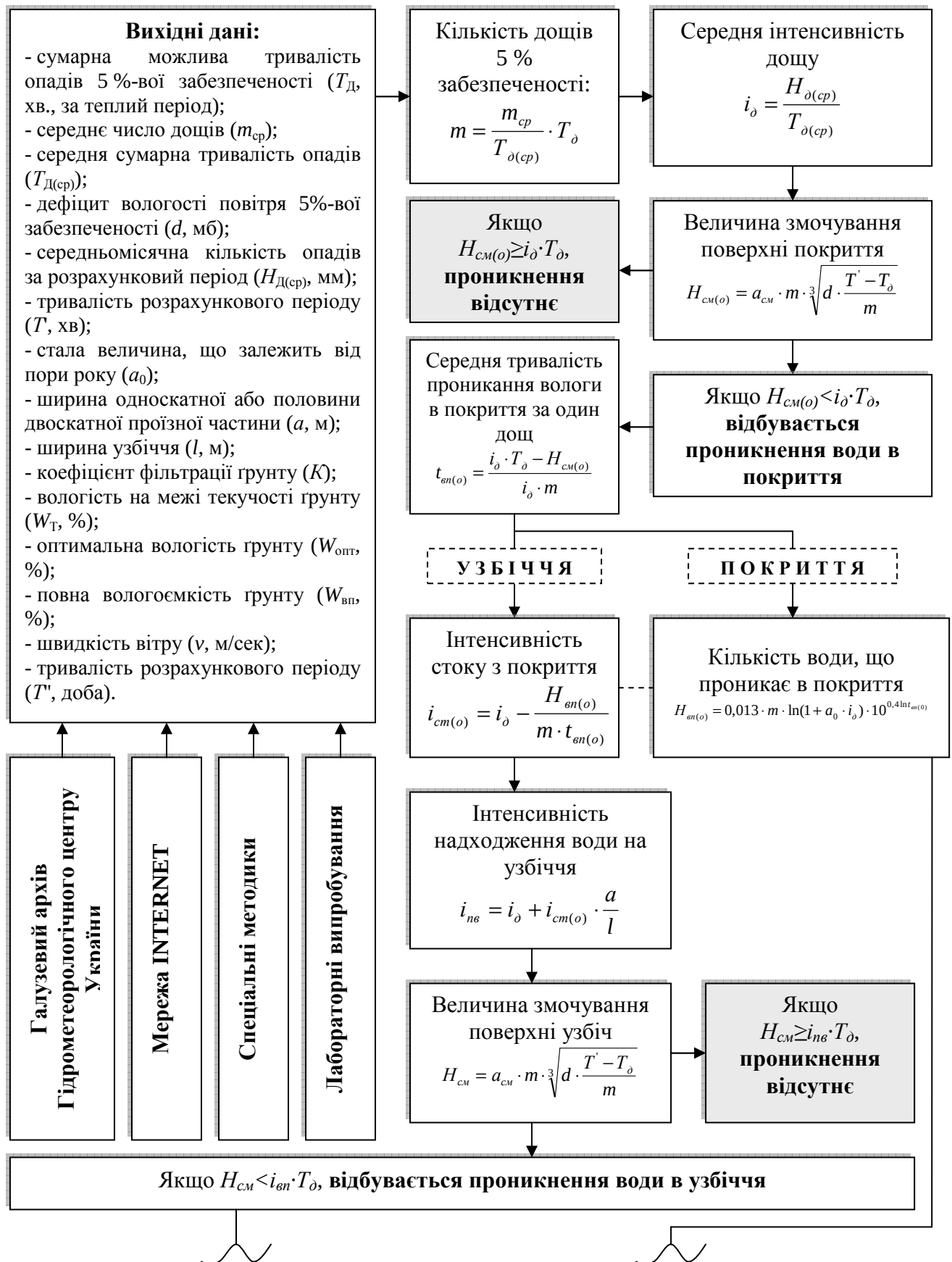


Рисунок 2.4 (початок) – Послідовність розрахунку величини надходження інфільтраційної води від атмосферних опадів до дорожньої конструкції

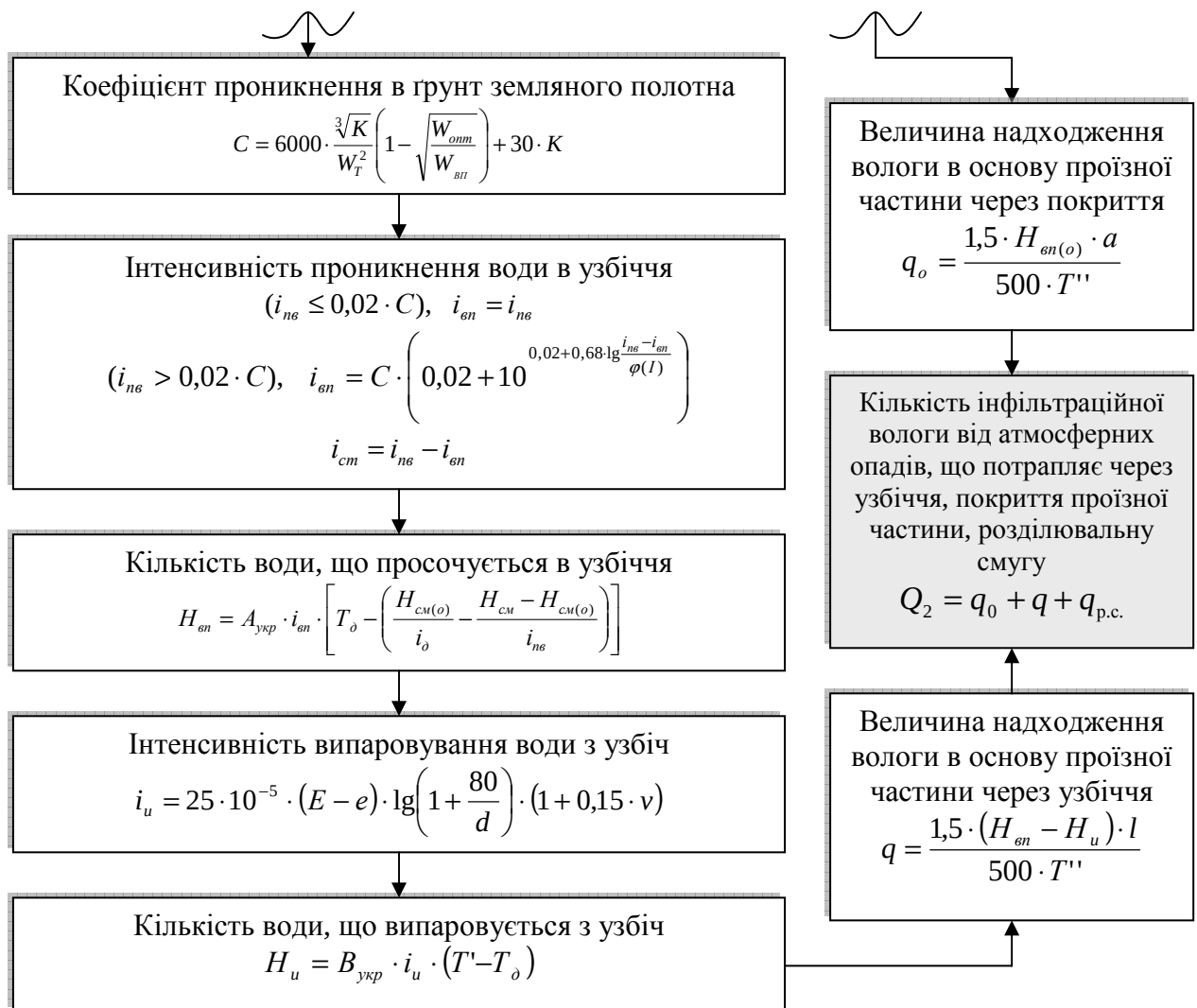


Рисунок 2.4 (кінець) – Послідовність розрахунку величини надходження інфільтраційної вологи від атмосферних опадів до дорожньої конструкції

2.5. Визначення загальної величини надходження вологи

При проектуванні дренажної системи мілкового закладення важливо врахувати кліматичні особливості району проходження дороги [96, 97]. Тому, доцільно врахувати сумарну кількість надходження вологи до конструкції від різних джерел протягом всього року, а потім обрати розрахунковий (найбільш несприятливий) період.

З цією метою, загальну величину надходження вологи в основу проїзної частини необхідно визначати наступним чином ($Q_{\text{заг}}$, м³/добу на 1 м² проїзної частини):

- 1) будують графік зміни температури повітря в річному циклі. Періоди, коли температура повітря нижча за 0 °С відкидаються;
- 2) кількість вологи, що відтискається із нижніх шарів земляного полотна та накопичується у зимовий період враховується в розрахунковий період (протягом весняного розмерзання дорожньої конструкції) відповідно до [16];
- 3) визначають кількість надходження інфільтраційної вологи в основу проїзної частини від опадів; метод, описаний вище, дає змогу врахувати втрати вологи на випаровування та змочування поверхні;
- 4) підсумовуючи отримані значення, отримують графік зміни загальної величини надходження вологи в основу проїзної частини протягом року;
- 5) за розрахункове приймають максимальне із отриманих значень.

2.6. Підбір внутрішнього діаметру дренажної труби

З метою підбору внутрішнього діаметру дренажної труби [98] спочатку визначають сумарну витрату води в дренажі.

Для розрахунку пропускної здатності труби-дрени визначають витрату води Q_d (м³/добу) вздовж всієї розрахункової ділянки дренажу:

$$Q_d = (Q_1 \cdot a \cdot v_1 + Q_2 \cdot v_2) \cdot m_T \cdot L_d, \quad (2.55)$$

де v_1 – коефіцієнт, що дорівнює 1 в розрахунковий період (протягом весняного розмерзання дорожньої конструкції) відповідно до [16]; або дорівнює 0, якщо розрахунковий період не збігається з періодом, коли вода, яка накопичується у зимовий період, відтискається із нижніх шарів земляного полотна в дренажний шар;

v_2 – коефіцієнт, що дорівнює 1, якщо розрахунковий період дощовий; або дорівнює 0, коли розрахунковий період припадає на дні без дощів;

m_T – коефіцієнт, який враховує можливість поступового забруднення труби (приймають $m_T = 1,5$);

L_d – довжина дренажу як водозбору (довжина ділянки), м.

Внутрішній діаметр труби d_T приймають за таблицею 2.1 з урахуванням сумарної витрати води в дренажі.

Дренажна труба повинна працювати в безнапірному режимі. Після приблизного визначення діаметра труби виконують перевірочний розрахунок:

$$Q_{\text{пр}} = \omega_T \cdot V, \quad (2.56)$$

$$V = C \cdot \sqrt{R_T \cdot i_T}, \quad (2.57)$$

$$\omega_T = R_T \cdot \chi, \quad (2.58)$$

де $Q_{\text{пр}}$ – шукана витрата води в трубі, м³/с;

ω_T – площа живого перерізу потоку у трубі, м²;

C – коефіцієнт Шезі;

R_T – гідравлічний радіус труби, м;

i_T – поздовжній похил труби на розрахунковій ділянці;

χ – змочений периметр труби, м.

Таблиця 2.1 – Діаметр дренажної труби в залежності від її поздовжнього похилу, швидкості течії води і її сумарної витрати

Поздовжній похил труби	Швидкість течії води, м/с	Сумарна витрата води		Внутрішній діаметр труби, мм
		л/с	м ³ /добу	
1	2	3	4	5
0,004	0,48	8,49	30,5	150
	0,60	18,97	68,4	200
	0,72	35,28	126,5	250

Кінець таблиці 2.1

1	2	3	4	5
0,004	0,83	58,43	210,0	300
0,005	0,54	9,49	34,0	150
	0,68	21,21	76,4	200
	0,80	39,44	141,8	250
	0,92	65,32	235,1	300

Коефіцієнт C визначають за формулою Павловського, яка має вигляд:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R_T^y, \quad (2.59)$$

де y – показник степеня (для труб з круглим перерізом та внутрішнім діаметром 300 мм і менше $y = 0,164$);

$$n = 0,012.$$

$$R_T = \frac{d_T}{4} < 1. \quad (2.60)$$

Змочений периметр труби визначається на основі розрахункової схеми та за формулою:

$$\chi = \frac{\pi \cdot r_T \cdot n_z}{180}, \quad (2.61)$$

де n_z – кут змочення, визначається графічно (приймають 360 °);

r_T – радіус труби, м.

Поздовжній похил труби на розрахунковій ділянці:

$$i_T = i_d - \frac{\Delta}{l_d}, \quad (2.62)$$

де i_d – проектний поздовжній похил дна траншеї;

Δ – перепад (різниця висот) на вході і виході труб в оглядовому колодязі або поперечному випуску ($\Delta \geq 0,2$ м);

l_d – відстань між оглядовими колодязями або поперечними випусками, м.

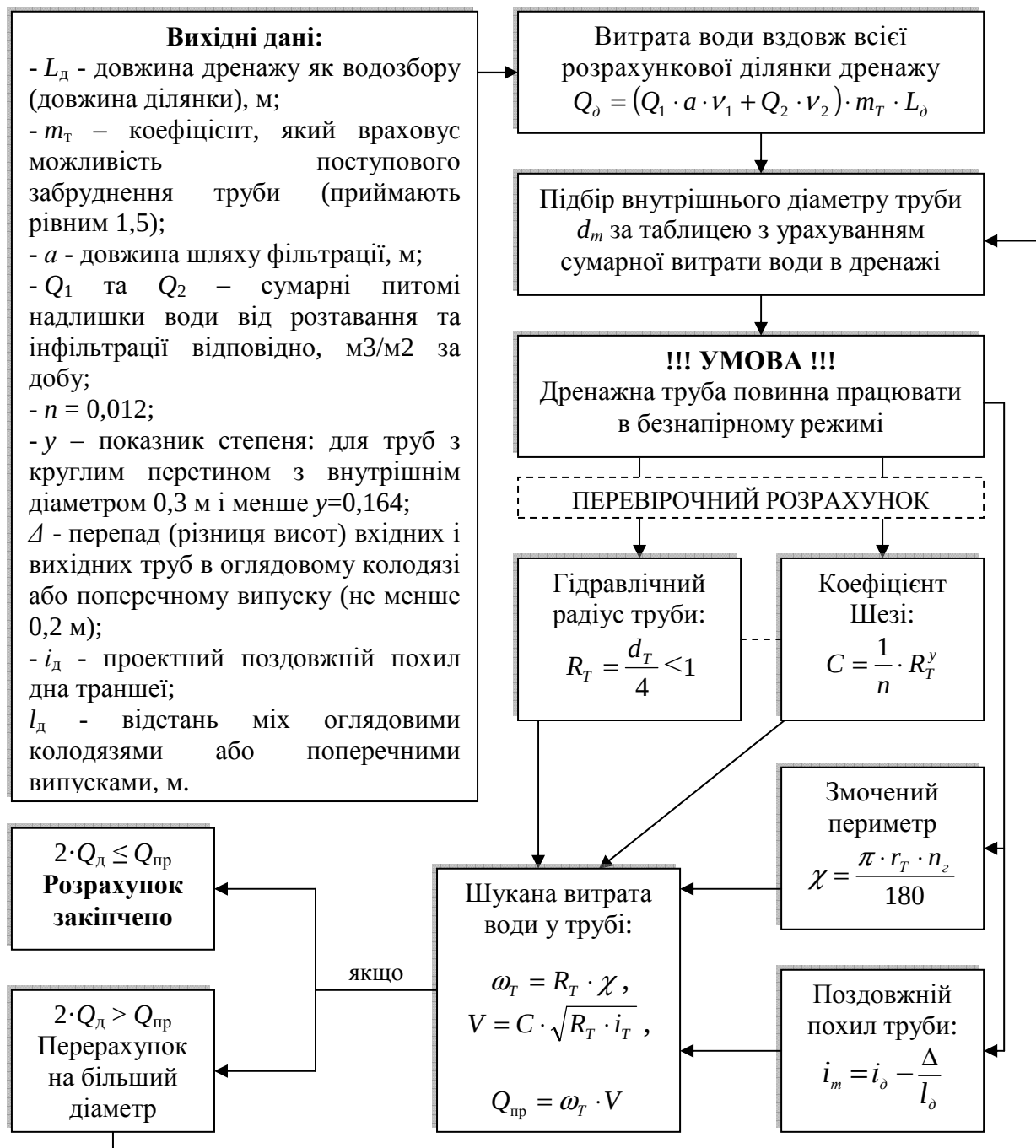


Рисунок 2.5 – Послідовність підбору внутрішнього діаметру дренажної труби

Після визначення всіх розрахункових величини, необхідно порівняти величини Q_d та $Q_{пр}$. Розрахунок закінчують при умові, що $2 \cdot Q_d \leq Q_{пр}$. При $2 \cdot Q_d > Q_{пр}$ необхідно виконати перерахунок на більший діаметр.

Послідовність підбору внутрішнього діаметру дренажної труби схематично зображено на рисунку 2.5.

2.7. Методи визначення товщини піщаного дренуючого шару та основні схеми його роботи

2.7.1. Розрахунок товщини піщаного дренуючого шару, який працює за принципом поглинання

Методи розрахунку піщаного дренуючого шару, який працює за принципом поглинання, описані як у діючій нормативній документації [16, 25], так і в роботах вчених [17, 19].

Норматив [16] пропонує спочатку визначати необхідну товщину піщаного дренуючого шару, необхідну для його ефективної роботи за принципом осушення, а потім виконувати перевірку умов достатності товщини дренуючого шару, який розраховують за методом осушення, для тимчасового розміщення кількості води, що накопичується в шарі за час запізнення $T_{зап}$ початку роботи водовідвідних споруд (визначається відповідно до [16]).

Відповідно до [17, 19], час $T_{зап}$ приймають рівним не менше, ніж три доби, при удосконалених типах покриттів, і не менше, ніж дві, – при перехідних.

Кількість води, що повинна розміститися у вільних порах, визначають за залежністю:

$$Q = Q_{заг} \cdot t, \quad (2.63)$$

де t – повна кількість днів надходження води в підстильний шар основи.

Далі за номограмою виконується перевірка умови достатності товщини дренуючого шару, який розраховують за методом осушення, для тимчасового розміщення кількості води Q .

Недоліками такого наближеного методу розрахунку є необхідність наявності даних про пористість матеріалу ще на етапі проектування дренуючого шару та, головне, відсутність можливості визначення товщини шару піску, насиченого водою, для її подальшого використання у розрахунках за методом осушення.

Якщо уявити таку ситуацію, коли поздовжні дрени і поперечні випуски розтали, у шарі піску є наявний початковий рівень води, і в той же момент йде дощ певної інтенсивності. У такому разі початковим рівнем води ні в якому разі не можна нехтувати, оскільки він суттєво впливає на товщину насиченого водою шару.

Методика, наведена в [17, 19, 25], дає можливість точного визначення товщини насиченого водою шару:

$$h_{\text{нас}} = \frac{Q_{\text{заг}} \cdot T_{\text{зап}}}{q_3 - q_2}, \quad (2.64)$$

де q_3 – кількість вільної води, яка поглинається дренуючим шаром товщиною в 1 см на площі 1 м² (визначається експериментально), м³/м² за добу;

q_2 – те саме, але при капілярній вологості (визначається експериментально), м³/м² за добу.

Складність розрахунку за формулою 2.64 полягає у необхідності визначення величин q_3 та q_2 , для чого відсутні методики у діючих нормативних документах.

Для отримання величин q_3 та q_2 (їх різниці) можна скористатися даними, наведеними у [19], врахувавши перехід від дорожньо-кліматичного районування СРСР [99] до діючого сьогодні в Україні розподілу на дорожньо-кліматичні зони [15].

2.7.2. Розрахунок товщини піщаного дренажного шару, який працює за принципом осушення

Згідно з [16, 17, 25], повну товщину дренажного шару, який працює за принципом осушення, визначаємо за формулою:

$$h_p = h_{\text{нас}} + h_{\text{зап}}, \quad (2.65)$$

де $h_{\text{нас}}$ – товщина шару, повністю насиченого водою, м;

$h_{\text{зап}}$ – додаткова товщина шару, що залежить від капілярних властивостей матеріалу і становить для пісків грубозернистих від 0,10 м до 0,12 м, середньозернистих – від 0,14 м до 0,15 м і дрібнозернистих – від 0,18 м до 0,20 м.

Відповідно до [16] товщина повністю насиченого шару визначається за допомогою рисунку. Наведена на зазначеному рисунку номограма не дає змогу виконати точний розрахунок, тому проаналізуємо ще один (розрахунковий) метод визначення зазначеного параметру.

Відповідно до [25] значення h_p та $h_{\text{зап}}$ розраховуються за залежністю 2.65 та аналогічно попередньому випадку (приймається в залежності від капілярних властивостей матеріалу) відповідно.

Величина $h_{\text{нас}}$ розраховується за такою формулою [25]:

$$h_{\text{нас}} = L \cdot \left(\sqrt{\left(\frac{h_2}{L} \right)^2 - j \cdot \left(\frac{h_2}{L} \right) + C_{\text{зв.}}} \right) \cdot \exp \left[- \frac{j}{2 \cdot a} \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \arctg \frac{\frac{h_2}{L} - \frac{j}{2}}{a} \right) \right], \quad (2.66)$$

де L – довжина шляху фільтрації, м;

j – поперечний ухил ґрунтової основи, %;

h_2 – допустима глибина шару води біля краю корита (зазвичай не перевищує 0,05 м), м;

$C_{зв.}$ – ступінь зволоження, що дорівнює:

$$C_{зв.} = \frac{Q_{заг}}{K}, \quad (2.67)$$

де a – безрозмірна величина, що дорівнює:

$$a = \sqrt{C_{зв.} - \left(\frac{j}{2}\right)^2}. \quad (2.68)$$

Можна зробити висновок, що є суттєві недоліки у наведених вище методиках розрахунку – невисока точність через використання номограм, неможливість врахування окремо надходження води зверху та знизу, початкового рівня води після розмерзання поперечних випусків та дренажів, різної величини надходження інфільтраційної вологи через покриття та узбіччя, відсутність параметру часу.

Тому, існує необхідність у мінімізації впливу зазначених недоліків при розрахунках та розробці методики, яка б враховувала фактори, не взяті до уваги авторами зазначених методик.

2.7.3. Врахування зниження пропускної здатності піщаного дренажного шару внаслідок його ущільнення з часом під впливом навантажень від транспорту та забруднення

З часом щільність матеріалу дренажного шару (підстильного шару основи з піску) підвищується через:

- 1) його ущільнення;
- 2) підвищення вмісту більш дрібних часток, що є наслідком подрібнення і перетирання найкрупніших зерен дренажного матеріалу;

3) його забруднення ґрунтовими частками, які рухаються разом з водою у зваженому вигляді.

Якщо врахувати, на яку величину знизиться пропускна здатність піщаного шару з часом, і врахувати цю величину при розрахунку загальної товщини, можна забезпечити більш надійну його роботу протягом всього нормативного терміну служби.

Розрахувати зменшення фактичної товщини піщаного шару Δh можна за емпіричною формулою [53]:

$$\Delta h = \frac{N \cdot T_{\text{ДО}} \cdot K_N \cdot v_B}{N_p}, \quad (2.69)$$

де N – перспективна середньорічна вантажонапруженість, млн. брутто-тон;

$T_{\text{ДО}}$ – перспективний строк служби дорожніх одягів, років (приймається згідно з [100]);

K_N – коефіцієнт, що характеризує відставання швидкості взаємопроникнення при збільшенні вантажонапруженості;

N_p – вантажонапруженість, млн. брутто-тон;

v_B – швидкість взаємопроникнення піщаного шару і ґрунту земляного полотна, що виражається в мм/год., з розрахунку вантажонапруженості на одну смугу руху в розмірі $N_p=1$ млн. брутто-тон.

При пилюватих ґрунтах в II дорожньо-кліматичній зоні при 1-му типі зволоження місцевості значення $v_B=5$ мм/рік, а в III зоні – $v_B=4$ мм/рік і при ґрунтах із вмістом гумусу більше 1-1,5% – $v_B=3$ мм/рік.

При болотистих ґрунтах, які за гранулометричним складом відносяться до пилюватих суглинків, складає не менше 8 мм/рік.

У випадку пониженого земляного полотна (3-й тип зволоження місцевості) і вимушеної перебудови окремих слабких місць швидкість v_B збільшують вдвічі.

Якщо вантажонапруженість на одну смугу руху $N_p=1$ млн. брутто-тон, то $K_N=1$. При $N_p=2$ млн. брутто-тон – $K_N=0,7$ і при $N_p=3$ млн. брутто-тон – $K_N=0,5$.

Таблиця 2.2 – Технічна класифікація автомобільних доріг [15]

Категорія дороги	Розрахункова перспективна інтенсивність руху, автомобілі/доба	
	у транспортних одиницях	у приведених до легкового автомобіля
1	2	3
I-а	понад 10 000	понад 14 000
I-б	понад 10 000	понад 14 000
II	від 3 000 до 10 000	від 5 000 до 14 000
III	від 1 000 до 3 000	від 2 500 до 5 000
IV	від 150 до 1 000	від 300 до 2 500
V	до 150	до 300

Таблиця 2.3 – Норми міжремонтних строків експлуатації дорожніх одягів (капітальний ремонт) [100]

Категорія автомобільної дороги	Інтенсивність руху, транспортних одиниць/добу	Тип дорожнього одягу	Матеріал покриття	Строк експлуатації дорожнього одягу, в роках
1	2	3	4	5
I	понад 10000	капітальний	цементобетон	18
I	понад 10000	капітальний	асфальтобетон	11
II	3000-10000	капітальний	цементобетон	21
II	3000-10000	капітальний	асфальтобетон	12
III	1500-3000	полегшений	чорнощобеневе (просочування)	10
III-VI	1000-3000	полегшений	асфальтобетон (коефіцієнт міцності 0,9)	13
VI	500-1500	полегшений	чорнощобеневе (просочування)	10
VI	500-1500	полегшений	чорнощобеневе (змішування на дорозі)	9

Кінець таблиці 2.3

1	2	3	4	5
VI	150-500	полегшений	чорнощобенове (змішування на дорозі)	10
VI	150-500	перехідний	щобенове	5
VI	150-500	перехідний	бруківка	15
VI-V	до 150	перехідний	цементогрунтове: маломіцні кам'яні матеріали, укріплені в'язучими матеріалами	6
V	менше 150	перехідний	маломіцні кам'яні матеріали, укріплені в'язучими матеріалами; фракційовані кам'яні матеріали	5

2.8. Нестационарна математична модель переносу фільтраційного потоку в дренажних прошарках

Враховуючи недостатню точність існуючих методик, ряд описаних вище недоліків, спираючись на результати аналізу досліджень науковців, розглянемо ще один підхід до визначення цих же параметрів.

Спробуємо вирішити задачу фільтрації води у піщаному дренажному шарі з поздовжніми перфорованими дренами.

Дренажний шар у більшості випадків розташовується безпосередньо на ущільненому ґрунті земляного полотна або на гідроізоляційному геосинтетичному матеріалі. Тобто, будемо вважати нижню границю непроникною.

Розглядатимемо систему в одну сторону від осі, оскільки, у зв'язку із наявністю поперечного похилу, рух води відбувається в одному напрямку. Тобто, маємо одну непроникну (біля осі) та одну проникну (біля дрени, з постійною висотою шару води $h_2 = \text{const}$) вертикальні границі.

Оскільки дренажна конструкція має визначені розміри у поперечному напрямку та є витягнутою у поздовжньому, – будемо розглядати систему як двовимірну.

На режим фільтрації безпосередньо впливають [101]:

- величина поперечного ухилу;
- фільтраційні властивості матеріалу дренажу;
- початковий рівень води;
- надходження води знизу та зверху (відповідно до [25]);
- різні величини надходження води зверху у межах покриття та узбіччя;
- геометричні параметри поперечного профілю дороги.

Побудуємо розрахункову схему (рисунки 2.6).

Представлена схема безнапірного нестационарного руху води в площині до дренажної труби при наявності інфільтрації, надходження води знизу та похилій лінії водоупору підпорядковується рівнянню Буссінеска [102], яке для нашого випадку матиме такий вигляд:

$$\frac{\partial}{\partial x} \cdot \left[(h - j \cdot x) \frac{\partial h}{\partial x} \right] + C_{зв.} = \frac{\mu}{K} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.70)$$

або:

$$\frac{\partial}{\partial x} \cdot \left[y \cdot \left(\frac{\partial y}{\partial x} + j \right) \right] + C_{зв.} = \frac{\mu}{K} \cdot \frac{\partial y}{\partial t}, \quad (2.71)$$

де μ – коефіцієнт водовіддачі;

$C_{зв.}$ – ступені зволоження для проїзної частини та узбіч, у зв'язку з різними інфільтраційними характеристиками їх покриттів, будуть різними і становитимуть, відповідно: $C_{зв.}^{пр} = \frac{Q_{заг}^{пр}}{K}$ та $C_{зв.}^{узб} = \frac{Q_{заг}^{узб}}{K}$;

$Q_{заг}^{пр} = q_0 + Q_1$ – загальна величина надходження вологи в межах проїзної частини, л/(м²·доба);

$Q_{заг}^{узб} = q + Q_1$ – загальна величина надходження вологи в межах узбіччя, л/(м²·доба);

q – величина надходження інфільтраційної вологи в основу дорожнього одягу через узбіччя, м³/добу на 1 м²;

q_0 – величина надходження води в основу дорожнього одягу через покриття, м³/доба на 1 м².

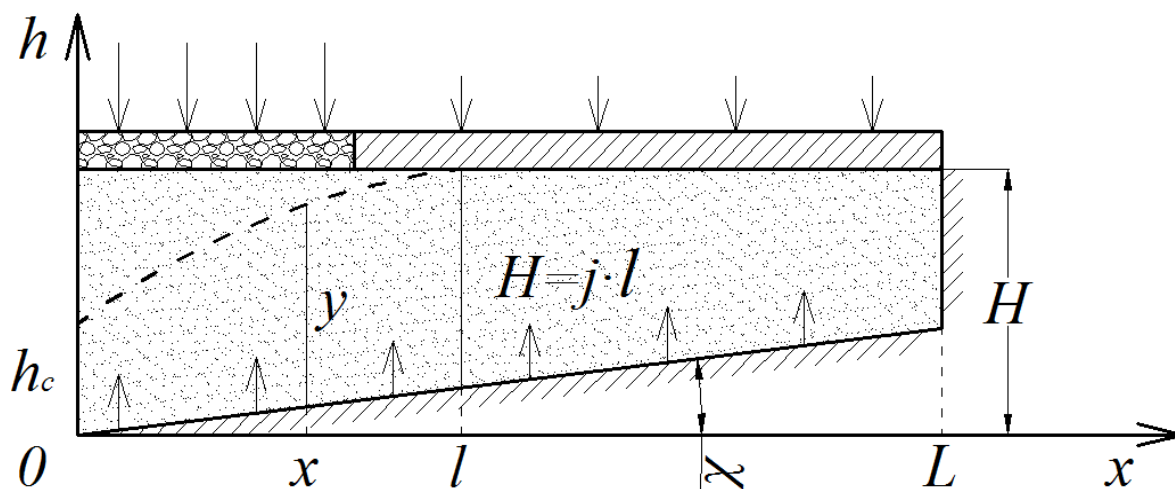


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема руху води в дренуючому шарі при наявності дрени:

L – довжина дренуючого шару від дренажної труби до вертикальної водонепроникної границі, м;

l – довжина зони депресії у період t , м;

x – абсциса розрахункового перерізу, м;

$h = y + j \cdot x$ – висота води в розрахунковому перерізі в момент t , м;

t – час, що відраховується від початку фази, с;

$j = \operatorname{tg} \chi$;

h_c, H – висоти води на початку лінії депресії і на границі шару в момент t ,

м

В подальших розрахунках зони проїзної частини та узбіч будемо розглядати окремо, оскільки величини зволоження у їх межах суттєво відрізняються [1, 3].

Припустимо, що у весняний період, коли поперечні випуски ще не звільнилися від льоду та не забезпечують відведення води, наявна інфільтрація зверху та спостерігається відтискання води знизу при розтаванні ґрунту земляного полотна.

Вода накопичується у дренауючому прошарку. В початковий момент часу (t_0) поверхня води у шарі є горизонтальною і її шар має певну висоту (H_0). При розмерзанні випусків ($t=0$) рівень води при $x=0$ раптово змінюється, набравши значення h_2 і зберігаючи на контурі дренажу це постійне значення в подальшому.

Розглянемо першу фазу нестационарного руху рідини – поширення зони депресії від $x=0$ до $x=L$ за проміжок часу T_1 при постійному рівні води на контурі дренажу $h_2=h_c$.

Перша фаза є важливою з точки зору визначення максимальної глибини фільтраційного потоку, оскільки протягом другої фази – осушення, – відбувається зниження рівня води аж до досягнення шаром капілярної вологості.

Відповідно до [19], у випадку осушення дренауючого шару трубчатими дренами h_2 зазвичай не перевищує 0,05 м.

Для практичного застосування при проектуванні дренауючих шарів значення мають параметри h , q_l – дебіт на 1 погонний метр довжини дрени при $x=0$ в момент t , м³/с на 1 м довжини труби; Q_t – загальна витрата води за час t , м³.

Для вирішення задач неусталеної фільтрації успішно був використаний метод послідовної зміни стаціонарних станів [49, 50]. Ґрунтуючись на рівняннях, знайдемо розрахункові характеристики піщаного дренауючого шару дорожньої конструкції, врахувавши інший режим зволоження: надходження води зверху та знизу, а також різні величини надходження інфільтраційної вологи через покриття та узбіччя:

$$h = H = H_0 + \frac{Q_{\text{заг}}}{\mu} \cdot t = H_0 + \frac{C_{\text{зв.}} \cdot K}{\mu} \cdot t, \quad (2.72)$$

$$\left(y = H_0 - j \cdot x + \frac{C_{\text{зв.}} \cdot K}{\mu} \cdot t \right),$$

де H, H_0 – висоти води на границі шару і на початку лінії депресії в момент t_0 , м;

$Q_{\text{заг}}$ – загальна величина надходження вологи, яка приймається рівною $Q_{\text{заг}}^{\text{пр}}$ або $Q_{\text{заг}}^{\text{узб}}$ в залежності від того, для проїзної частини, чи для узбіччя виконується розрахунок.

З рівнянь (2.70, 2.71) при $\frac{\partial h}{\partial t} = 0$ ($\frac{\partial y}{\partial t} = 0$) матимемо:

$$(h - j \cdot x) \cdot \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{A}{2} - C_{\text{зв.}} \cdot x,$$

або:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{A - 2 \cdot C_{\text{зв.}} \cdot x}{2 \cdot y} - j,$$

(2.73)

де A – стала інтегрування.

Функція $y(h)$ має задовольняти такі граничні умови:

$$\text{при } x = 0: y = h_c \quad (h = h_c),$$

$$\text{при } x = l: y = H_0 - j \cdot l + \frac{C_{\text{зв.}} \cdot K}{\mu} \cdot t \quad \left(h = H_0 + \frac{C_{\text{зв.}} \cdot K}{\mu} \cdot t > h_c \right).$$

(2.74)

$$q_l = \frac{K}{2} \cdot A = \frac{K \cdot H_0^2}{2 \cdot L} \alpha,$$

(2.75)

$$\text{де } \alpha = A \cdot \frac{L}{H_0^2}.$$

$$Q_t = \mu \cdot \left(H_0 \cdot l - j \cdot \frac{l^2}{2} + \frac{C_{\text{зв.}} \cdot K \cdot l}{\mu} \cdot t \right).$$

(2.76)

На основі рівнянь 2.72, 2.75, 2.76 при проектуванні доцільно виконувати точний розрахунок висоти шару води у певний момент часу у певному перерізі, дебіту на 1 погонний метр довжини дрени при $x=0$ в момент t та загальної витрати води за час t з використанням методу прогону [103].

2.9. Висновки по розділу

Основними результатами теоретичних досліджень, що викладені в даному розділі, стосовно методів розрахунку величин надходження вологи та параметрів дренажних систем робочої зони земляного полотна, можна вважати:

1. Наведено схеми послідовності розрахунку величин надходження вологи до дорожньої конструкції та параметрів елементів дренажних систем робочої зони земляного полотна.

2. Розроблено нестационарну математичну модель переносу фільтраційного потоку в дренажних прошарках на основі методу послідовної зміни стаціонарних станів для визначення розрахункових характеристик піщаного дренажного шару дорожньої конструкції з урахуванням особливостей режиму зволоження: надходження води зверху та знизу, а також різних величин надходження інфільтраційної вологи через покриття та узбіччя. Для вирішення поставленої задачі з визначення параметрів піщаного дренажного прошарку розглянуто безнапірний нестационарний приплив ґрунтових вод до дренажної галереї при наявності інфільтрації, з горизонтальним водоупором та при похилій лінії водоупору. Розроблено розрахункову схему руху води в дренажному шарі при наявності дрени.

3. Запропоновано удосконалений метод визначення загальної величини надходження вологи до дорожньої конструкції від різних джерел зволоження протягом року та обґрунтування розрахункового (найбільш несприятливого з точки зору водно-теплового режиму) періоду року.

РОЗДІЛ 3

МЕТОД РЕАЛІЗАЦІЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ФІЛЬТРАЦІЇ В ДРЕНАЖНИХ ПРОШАРКАХ РОБОЧОЇ ЗОНИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

3.1. Використання методу прогону для розрахунку параметрів роботи піщаного дренуючого шару дорожньої конструкції

Піщаний дренуючий шар дренажної системи мілкого закладення автомобільної дороги починає виконувати свої функції при надходженні вологи: при розтаванні ґрунту земляного полотна та шарів дорожнього одягу, при випадінні атмосферних опадів та при поєднанні зазначених джерел зволоження.

Перша фаза роботи піщаного дренуючого шару, – насичення його водою та формування кривої депресії, – має важливе практичне значення. Її точний опис при проектуванні дає можливість визначити положення піку кривої депресії, що, у свою чергу, використовується при визначення максимального рівня води і товщини шару [104]. Разом з тим, визначаються дебіт на 1 погонний метр довжини дрени при $x=0$ в момент t та загальна витрата води за час t .

Рівняння 2.72, 2.75, 2.76 вдало описують процес фільтрації води в пористому середовищі піщаного дренуючого шару. Для реалізації цього комплексу моделей (системи рівнянь) використовували сучасні числові методи з певним пристосуванням їх до специфічного класу розглянутих задач [105], а саме: запропоновано та обґрунтовано використання методу прогону для розрахунку параметрів роботи піщаного дренуючого шару дорожньої конструкції (висоти шару води у певний момент часу у певному перерізі, дебіту на один метр погонний довжини дрени при $x = 0$ у момент t та загальної витрати води за час t).

У зв'язку з практичною необхідністю, складено алгоритм точного розрахунку зазначених величин з використанням методу прогону [103].

Суть використаного методу полягає в тому, що більшість технічних задач зводиться до розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь, в яких матриці містять багато нульових елементів, а ненульові елементи розміщені за спеціальною структурою (стрічкові квазітрикутні матриці).

Задачі побудови інтерполяційних сплайнів, різницевих методів розв'язування крайових задач для диференціальних рівнянь зводяться до розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь з трьохдіагональною матрицею A . В матриці A всі елементи, що не лежать на головній діагоналі і двох сусідніх паралельних діагоналях, дорівнюють нулю.

В загальному вигляді такі системи записують так:

$$a_i \cdot x_{i-1} + b_i \cdot x_i + c_i \cdot x_{i+1} = d_i, \quad (3.1)$$

$$1 \leq i \leq n; a_1 = 0; c_n = 0,$$

або в розгорнутому вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{ll} b_1 \cdot x_1 + c_1 \cdot x_2 & = d_1 \\ a_2 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + c_2 \cdot x_3 & = d_2 \\ a_3 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + c_3 \cdot x_4 & = d_3 \\ & \vdots \\ a_i \cdot x_{i-1} + b_i \cdot x_i + c_i \cdot x_{i+1} & = d_i \\ a_{n-1} \cdot x_{n-2} + b_{n-1} \cdot x_{n-1} + c_{n-1} \cdot x_n & = d_{n-1} \\ a_n \cdot x_{n-1} + b_n \cdot x_n & = d_n. \end{array} \right. \quad (3.2)$$

Вибір найбільшого елемента при виключенні невідомих за методом Гауса в таких системах робити не можна, оскільки перестановка рядків руйнує структуру матриці.

Найчастіше для розв'язку системи з трьохдіагональною матрицею використовують метод прогону, який є частковим випадком методу Гауса.

3.1.1. Прямий хід методу прогону

Прямий хід прогону (алгоритм прямого ходу методу Гауса) полягає в наступному.

Кожне невідоме x_i виражається через x_{i+1} з допомогою прогоночних коефіцієнтів A_i та B_i

$$x_i = A_i \cdot x_{i+1} + B_i ; i = \overline{1, n} . \quad (3.3)$$

Наприклад, з першого рівняння системи 3.2 знайдемо

$$\left. \begin{array}{l} x_1 = -\frac{c_1}{b_1} \cdot x_2 + \frac{d_1}{b_1} \\ x_1 = A_1 \cdot x_2 + B_1 \end{array} \right\} , \text{ звідки: } A_1 = -\frac{c_1}{b_1}, \quad B_1 = \frac{d_1}{b_1} . \quad (3.4)$$

З другого рівняння системи 3.2 виразимо x_2 через x_3 , замінюючи x_1 формулою 3.3 або формулою 3.4

$$a_2 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + c_2 \cdot x_3 = a_2 \cdot (A_1 \cdot x_2 + B_1) + b_2 \cdot x_2 = d_2 . \quad (3.5)$$

Звідси знайдемо:

$$\begin{aligned} x_2 &= \frac{d_2 - c_2 \cdot x_3 - a_2 \cdot B_1}{a_2 \cdot A_1 + b_2}, \text{ або:} \\ x_2 &= A_2 \cdot x_3 + B_2 , \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$A_2 = -\frac{c_2}{a_2 \cdot A_1 + b_2} , \quad B_2 = \frac{d_2 - a_2 \cdot B_1}{a_2 \cdot A_1 + b_2} , \text{ беручи за: } e_2 = a_2 \cdot A_1 + b_2 .$$

Запишемо:

$$\begin{aligned} A_2 &= -\frac{c_2}{e_2}; \\ B_2 &= \frac{d_2 - a_2 \cdot B_1}{e_2}. \end{aligned} \quad (3.7)$$

Аналогічно для кожного i прогоночні коефіцієнти з рівняння $x_i = A_i \cdot x_{i+1} + B_i$ мають вигляд:

$$\begin{aligned} A_i &= -\frac{c_i}{e_i}; \quad B_i = \frac{d_i - a_i \cdot B_{i-1}}{e_i}, \\ e_i &= a_i \cdot A_{i-1} + b_i; \quad i = \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (3.8)$$

При цьому, враховуючи, що $a_1 = c_n = 0$, приймаємо:

$$A_0 = 0; \quad B_0 = 0. \quad (3.9)$$

В розгорнутому вигляді формула 3.8 буде мати вигляд формули 3.10.

Значення прогоночних коефіцієнтів можна одержати і таким шляхом: в рівнянні 3.3 понизимо індекс на одиницю та підставимо значення x_{i-1} в i -е рівняння системи 3.1:

$$\begin{aligned} x_{i-1} &= A_{i-1} \cdot x_i + B_{i-1}, \\ a_i \cdot x_{i-1} + b_i \cdot x_i + c_i \cdot x_{i+1} &= d_i \Rightarrow \\ \Rightarrow a_i \cdot (A_{i-1} \cdot x_i + B_{i-1}) + b_i \cdot x_i + c_i \cdot x_{i+1} &= d_i, \\ x_i &= \frac{d_i - c_i \cdot x_{i+1} - a_i \cdot B_{i-1}}{a_i \cdot A_{i-1} + b_i} = -\frac{c_i}{a_i \cdot A_{i-1} + b_i} \cdot x_{i+1} + \frac{d_i - a_i \cdot B_{i-1}}{a_i \cdot A_{i-1} + b_i} = A_i \cdot x_{i+1} + B_i. \end{aligned} \quad (3.10)$$

3.1.2. Обернений хід методу прогону

Обернений хід прогонки (аналог оберненого ходу методу Гауса) полягає у наступному.

Він полягає в послідовному обчисленні невідомих x_i . Спочатку знаходять x_n . Для цього формулу 3.10 запишемо при $i = n$ (враховуючи, що $C_n = 0$):

$$x_n = -\frac{c_n}{a_n \cdot A_{n-1} + b_n} \cdot x_{n+1} + \frac{d_n - a_n \cdot B_{n-1}}{a_n \cdot A_{n-1} + b_n} = \frac{d_n - a_n \cdot B_{n-1}}{a_n \cdot A_{n-1} + b_n} = B. \quad (3.11)$$

Далі, використовуючи формулу 3.3, знаходимо послідовно всі невідомі $x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_1$.

Майже у всіх задачах, що приводять до розв'язку системи 3.2 з трьохдіагональною матрицею, забезпечується умова переважання діагональних коефіцієнтів:

$$|b_i| \geq |a_i| + |c_i|. \quad (3.12)$$

Це забезпечує існування єдиного розв'язку та достатню стійкість методу прогону відносно похибок заокруглення.

Для запису коефіцієнтів a_i, b_i , та прогоночних коефіцієнтів A_{i-1}, B_{i-1} використовується один і той же масив.

3.2. Модифіковані рівняння переносу фільтраційного потоку в дренуючих шарах за методом прогону

Відповідно до використаного для реалізації рівнянь переносу фільтраційного потоку в дренуючих шарах робочої зони земляного полотна автомобільної дороги методу прогону, описаного в підрозділі 3.1, рівняння

2.72, 2.73, 2.74, 2.75, 2.76 можна представити, з урахуванням межових умов, у вигляді:

$$Y'[x, t] \begin{cases} H_0 - j \cdot x + \frac{C_{зв}^{пр} \cdot K \cdot t}{\mu}, & \text{при } x < x_{узбіччя} \\ H_0 - j \cdot x + \frac{C_{зв}^{узб} \cdot K \cdot t}{\mu}, & \text{при } x \geq x_{узбіччя} \end{cases}, \quad (3.13)$$

$$Y[x, t] \begin{cases} Y'[x, t], & \text{при } Y'[x, t] \geq 0 \\ 0, & \text{при } Y'[x, t] = 0 \end{cases}. \quad (3.14)$$

Стала інтегрування обчислюється за залежностями:

$$A[x, t] \begin{cases} 2 \cdot Y[x, t] \cdot \left(\frac{dy}{dx} + j \right) + 2 \cdot x \cdot C_{зв}^{пр}, & \text{при } x < x_{узбіччя}, \\ 2 \cdot Y[x, t] \cdot \left(\frac{dy}{dx} + j \right) + 2 \cdot x \cdot C_{зв}^{узб}, & \text{при } x \geq x_{узбіччя}. \end{cases} \quad (3.15)$$

Дебіт на 1 погонний метр довжини дрени при $x=0$ в момент t застосовується на практиці при підборі внутрішнього діаметру перфорованої поздовжньої дрени (або параметрів крупнопористого ядра) та з використанням методу прогону обчислюється за залежністю:

$$q[x, t] = \frac{1}{2} \cdot A[x, t] \cdot K, \quad (3.16)$$

$$L'[x, t] \begin{cases} x, & \text{при } Y[x, t] > 0 \\ 0, & \text{при } Y[x, t] = 0 \end{cases}, \quad (3.17)$$

$$L[x, t] = \max_{t = const} L'[x, t]. \quad (3.18)$$

Загальна витрата води за час t визначається наступним чином:

$$Q_t [x, t] = \begin{cases} \mu \cdot H_0 \cdot L[x, t] - \frac{1}{2} \cdot j \cdot L[x, t]^2 + \frac{C_{зв}^{np} \cdot K \cdot L[x, t] \cdot t}{\mu} & , \text{ при } x < x_{узбіччя}, \\ \mu \cdot H_0 \cdot L[x, t] - \frac{1}{2} \cdot j \cdot L[x, t]^2 + \frac{C_{зв}^{yзб} \cdot K \cdot L[x, t] \cdot t}{\mu} & , \text{ при } x \geq x_{узбіччя}. \end{cases} \quad (3.19)$$

3.3. Схема реалізації запропонованої математичної моделі переносу фільтраційного потоку в робочій зоні земляного полотна автомобільної дороги

Сьогодні в практиці інженерних розрахунків, з метою досягнення максимальної точності, можливості врахування великої кількості факторів та спрощення роботи інженера-проектувальника, користуються відповідними інформаційно-аналітичними системами, розробленими на основі тих, чи інших математичних залежностей, які описують певний процес [106, 107]. Тому, на основі представленої модифікованої математичної моделі руху фільтраційної води в дорожній конструкції (формули 2.72, 2.75, 2.76) розроблено розрахункову інформаційно-аналітичну систему. Вона дає змогу одночасно виконувати розрахунки за декількома наборами вихідних даних та будувати тривимірні графіки зміни величин у часі та по довжині.

Узагальнені блок-схеми реалізації рівнянь переносу фільтраційного потоку із застосуванням інформаційно-аналітичної системи наведено на рисунках 3.1, 3.2, 3.3.

Для можливості проведення універсальних розрахунків з використанням різних параметрів ширини зони фільтрації у інформаційно-аналітичній системі використано адаптивну вісь, яка відповідає ширині зони фільтрації, зі змінною ціною поділки (таблиця 3.1: верхній рядок – позначення на осі, нижній – відстань в метрах).

Таблиця 3.1 – Величини на шкалі осі «Довжина зони фільтрації»

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0,267	0,533	0,8	1,067	1,333	1,6	1,867	2,133	2,4	2,667	2,933	3,2	3,467	3,733	4

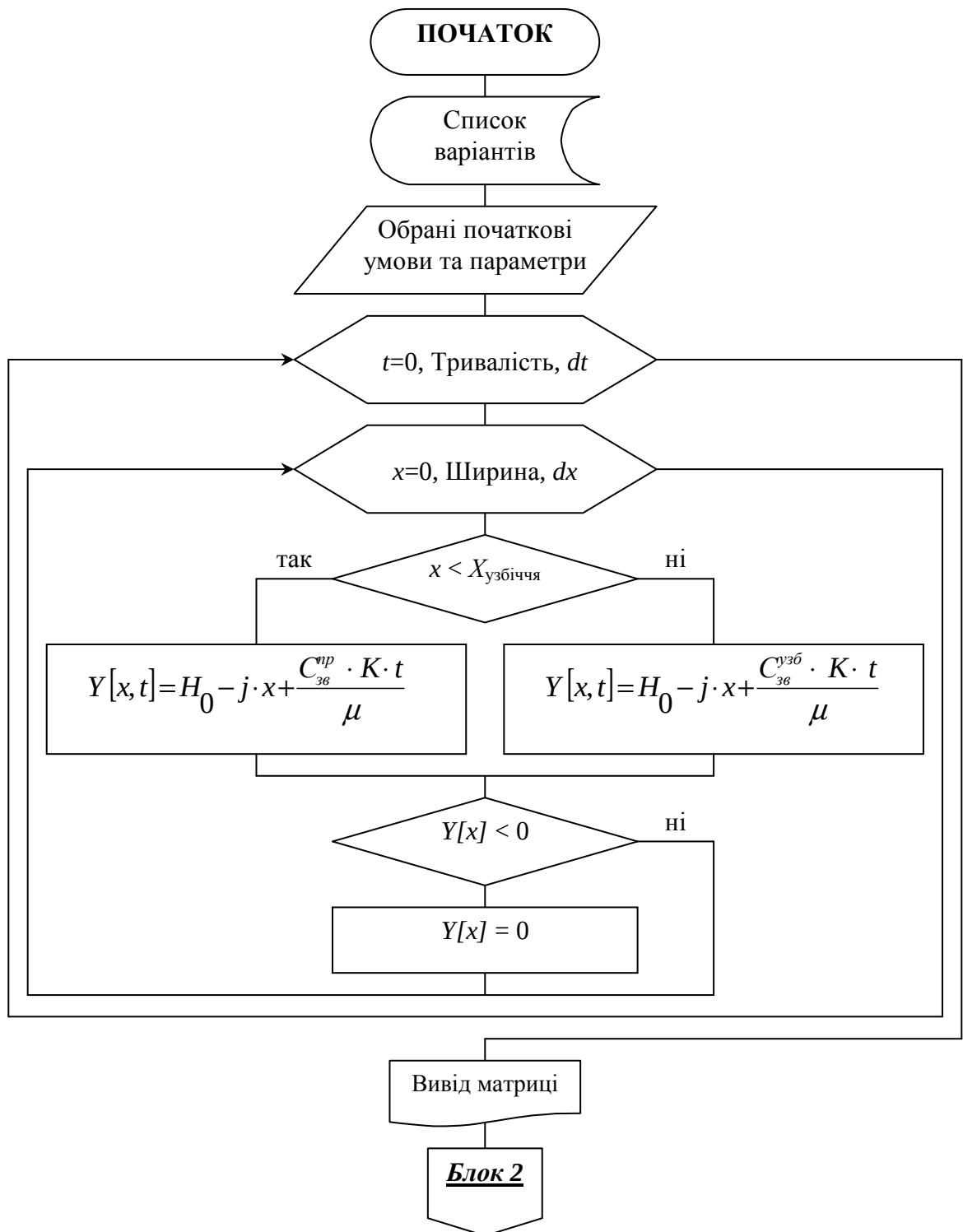


Рисунок 3.1 – Узагальнена блок-схема реалізації рівнянь переносу фільтраційного потоку із застосуванням інформаційно-аналітичної системи: обчислення величини перевищення рівня води над похилою лінією водоупору

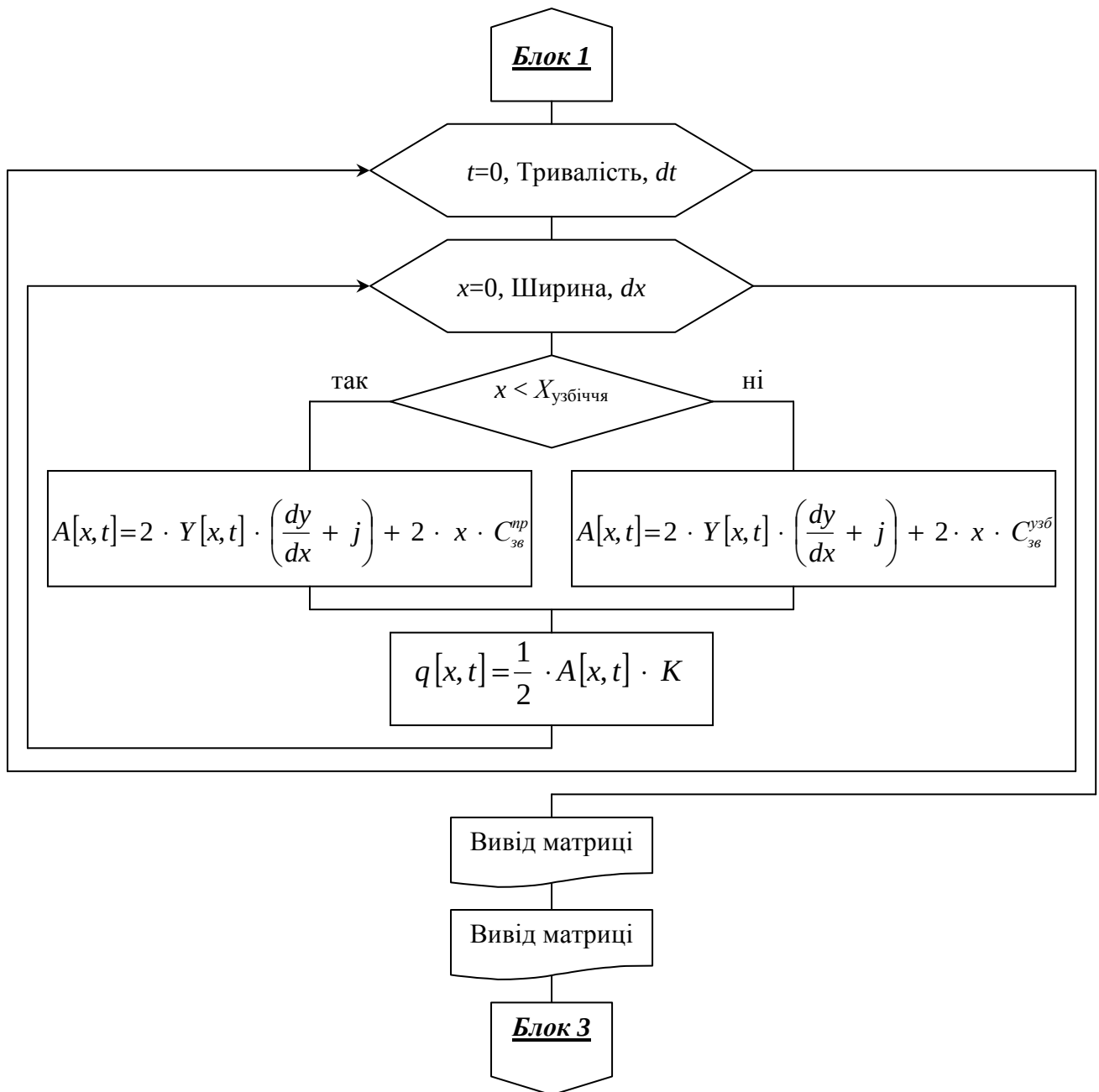


Рисунок 3.2 – Узагальнена блок-схема реалізації рівнянь переносу фільтраційного потоку із застосуванням інформаційно-аналітичної системи: обчислення сталої інтегрування та дебіту води на 1 погонний метр труби (продовження рисунку 3.1)

Кожен з блоків блок-схем, зображених на рисунках 3.1, 3.2, 3.3, описує процес обчислення за допомогою інформаційно-аналітичної системи окремого параметру піщаного шару дренажу мілкового закладення автомобільної дороги.

Розроблена комп'ютерна інформаційно-аналітична система дає змогу будувати тривимірні графіки зміни величин y , q_l та Q_t по довжині та в часі.

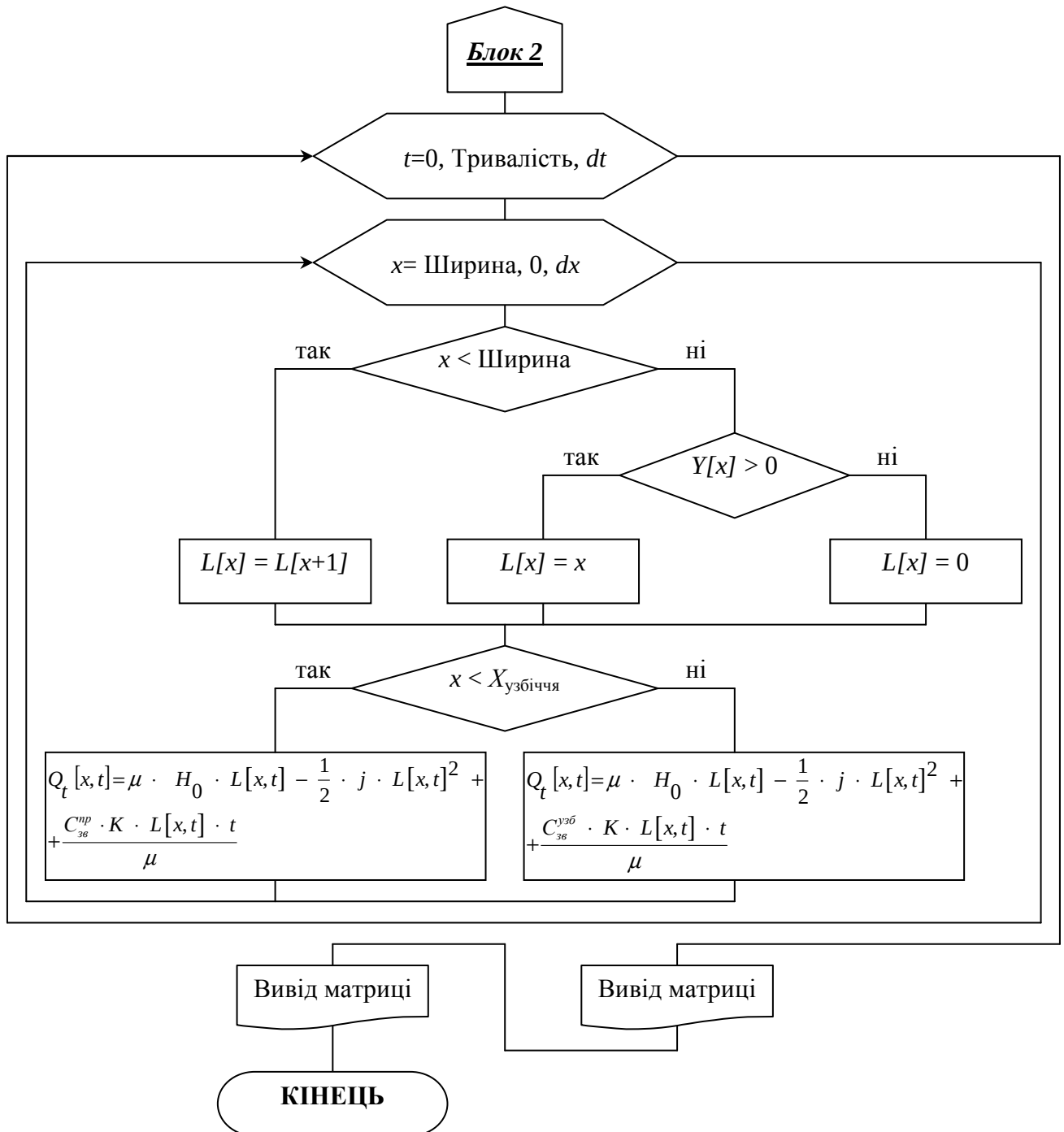


Рисунок 3.3 – Узагальнена блок-схема реалізації рівнянь переносу фільтраційного потоку із застосуванням інформаційно-аналітичної системи: визначення загальної витрати води у заданому перерізі за певний проміжок часу (продовження рисунку 3.2)

Система складається з окремих вікон:

- вікно «Вихідні дані» (рисунок 3.4) дає змогу заносити вихідні дані для необмеженої кількості наборів вихідних даних, що дозволяє одночасно проводити розрахунки для різних комбінацій параметрів дренажного шару;
- вікно «Вибрані вихідні дані» дозволяє обирати один із наборів вихідних даних з вікна «Вихідні дані»;

Поточний номер вихідних даних		Надходження води знизу		Інфільтрація зверху W1		Надходження води знизу		Інфільтрація зверху W1		Нат. навант. дренаж	Норм. дренаж	E (екскон) знизу	E (екскон) зверху	E (екскон) зверху	W1
№	тип	Коефіцієнт фільтрації C (м/добу)	Коефіцієнт водопроникності M10	через покриття пробної частини (л/м2 за добу)	через урбана пробної частини (л/добу на 1 м2)	через покриття пробної частини (м3/сек на м2)	через урбана пробної частини (м3/сек на 1 м2)	через покриття пробної частини (м3/сек на 1 м2)	через урбана пробної частини (м3/сек на 1 м2)						
1	кріпкий	19.94	0.27	0	0	11.05	0	0	1.27894E-07	1	0.01746	0	0	6.414E-09	0
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															

Рисунок 3.4 – Вікно «Вихідні дані»

- вікна розрахунку та візуалізації параметрів дренажу призначені для виводу на екран результатів розрахунків параметрів дренажного піщаного шару дренажу мілкового закладення у числовому та графічному вигляді.

Таким, чином, наприклад, можна шляхом зміни фільтраційних властивостей матеріалу дренажу оцінювати відповідну зміну рівня води у фільтраційному потоці. Це на практиці дасть змогу підібрати матеріал оптимальної вартості з урахуванням економії від використання меншого його

сплайнів, різницевих методів розв'язування крайових задач для диференціальних рівнянь зводяться до розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь з трьохдіагональною матрицею A . В матриці A всі елементи, що не лежать на головній діагоналі і двох сусідніх паралельних діагоналях, дорівнюють нулю.

2. Виведено та описано модифіковані рівняння переносу фільтраційного потоку в дренуючих шарах за методом прогону.

3. Розроблено схему реалізації запропонованої математичної моделі переносу фільтраційного потоку в робочій зоні земляного полотна автомобільної дороги та на основі представленої модифікованої математичної моделі руху фільтраційної води в дорожній конструкції розроблено розрахункову інформаційно-аналітичну систему. Вона дає змогу одночасно виконувати розрахунки за декількома наборами вихідних даних та будувати тривимірні графіки зміни величин у часі та по довжині.

РОЗДІЛ 4

ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОЗДОВЖНІХ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ У РОБОЧІЙ ЗОНІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

4.1. Основні положення методу розрахунку параметрів поздовжнього дренажу у робочій зоні земляного полотна автомобільної дороги

На сьогоднішній день відсутня нормативно регламентована точна методика визначення параметрів поздовжнього дренажу мілкого закладення автомобільної дороги.

Розрахунок умовно можна розділити на три етапи:

- визначення величини надходження вологи до дорожньої конструкції при розтаванні ґрунту земляного полотна та дорожнього одягу;
- розрахунок величини надходження інфільтраційної вологи у період з додатними температурами та визначення розрахункового (найбільш несприятливого) періоду шляхом додавання величин надходження вологи протягом року від різних джерел;
- розрахунок необхідної товщини піщаного дренажного шару, необхідної для ефективного відведення розрахункової кількості води.

Визначення величини загального притоку вологи до дорожньої конструкції регламентується у [16].

Більш точно, з урахуванням метеорологічної статистики регіону, величини надходження вологи до дорожньої конструкції при розтаванні ґрунту земляного полотна та дорожнього одягу та надходження інфільтраційної вологи у період з додатними температурами розраховуються відповідно до [24, 25, 26].

Порядок визначення необхідної товщини піщаного дренажного шару визначено в [16, 17, 25].

Крім того, пропонується розрахувати товщину піщаного дренажного шару, який працює за принципом осушення, з використанням удосконаленого

методу, який базується на математичній моделі руху фільтраційної води в дорожній конструкції [108, 109].

Отже, метою розрахунку є:

- визначення величини надходження вологи до дорожньої конструкції при розтаванні ґрунту земляного полотна та дорожнього одягу за двома різними методиками: [16] та [24, 25, 26] з метою обґрунтування чи спростування доцільності застосування точного методу розрахунку і оцінки ступеню виливу вологи від розтавання на загальне значення кількості вологи;
- розрахунок величини надходження інфільтраційної вологи у період з додатними температурами та визначення розрахункового (найбільш несприятливого) періоду шляхом додавання величин надходження вологи протягом року від різних джерел за [16] та відповідно до [24, 25, 26];
- визначення необхідної товщини піщаного дренажного шару з використання однакових вихідних даних за різними методиками [16, 17, 25] та із застосуванням удосконаленої, на основі якої розроблена розрахункова інформаційно-аналітична система.

4.2. Вихідні дані для визначення параметрів поздовжнього дренажу мілкого закладення автомобільної дороги

Для можливості порівняння результатів, отриманих з використанням різних методик, необхідно визначитися із вихідними даними та характеристиками ділянки, на якій планується проектувати дренажну систему мілкого закладення.

Розглянемо ділянку дороги у Північній дорожньо-кліматичній зоні (Київська область, північна частина) [15] та третій тип місцевості [14] за характером зволоження (перезволожена ділянка з близьким заляганням ґрунтових вод).

Поздовжній похил на ділянці є незмінним за величиною та напрямком.

Поперечний переріз конструкції приймемо такий, як пропонується нам у діючій нормативній документації [16], для III технічної категорії (рисунок 2.2).

Узбіччя без трав'яного покриття, укріплене щебенем щільності близько 2180 кг/м^3 .

Припустимо у подальших розрахунках, що маємо крупнозернистий пісок для дренажного шару із коефіцієнтом фільтрації $K=19,94 \text{ м/добу}$.

Відповідно до рисунку 2.2, довжина шляху фільтрації становить 4 м, поперечний ухил ґрунтової основи – 2,5 %.

Похил узбіччя становить 3,5 %.

Дорожній одяг та земляне полотно:

- ґрунт земляного полотна – важкий суглинок;
- коефіцієнт фільтрації ґрунту земляного полотна – 0,04 м/доба;
- вологість на межі текучості ґрунту земляного полотна – 29 %;
- оптимальна вологість ґрунту земляного полотна – 18 %;
- повна вологоємність ґрунту земляного полотна – 31 %;
- середня за розрахунковий період вологість ґрунту – 27 %;
- щільність ґрунту в розрахунковий період – 1400 кг/м^3 ;
- конструкція дорожнього одягу:
 - а/б дрібнозернистий, $h_1 = 4 \text{ см}$;
 - а/б крупнозернистий, $h_2 = 8 \text{ см}$;
 - шар гранітного щебеню, $h_3 = 20 \text{ см}$;
 - підстильний шар основи з піску, $h_4 = 25 \text{ см}$ (призначається приблизно, уточнюється за результатами виконаних розрахунків).

4.3. Визначення величини надходження води при розтаванні дорожньої конструкції

У ході досліджень, які виконувались, у тому числі, і на замовлення Державного агентства автомобільних доріг України [110], було проведено

аналіз процесу розтавання дорожньої конструкції та надходження вологи, пов'язане із цим процесом.

Зокрема, при складанні програми моніторингу стану доріг загального користування, з метою оптимального вибору періоду для спостереження за деформаціями та руйнування покриттів, пов'язаними з несприятливим водно-тепловим режимом дорожньої конструкції, було, на основі статистики (додаток В) Українського гідрометеорологічного центру, проаналізовано процес розтавання дорожньої конструкції у різні роки [111, 112].

Для можливості виявлення кліматичних змін, було розглянуто 1981, 1991, 2001 та 2011 роки.

Зрозуміло, що ґрунт буде віддавати вологу до тих пір, поки не розмерзнеться повністю. Значення нормативної глибини промерзання можна розрахувати за формулою 2.35 або отримати з діючої нормативної бази [16].

Для Київської області воно складає від 90 см до 95 см [16].

Розрахунок виконаємо до повного розмерзання ґрунту на глибину його нормативного промерзання, починаючи зі встановлення стабільних додатних середньодобових температур повітря. Для 1981 року – з 18 березня, 1991 – з 1 березня, 2001 – з 3 березня, 2011 – з 12 березня.

Розраховані середні значення метеорологічної статистики наведено в таблицях Г.1 та Г.2.

Далі визначаємо спочатку товщину шару ґрунту активної зони, який розтає за кожен із розрахункових проміжків часу (формула 2.33), а потім – товщину шару ґрунту, в якому розтає лід за одну добу для кожної доби, як різницю між даними за наступний та попередній проміжки часу. Результати наведено в таблиці Г.3.

Зобразимо графічно процес розтавання ґрунту в часі (рисунки з 4.1 до 4.4).

Проаналізувавши результати розрахунків, можна зробити висновок, що ґрунт розтавав на розрахункову глибину за різні проміжки часу – від 87 діб до 109 діб, а початок розмерзання для кожного з років був різним.

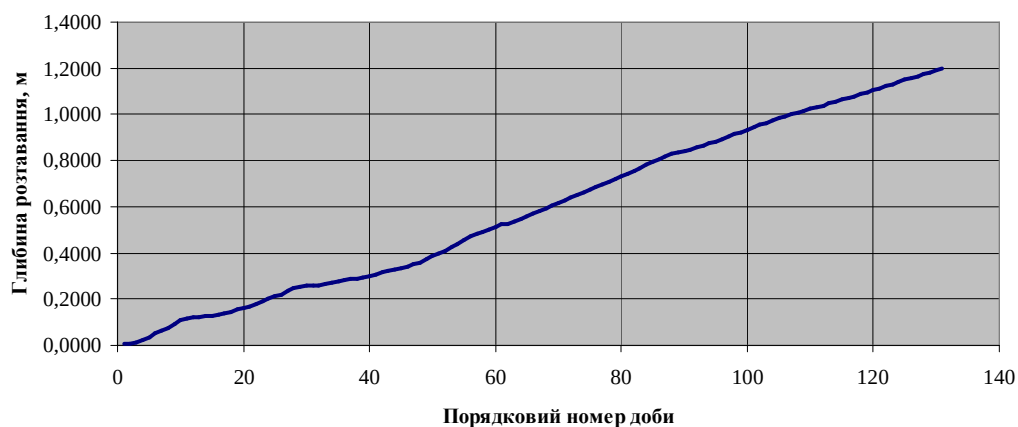


Рисунок 4.1 – Графік розтавання шару ґрунту протягом розрахункового періоду в 1981 році

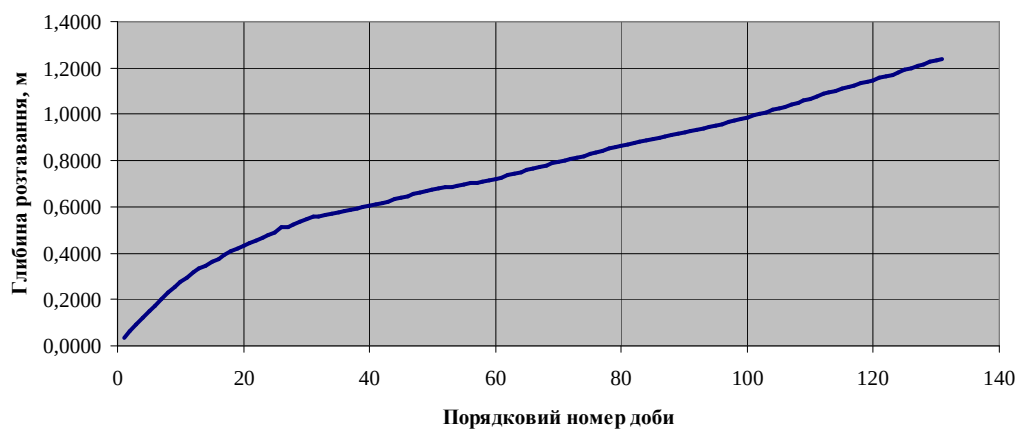


Рисунок 4.2 – Графік розтавання шару ґрунту протягом розрахункового періоду в 1991 році

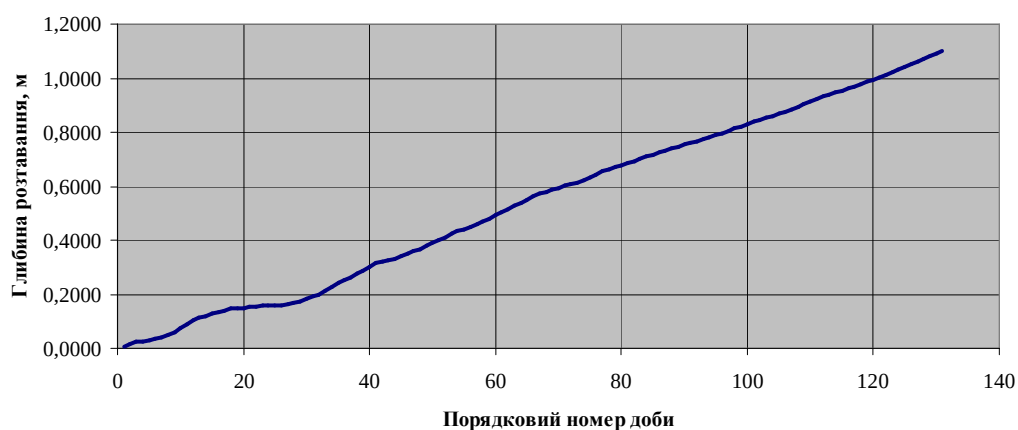


Рисунок 4.3 – Графік розтавання шару ґрунту протягом розрахункового періоду в 2001 році

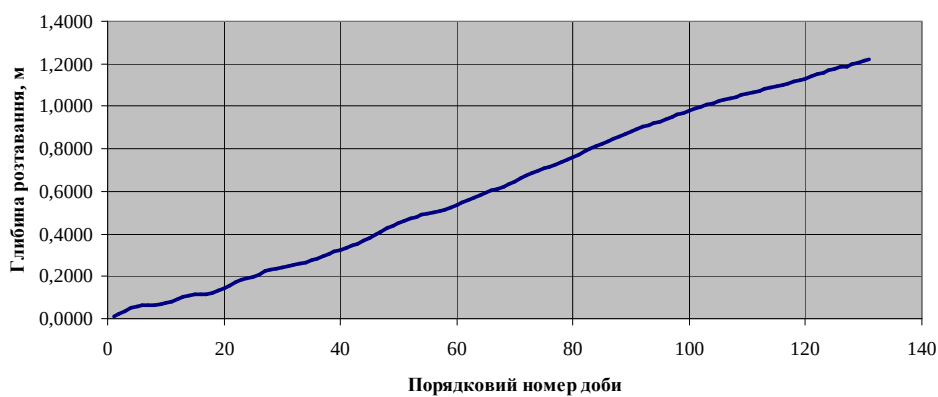


Рисунок 4.4 – Графік розтавання шару ґрунту протягом розрахункового періоду в 2011 році

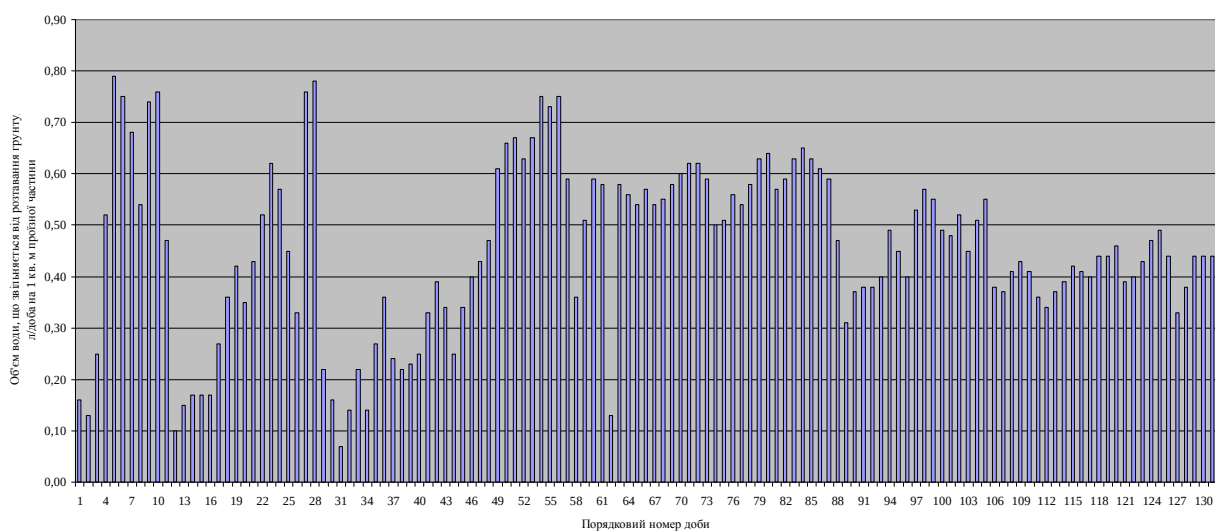


Рисунок 4.5 – Об'єм води, що звільняється при розтаванні ґрунту під проїзною частиною у 1981 році

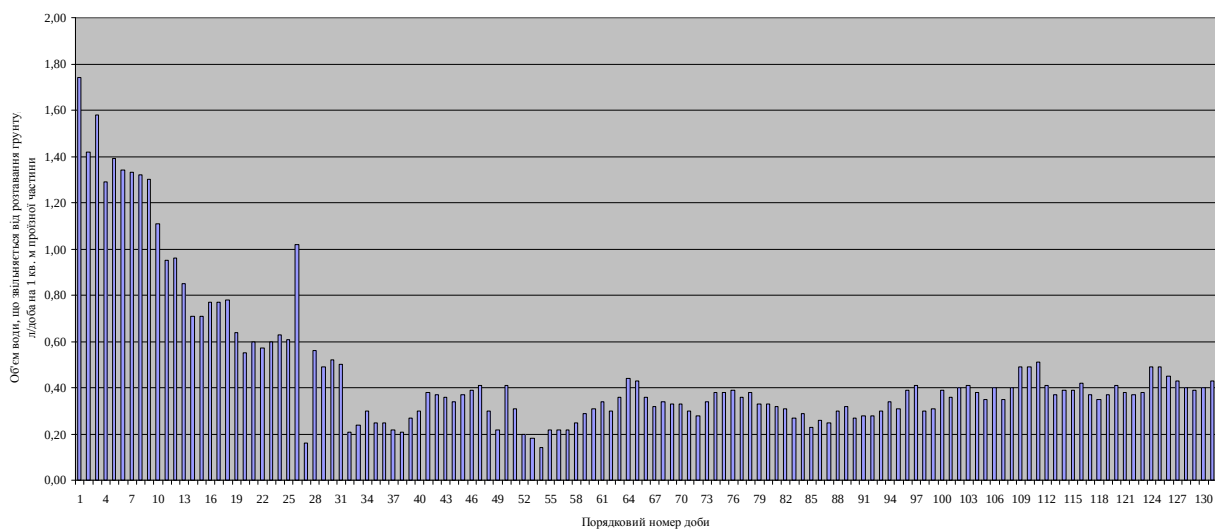


Рисунок 4.6 – Об'єм води, що звільняється при розтаванні ґрунту під проїзною частиною у 1991 році

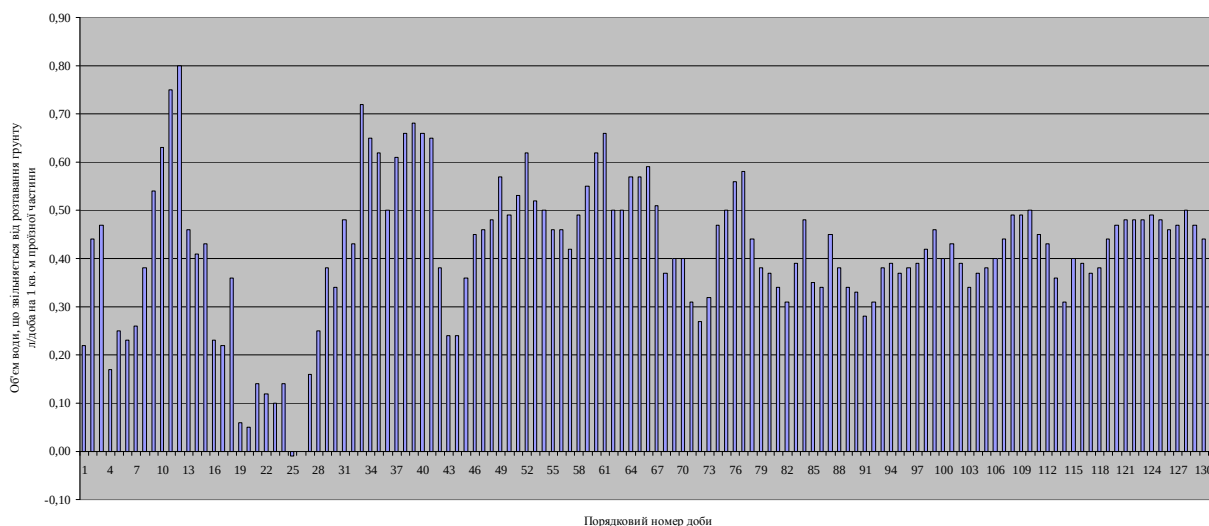


Рисунок 4.7 – Об'єм води, що звільняється при розтаванні ґрунту під проїзною частиною у 2001 році

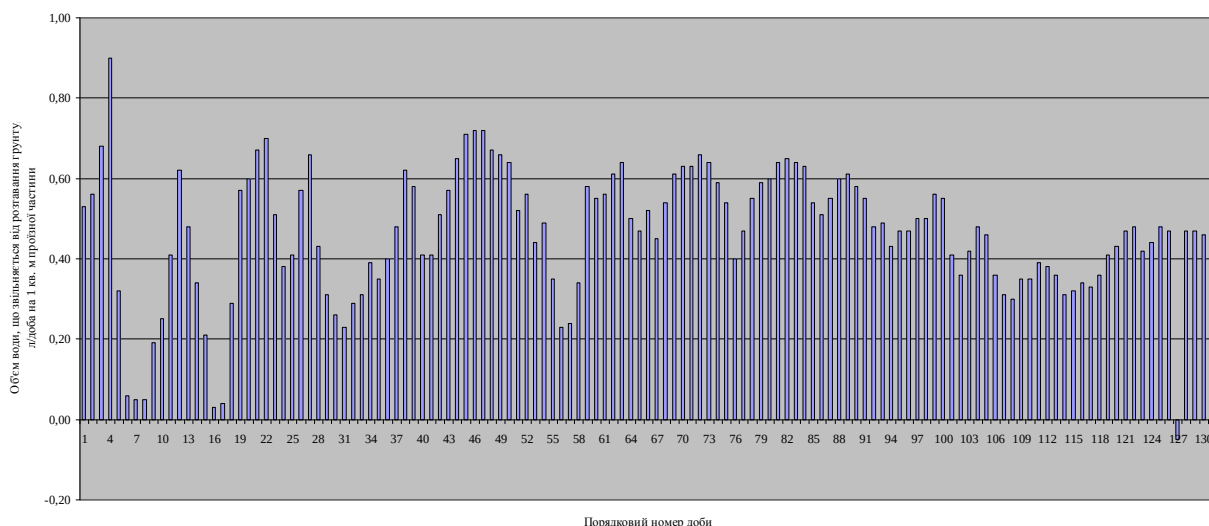


Рисунок 4.8 – Об'єм води, що звільняється при розтаванні ґрунту під проїзною частиною у 2011 році

Розрахуємо об'єм води, що звільняється при розтаванні ґрунту під проїзною частиною за залежністю 2.32.

Оскільки розрахунки проводимо з використанням фактичних даних погодних показників, коефіцієнти K_{Π} та K_{Γ} з формули 2.32 не враховуємо.

Результати розрахунку наведено у таблиці Г.4.

Для зручності порівняння результатів побудуємо діаграми (рисунки з 4.5 до 4.8).

Як показав розрахунок, фактична величина надходження води, що звільняється при розтаванні ґрунту під проїзною частиною в 1981, 2001 та 2011 роках не перевищувала 1 л/м^2 за добу, в 1991 році ця величина досягала позначки близько $1,8 \text{ л/м}^2$ за добу.

З проведених розрахунків можна зробити висновок, що волога, яка звільняється при розтаванні ґрунту під проїзною частиною не є визначальною при формуванні несприятливого водно-теплогового режиму земляного полотна.

Для перевірки сказаного вище слід виконати розрахунок кількості волого, яка надходить від інших джерел зволоження. У першу чергу – це інфільтраційна волога від розтавання снігу та льоду на узбіччях і розділювальній смузі та інфільтраційна волога від атмосферних опадів.

4.4. Визначення величини надходження інфільтраційної вологи протягом року

Відповідно до методики, описаної в підрозділі 2.4, розрахуємо величину надходження інфільтраційної вологи до дорожньої конструкції.

Скористаємося фактичними даними метеорологічної статистики, яка використовувалась при дослідженнях для складання програми обстеження доріг з метою розробки рекомендацій [110]. Дані статистики для 1981, 1991, 2001 та 2011 років наведені у Додатку В.

Виконаємо розрахунок для найбільш несприятливого з точки зору випадіння опадів місяця за роки спостережень. Для цього спочатку визначимо місяць з найбільш інтенсивним дощем за формулою 2.39. Результати розрахунків наведено на рисунках 4.9-4.12.

Як бачимо з діаграм, найбільш інтенсивні дощі пройшли:

у 1981 році – у липні з інтенсивністю $0,03578 \text{ мм/хв}$;

у 1991 році – у листопаді з інтенсивністю $0,05667 \text{ мм/хв}$;

у 2001 році – у березні з інтенсивністю $0,49611 \text{ мм/хв}$;

у 2011 році – у жовтні з інтенсивністю $0,42722 \text{ мм/хв}$.

Отже, як бачимо, найбільш інтенсивний дощ випав у березні 2001 року. Прийmemo цей період для розрахунку. Крім того, 3 березня є початком розмерзання дорожньої конструкції для 2001 року (підрозділ 4.3). Тобто, у зазначений період поєдналися два джерела зволоження дорожньої конструкції – інфільтрація від атмосферних опадів та волога, яка звільнилася при розтаванні шарів дорожнього одягу та робочої зони земляного полотна.

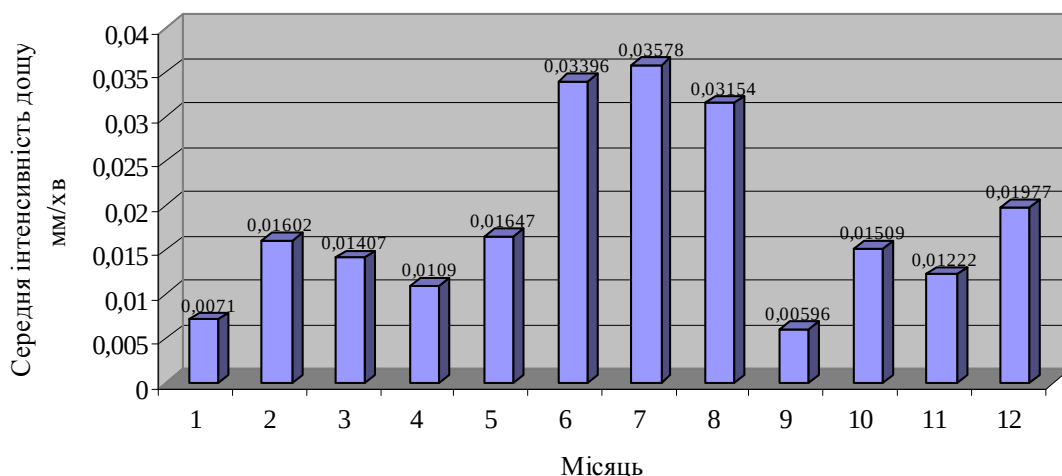


Рисунок 4.9 – Середня інтенсивність дощів у 1981 році

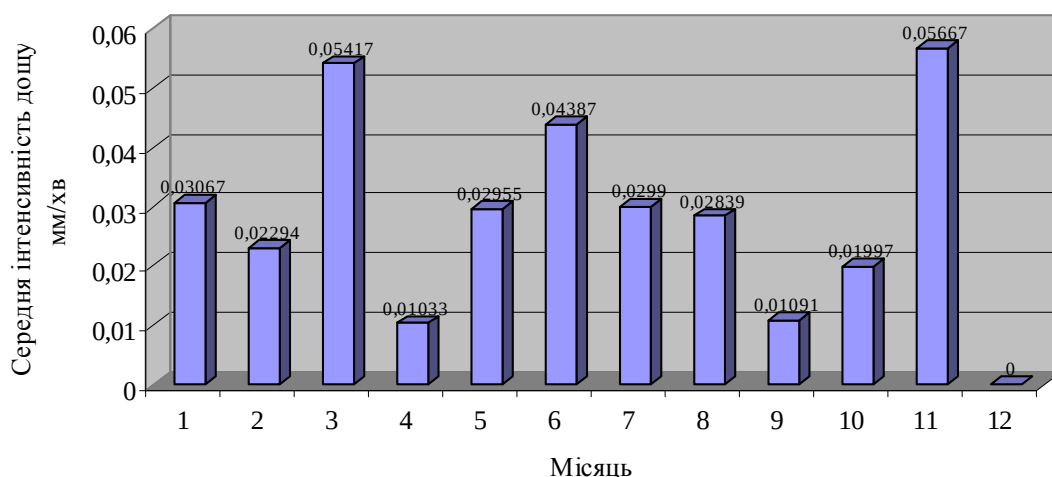


Рисунок 4.10 – Середня інтенсивність дощів у 1991 році

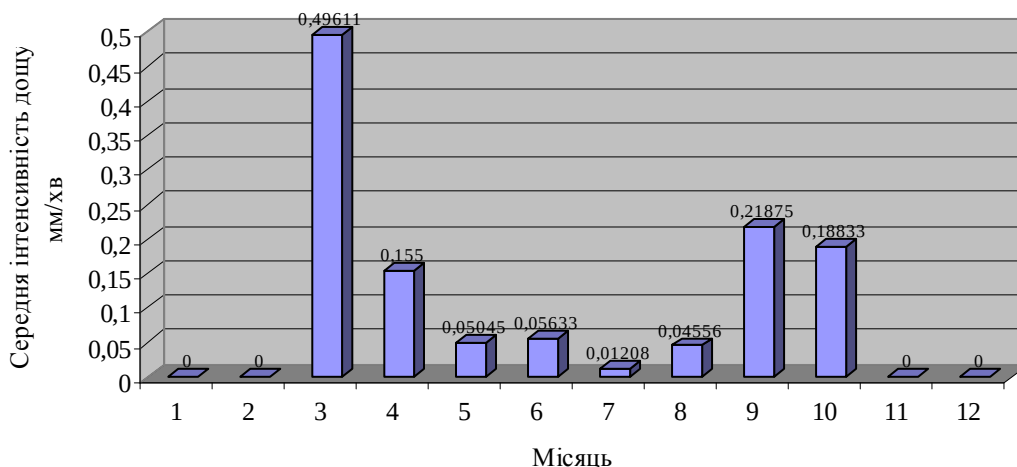


Рисунок 4.11 – Середня інтенсивність дощів у 2001 році

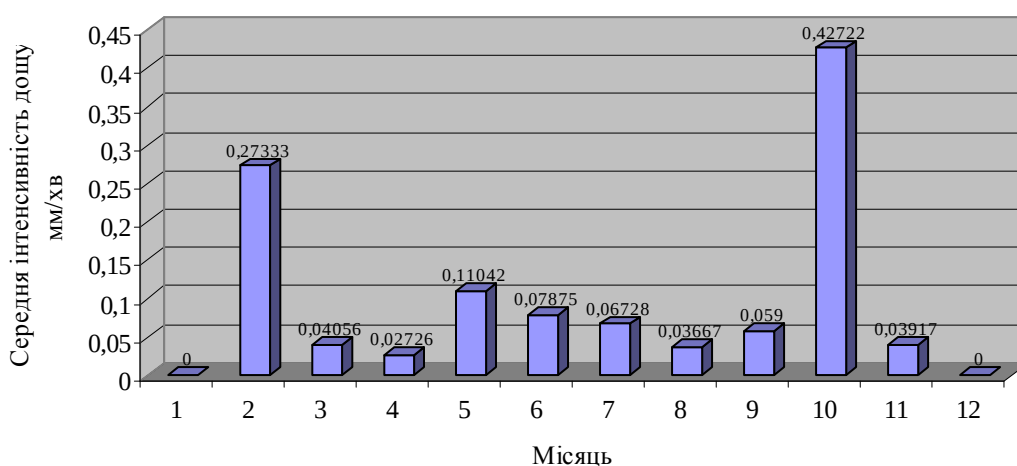


Рисунок 4.12 – Середня інтенсивність дощів у 2011 році

Розрахунковий період T' приймемо рівним 1 доби (1440 хв), оскільки в березні 2001 року розрахунковий дощ випав протягом 1 доби. Сумарна тривалість опадів протягом доби T_d становить 3 год (180 хв).

Дефіцит вологості повітря (дефіцит насиченості водяної пари) d у березні 2001 року становив 2,3 мбар.

Отже, величина змочування поверхні асфальтобетонного покриття становить:

$$H_{cm(0)} = 0,01 \cdot 1 \cdot \sqrt[3]{2,3 \cdot \frac{1440 - 180}{1}} = 0,14257 \text{ (мм)}.$$

Оскільки $H_{\text{см}(0)}=0,14257 \text{ мм} < i_{\text{д}} \cdot T_{\text{д}}=89,2998 \text{ мм}$, відбувається проникнення опадів у покриття.

Визначимо середню тривалість проникання вологи в покриття за один дощ за формулою 2.41:

$$t_{\text{вп}(0)} = \frac{0,49611 \cdot 180 - 0,14257}{0,49611 \cdot 1} = 179,71262 \text{ (хв)}.$$

Кількість води, що проникає в покриття, буде становити (формула 2.42):

$$H_{\text{вп}(0)} = 0,013 \cdot 1 \cdot \ln(1 + 100 \cdot 0,49611) \cdot 10^{0,4 \ln 179,71262} = 6,08464 \text{ (мм)}.$$

Інтенсивність стоку з покриття розраховується за формулою 2.43:

$$i_{\text{ст}(0)} = 0,49611 - \frac{6,08454}{1 \cdot 179,71262} = 0,46225 \text{ (мм/хв)}.$$

Інтенсивність надходження води на узбіччя з урахуванням стоку з проїзної частини становить (формула 2.44):

$$i_{\text{пв}} = 0,49611 + 0,46225 \cdot \frac{4}{2} = 1,42061 \text{ (мм/хв)}.$$

Далі розрахуємо величину змочування поверхні узбіч за формулою 2.45:

$$H_{\text{см}} = 0,04 \cdot 1 \cdot \sqrt[3]{2,3 \cdot \frac{1440 - 180}{1}} = 0,57029 \text{ (мм)}.$$

Оскільки $H_{\text{см}}=0,57029 \text{ мм} < i_{\text{пв}} \cdot T_{\text{д}}=255,7098 \text{ мм}$, відбувається проникнення води у ґрунтові узбіччя.

Визначимо коефіцієнт проникнення в ґрунт земляного полотна, який характеризує інтенсивність проникнення води у ґрунт земляного полотна залежить від характеристик ґрунту (формула 2.46):

$$C = 6000 \cdot \frac{\sqrt[3]{0,04}}{29^2} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{18}{31}}\right) + 30 \cdot 0,04 = 1,7807.$$

Далі, з урахуванням коефіцієнту проникнення в ґрунт земляного полотна, визначається інтенсивність проникнення води в узбіччя. Оскільки у нашому випадку $i_{\text{пв}} > 0,02 \cdot C$, використовуємо другу частину системи рівнянь 2.47:

$$i_{\text{вп}} = 1,7807 \cdot \left(0,02 + 10^{0,02 + 0,68 \cdot \lg \frac{0,11}{1,68}}\right) = 0,32771 \text{ (мм/хв)}.$$

Кількість води, що просочується в узбіччя розраховується за залежністю 2.49:

$$H_{\text{вп}} = 0,4 \cdot 0,32771 \cdot \left[180 - \left(\frac{0,14257}{0,49611} - \frac{0,57029 - 0,14257}{1,42061}\right)\right] = 23,59692 \text{ (мм)}.$$

Інтенсивність випаровування води з узбіч при вологості ґрунту, більшій за оптимальну, становить (формула 2.50):

$$i_u = 25 \cdot 10^{-5} \cdot 2,3 \cdot \lg\left(1 + \frac{80}{2,3}\right) \cdot (1 + 0,15 \cdot 2,5871) = 0,00124 \text{ (мм/хв)}.$$

У даному випадку, оскільки розрахунок виконується для першого весняного місяця, було прийнято $E - e = d$.

Кількість води, що випаровується з узбіч за розрахунковий період, визначають з рівняння 2.51:

$$H_u = 0,35 \cdot 0,00124 \cdot (1440 - 180) = 0,54684 \text{ (мм)}.$$

Визначаємо величини надходження води в конструкцію дорожнього одягу за формулами 2.52 та 2.53:

а) через покриття:

$$q_0 = \frac{1,5 \cdot 6,08464}{500 \cdot 1} = 0,01825 \text{ (м}^3\text{/добу на 1 м}^2\text{)};$$

б) через узбіччя:

$$q = \frac{1,5 \cdot (23,59692 - 0,54684)}{500 \cdot 1} = 0,06915 \text{ (м}^3\text{/добу на 1 м}^2\text{)}.$$

Отже, при такому інтенсивному дощі величини надходження води до дренажної конструкції через поверхні проїзної частини та узбіччя будуть становити відповідно 18,25 л/добу на 1 м² та 69,15 л/добу на 1 м².

4.5. Визначення загальної розрахункової величини надходження води в дорожню конструкцію

Відповідно до [16], об'єм води, що надходить до основи буде становити 5 л/(м²·доба).

З урахуванням неусталеного режиму припливу води через нерівномірне розтавання та випадіння атмосферних опадів, пониження фільтруючої спроможності дренажного шару в процесі експлуатації дороги:

$$Q_{\text{заг}} = 11,05 \text{ л/(м}^2\text{·доба)} \text{ або } 0,01105 \text{ м}^3\text{/(м}^2\text{·доба)}.$$

Відповідно ж до виконаних у підрозділі 4.4 розрахунків, лише від інфільтрації через покриття величина надходження води може досягати

18,25 л/(м²·доба). Через узбіччя надійде у більше ніж у 3,5 разів більше води, ніж через покриття – 69,15 л/(м²·доба).

Крім того, відповідно до підрозділу 4.3, саме на березень у 2001 році припав пік надходження води від розтавання дорожньої конструкції. За рахунок цього загальна величина зволоження збільшиться ще на 0,8 л/(м²·доба).

Як бачимо, коефіцієнти, які використовуються у нормативних документах для врахування нерівномірності випадіння опадів, не забезпечують достатнього запасу при проектуванні дренажу.

Значну різницю розрахованих величин за різними методиками видно на рисунку 4.13.

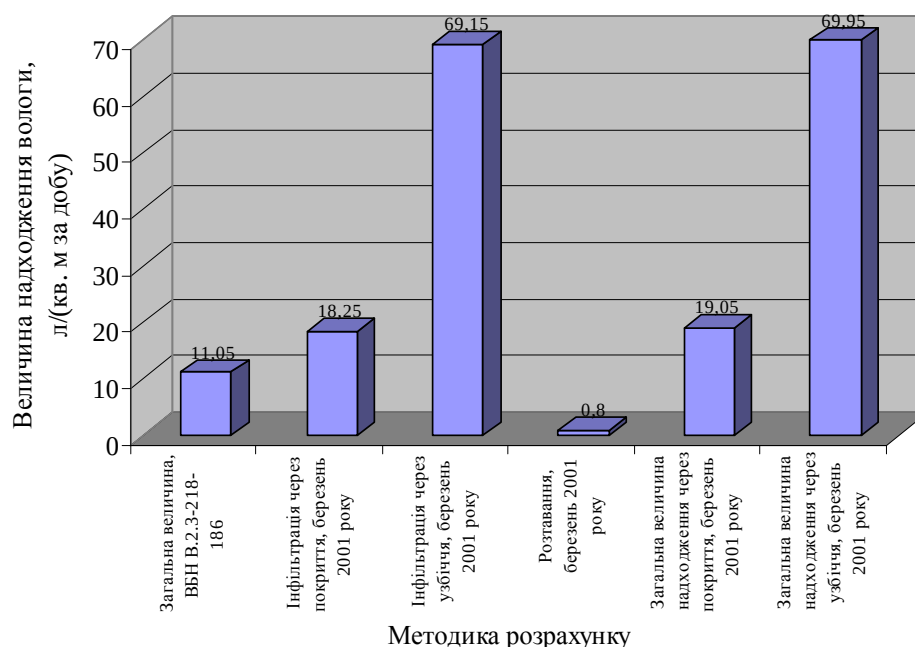


Рисунок 4.13 – Порівняння результатів розрахунку величини надходження води до дорожньої конструкції за різними методиками

4.6. Розрахунок параметрів піщаного дренажного шару поздовжньої дренажної системи мілкового закладення автомобільної дороги

Виконаємо ще одне порівняльне дослідження, а саме: розрахуємо товщину піщаного дренажного шару дренажної конструкції мілкового закладення, який працює за принципом осушення.

Основну вихідну величину, розрахунковий об'єм води, що надходить до основи, приймемо відповідно до діючих нормативів, для можливості порівняння результатів розрахунків за різними методиками.

Крім того, розрахуємо товщину піщаного дренажного шару за розробленою удосконаленою методикою, виходячи із розрахованих величин надходження вологи відповідно до статистики 2001 року, коли спостерігався дощ великої інтенсивності та на протязі короткого проміжку часу випала значна кількість опадів.

Розрахуємо також окремо товщини дренажних шарів, необхідні для ефективного відведення розрахункової кількості вологи у межах проїжджої частини та узбіччя з метою перевірки гіпотези, що для економії матеріалу доцільно влаштовувати дренажний шар у межах проїжджої частини меншої товщини, ніж у межах узбіч.

Згідно з [16, 17, 25], повна товщина дренажного шару, який працює за принципом осушення, визначається за формулою 2.65.

При використанні піску з коефіцієнтом фільтрації $K=19,94$ м/добу додаткова товщина шару, що залежить від капілярних властивостей матеріалу $h_{\text{зап}}$ буде становити від 0,10 м до 0,12 м. Приймаємо 0,12 м.

Визначимо товщину шару, повністю насиченого водою $h_{\text{нас}}$.

Відповідно до [16], $h_{\text{нас}}$ буде становити приблизно 0,05 м (наведена методика не дає змоги виконати точний розрахунок).

Отже, згідно з [16], h_p складе 0,17 м.

Виконаємо розрахунок за іншою діючою методикою [25]. Значення h_p та $h_{\text{зап}}$ розраховуються за залежністю 2.65 та аналогічно попередньому випадку відповідно.

Розрахуємо величину $h_{\text{нас}}$ за формулою 2.66:

$$C_{\text{зв.}} = \frac{0,01105}{19,94} = 0,00055, \quad a = \sqrt{0,00055 - \left(\frac{0,025}{2}\right)^2} = 0,01984,$$

$$h_{\text{нас}} = 4 \cdot \left(\sqrt{\left(\frac{0,05}{4}\right)^2 - i \cdot \left(\frac{0,05}{4}\right) + 0,00055} \right) \cdot \exp \left[-\frac{0,025}{2 \cdot 0,01984} \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \arctg \frac{\frac{0,05}{4} - \frac{0,025}{2}}{0,01984} \right) \right] = 2,98 \text{ (см)} \approx 3,0 \text{ (см)}.$$

З результатами розрахунку отримали $h_{\text{нас}} \approx 3,0 \text{ (см)}$.

Отже, h_p відповідно до [25] складе приблизно 0,15 м.

Виконаємо перевірку умов достатності товщини дренуючого шару, який розраховують за методом осушення, для тимчасового розміщення кількості води Q , що накопичується в шарі за час запізнення $T_{\text{зап}}$ початку роботи водовідвідних споруд (у Північній зоні $T_{\text{зап}}$ становить від 4 до 6 діб).

Кількість води, що повинна розміститися у вільних порах, визначають за залежністю 2.63 [16].

Виконаємо розрахунок на період розмерзання поперечних випусків $t = T_{\text{зап}} = 5$ діб:

$$Q = 11,05 \cdot 5 = 55,25 \text{ (л/м}^2\text{)}.$$

Відповідно до [16], для піску різної пористості товщина дренуючого шару повинна становити приблизно від 18 см до 68 см.

Оскільки методика, наведена в [25], дає можливість точного визначення товщини насиченого водою шару, виконаємо розрахунок за формулою 2.64.

Скористаємося для отримання величин q_3 та q_2 (їх різниці) даними, наведеними у [19]. Для крупнозернистого піску при третьому типі місцевості за характером зволоження у Північній дорожньо-кліматичній зоні (II зона за класифікацією СРСР [99]):

$$(q_3 - q_2) = 1,9 \text{ л/м}^2.$$

Відповідно до виконаних розрахунків, $h_{\text{нас}} \approx 29$ (см).

Тобто, початковий рівень води після розмерзання поперечних випусків (на початку осушення дренажного шару) буде становити 0,29 м. З урахуванням $h_{\text{зап}}$ товщина дренажного шару становитиме 0,41 м.

Далі, виконаємо розрахунок товщини піщаного дренажного шару за удосконаленою методикою з використанням залежностей 2.72, 2.75, 2.76 та розробленої інформаційно-аналітичної системи.

Відповідно до [19], у випадку осушення дренажного шару трубчатими дренами h_2 зазвичай не перевищує 0,05 м.

Коефіцієнт водовіддачі μ для крупнозернистих пісків становить від 0,25 до 0,30, приймаємо – 0,27 [113].

Відповідно до рисунка 2.2, дрена розміщена під кромкою покриття на межі сполучення укріпленої по типу проїзної частини смуги узбіччя з його іншою частиною, тому величина надходження води по довжині фільтрації від осі дороги до дрени є незмінною.

У нашому випадку похил основи під піщаним шаром у межах узбіччя має зворотній напрямок у сторону дрени, тому цю частину конструкції можна розглядати окремо зі своєю кривою депресії та обов'язково враховуючи це надходження води при підборі діаметру дренажної труби.

Проте, враховуючи, що метою дослідження є вирішення інших задач, та беручи до уваги відсутність нормативних даних про величини надходження інфільтраційної води окремо через покриття проїзної частини та конструкцію узбіччя, вважатимемо задані у нормативах величини дійсними у межах проїзної частини та у подальшому розглядатимемо, як розрахункову, частину рисунку 2.2 між віссю дороги та кромкою покриття.

Задамо 6 груп вихідних даних (рисунки Д.1 та Д.2):

1. Ділянка фільтрації довжиною фільтрації 4 м у межах покриття з величиною надходження води 11,05 л/(м²·доба) та початковим рівнем води 0,29 м.

2. Ділянка фільтрації довжиною фільтрації 4 м у межах покриття з величиною надходження води 11,05 л/(м²·доба) та початковим рівнем води 0 м.

3. Ділянка фільтрації довжиною фільтрації 4 м у межах покриття з величиною надходження води 19,05 л/(м²·доба) та початковим рівнем води 0,29 м.

4. Ділянка фільтрації довжиною фільтрації 4 м у межах покриття з величиною надходження води 19,05 л/(м²·доба) та початковим рівнем води 0 м.

5. Ділянка фільтрації довжиною фільтрації 2 м у межах узбіччя з величиною надходження води 69,95 л/(м²·доба) та початковим рівнем води 0,29 м.

6. Ділянка фільтрації довжиною фільтрації 2 м у межах узбіччя з величиною надходження води 69,95 л/(м²·доба) та початковим рівнем води 0 м.

Розроблена комп'ютерна програма дає змогу будувати тривимірні графіки зміни величин u , q_l та Q_t по довжині та в часі.

Проаналізуємо результати розрахунків (додаток Д) на прикладі параметру u для кожного із шести варіантів вихідних даних.

Варіант 1

Як видно з рисунку 4.14 та таблиці Д.1, при умові надходження води протягом доби з інтенсивністю 11,05 л/(м²·доба), рівень води буде поступово зростати:

- на контурі труби він збільшиться від 0,291 м до 0,331 м;
- по осі дороги – від 0,221 м до 0,261 м.

Тобто, рівень води в піщаному шарі за добу підніметься на 0,04 м і на контурі труби становитиме 33,1 см.

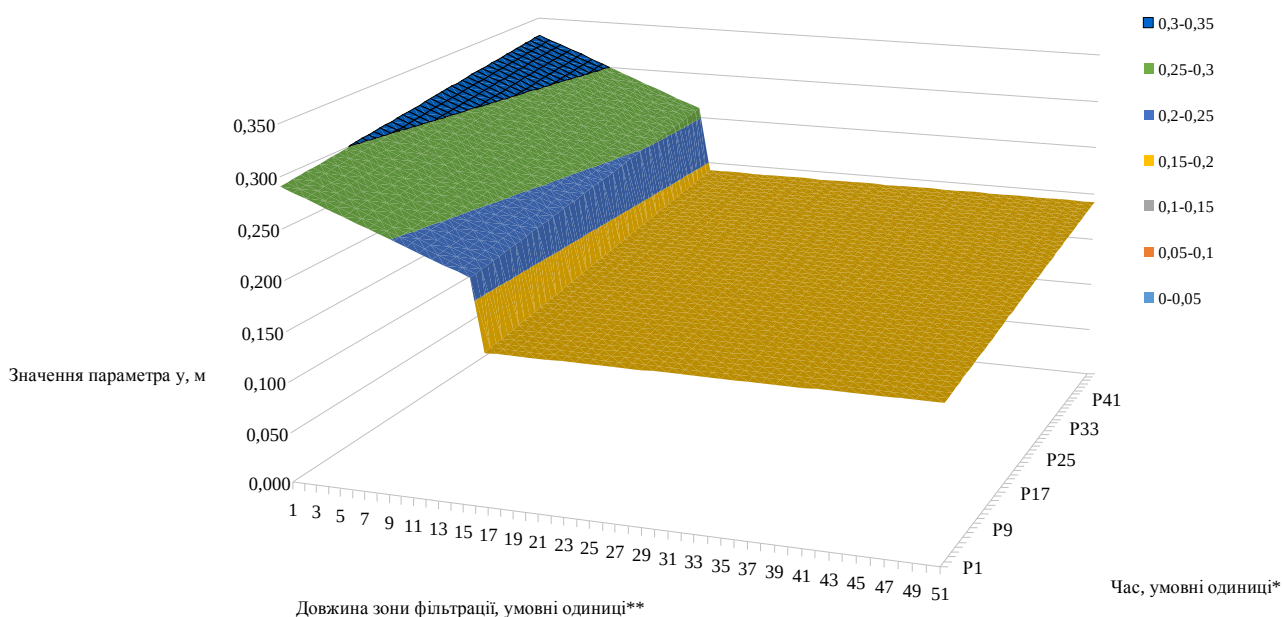


Рисунок 4.14 – Діаграма зміни товщини шару води у дренаючому шарі з часом та по ширині з наявністю початкового рівня води (варіант 1):

* – значенням на осі відповідають такі параметри часу:

P0 – 0 с;

P46 – 86400 с;

** – для можливості проведення універсальних розрахунків з використанням різних параметрів ширини зони фільтрації у розрахунковій програмі використано адаптивну вісь, яка відповідає ширині зони фільтрації, зі змінною ціною поділки (таблиця 4.1: верхній рядок – позначення на осі, нижній – відстань в метрах).

Таблиця 4.1 – Величини на шкалі осі «Довжина зони фільтрації» при виконанні розрахунку для зони фільтрації у межах покриття

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0,267	0,533	0,8	1,067	1,333	1,6	1,867	2,133	2,4	2,667	2,933	3,2	3,467	3,733	4

Варіант 2

Виконаємо розрахунок для таких же умов зволоження та параметрів конструкції, але при початковому рівні води в піщаному шарі, рівному нулю, тобто коли при відкритих випусках починає надходити волога до конструкції.

Результати розрахунків наведено на рисунку 4.15 та у таблиці Д.2.

На контурі дрени рівень води зміниться від 0 м до 0,041 м протягом доби.

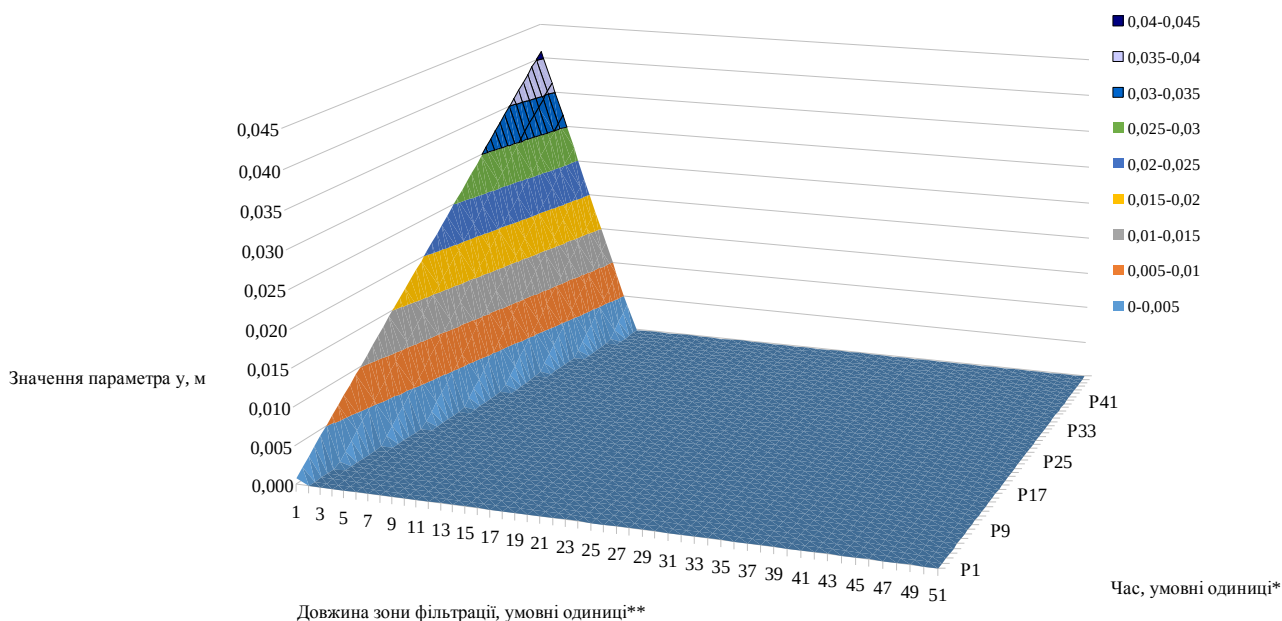


Рисунок 4.15 – Діаграма зміни товщини шару води у дренаючому шарі з часом та по ширині (варіант 2)

Далі виконаємо розрахунок зміни товщини шару води у піщаному дренаючому прошарку, виходячи з величини надходження вологи для березня 2001 року.

У межах покриття ця величина складала $19,05 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{доба})$, у межах узбіччя – $69,95 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{доба})$. Виконаємо розрахунок окремо для узбіччя і покриття, з урахуванням початкового рівня води, рівного 0,29 м, і без нього.

Варіант 3

При умові зволоження конструкції у межах проїзної частини $19,05 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{доба})$ з початковим рівнем води 0,29 м рівень води буде поступово зростати (рисунок 4.16 та таблиця Д.3):

- на контурі труби він збільшиться від 0,291 м до 0,361 м;
- по осі дороги – від 0,222 м до 0,291 м.

Тобто, рівень води в піщаному шарі за добу підніметься на 0,07 м і на контурі труби становитиме 36,1 см.

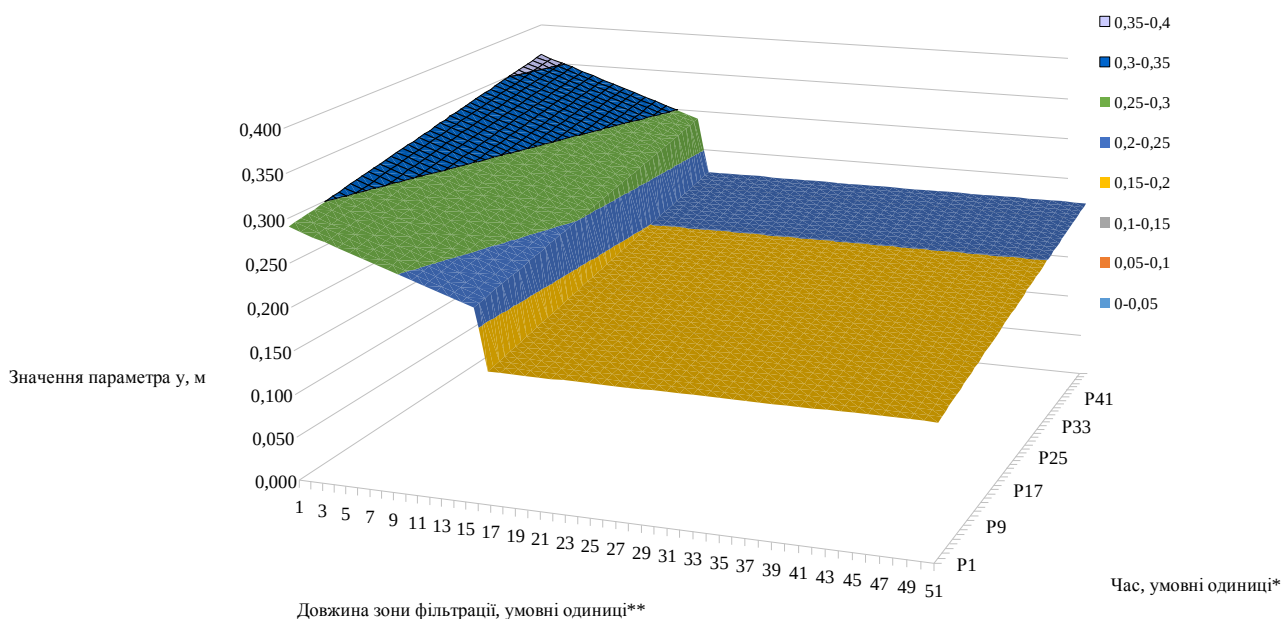


Рисунок 4.16 – Діаграма зміни товщини шару води у дренаючому шарі з часом та по ширині з наявністю початкового рівня води (варіант 3)

Варіант 4

При умові зволоження конструкції у межах проїзної частини $19,05 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{доба})$ з початковим рівнем води 0 м рівень води на контурі дрени зміниться від 0 м до 0,071 м протягом доби (рисунок 4.17 та таблиця Д.4).

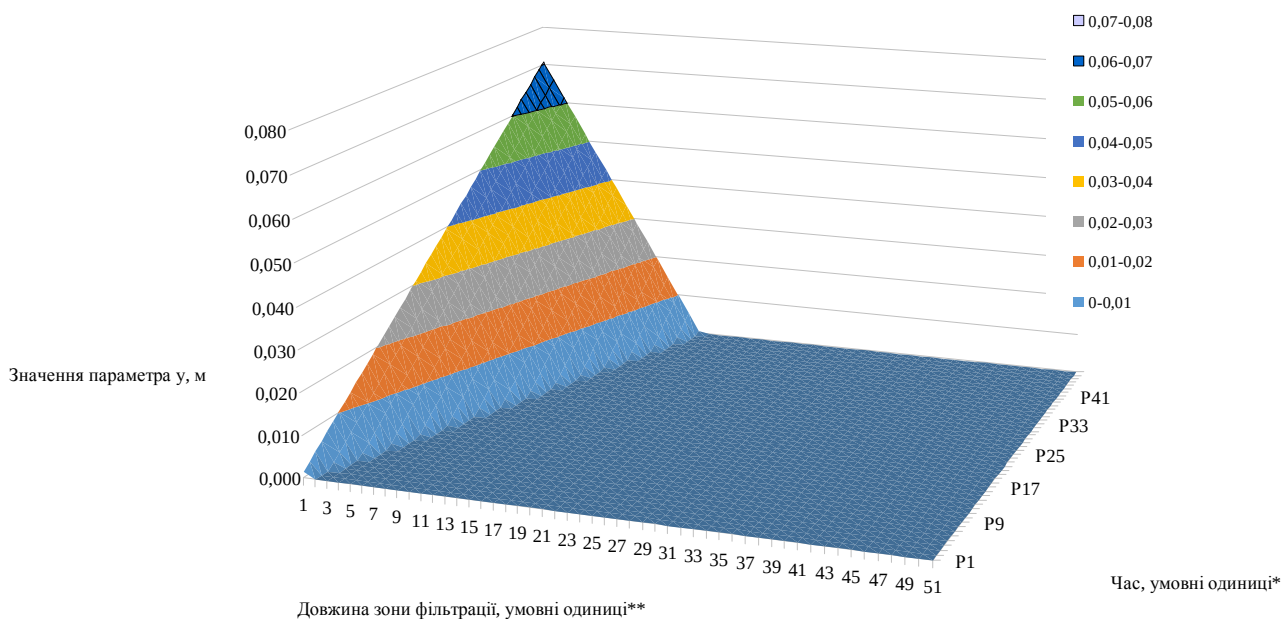


Рисунок 4.17 – Діаграма зміни товщини шару води у дренаючому шарі з часом та по ширині (варіант 4)

Варіант 5

При умові зволоження конструкції у межах узбіччя $69,95 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{доба})$ з початковим рівнем води $0,29 \text{ м}$ рівень води буде поступово зростати (рисунки 4.18 та таблиця Д.5):

- на контурі труби він збільшиться від $0,295 \text{ м}$ до $0,549 \text{ м}$;
- по осі дороги – від $0,260 \text{ м}$ до $0,514 \text{ м}$.

Тобто, рівень води в піщаному шарі за добу підніметься на $0,254 \text{ м}$ і на контурі труби становитиме $54,9 \text{ см}$.

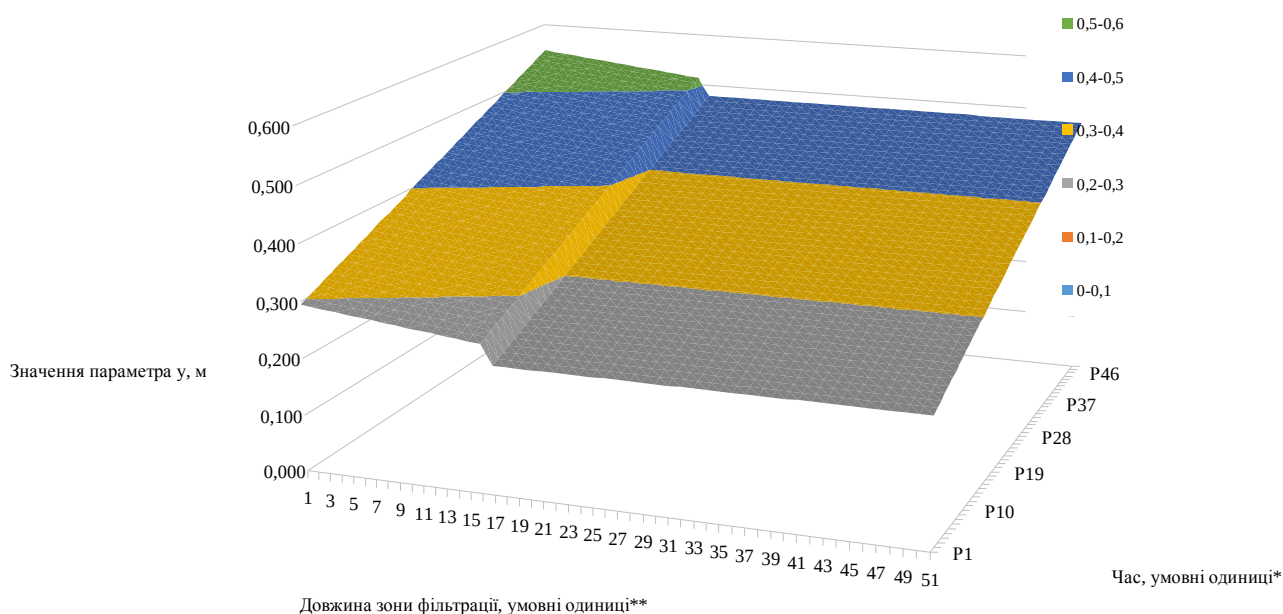


Рисунок 4.18 – Діаграма зміни товщини шару води у дренажному шарі з часом та по ширині з наявністю початкового рівня води (варіант 5)

Адаптивна вісь для узбіччя матиме наступні параметри:

Таблиця 4.2 – Величини на шкалі осі «Довжина зони фільтрації» при виконанні розрахунку для зони фільтрації у межах узбіччя

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0,133	0,267	0,4	0,533	0,667	0,8	0,933	1,067	1,2	1,333	1,467	1,6	1,733	1,867	2

Варіант 6

При умові зволоження конструкції у межах узбіччя $69,95 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{доба})$ з початковим рівнем води 0 м рівень води на контурі дрени зміниться від 0 м до 0,259 м протягом доби (рисунок 4.19 та таблиця Д.6).

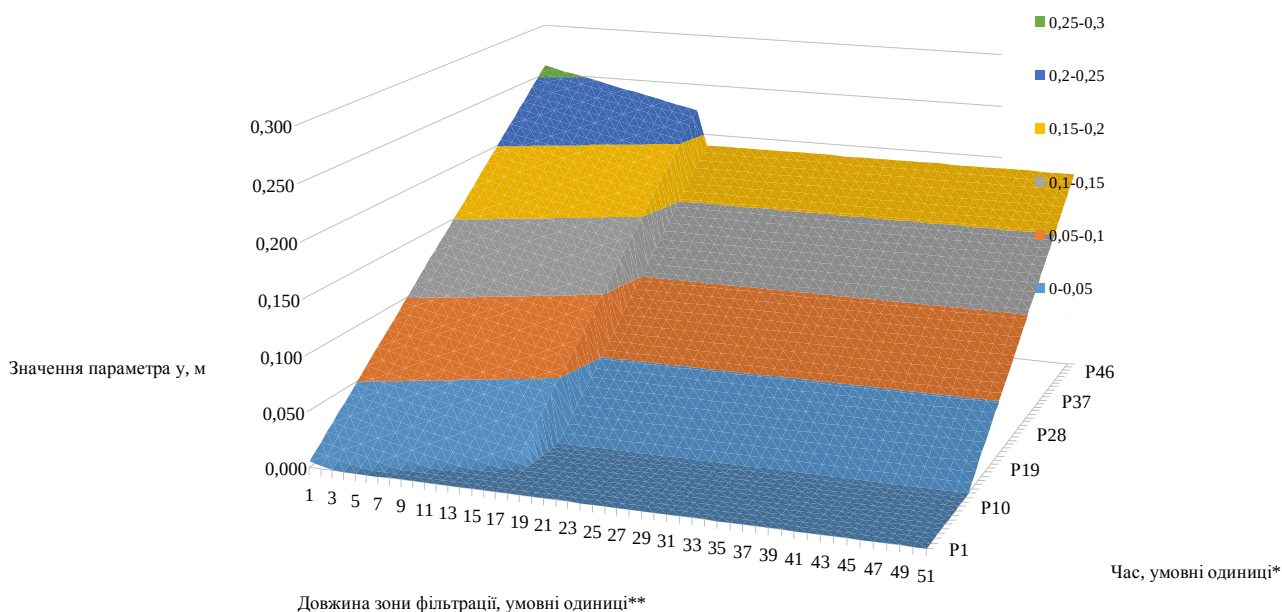


Рисунок 4.19 – Діаграма зміни товщини шару води у дренуючому шарі з часом та по ширині (варіант 6)

Порівняння результатів розрахунків наведено на рисунку 4.20. З діаграми видно наступне:

- наявність початкового рівня води (варіанти 1, 3 та 5) суттєво впливає на загальну величину рівня води, чим не можна нехтувати при проектуванні;
- значення рівня води, отримані на основі величин надходження вологи, які регламентуються нормативними документами, є значно нижчими за ті, які спостерігаються при випадінні значних кількостей опадів;
- через поверхню узбіч надходить до конструкції значно більше води від атмосферних опадів, ніж через поверхню покриття. Відповідно, рівень води є вищим, тому доцільно піщаний дренуючий шар дренажної системи мілкового закладення у межах узбіч влаштовувати більшої товщини, ніж у межах покриття.

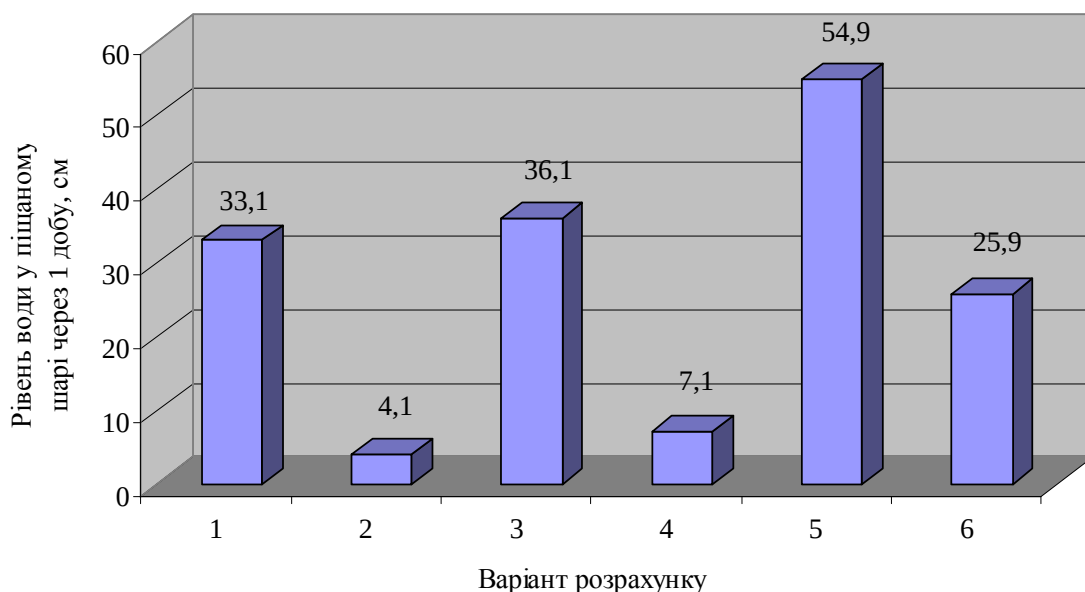


Рисунок 4.20 – Порівняння результатів розрахунку зміни рівня води у піщаному дренажному шарі при різних умовах зволоження протягом 1 доби:

1. Ділянка фільтрації довжиною фільтрації 4 м у межах покриття з величиною надходження вологи $11,05 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{доба})$ та початковим рівнем води 0,29 м.

2. Ділянка фільтрації довжиною фільтрації 4 м у межах покриття з величиною надходження вологи $11,05 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{доба})$ та початковим рівнем води 0 м.

3. Ділянка фільтрації довжиною фільтрації 4 м у межах покриття з величиною надходження вологи $19,05 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{доба})$ та початковим рівнем води 0,29 м.

4. Ділянка фільтрації довжиною фільтрації 4 м у межах покриття з величиною надходження вологи $19,05 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{доба})$ та початковим рівнем води 0 м.

5. Ділянка фільтрації довжиною фільтрації 2 м у межах узбіччя з величиною надходження вологи $69,95 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{доба})$ та початковим рівнем води 0,29 м.

6. Ділянка фільтрації довжиною фільтрації 2 м у межах узбіччя з величиною надходження вологи $69,95 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{доба})$ та початковим рівнем води 0 м.

4.7. Практичні аспекти застосування результатів розрахунків у конструкції дорожнього одягу ділянки автомобільної дороги Н-01 Київ – Знам'янка у Київській області

Розрахуємо конструкцію дорожнього одягу для ділянки автомобільної дороги III категорії, яка проходить по території Київської області, та відзначається наявністю щорічних руйнувань і деформацій у період перезволоження конструкції.

Товщини шарів дорожнього одягу приймемо відповідно до підрозділу 4.2. Змінюватимуться лише параметри піщаного дренажного шару, влаштування якого пропонується з метою покращення водно-теплого режиму. Необхідною умовою є дотримання вимог [16] щодо мінімального потрібного модуля пружності дорожнього одягу капітального типу дороги III технічної категорії, який повинен бути не менше 225 МПа. Метою розрахунку є не підбір оптимальної конструкції з точки зору міцності, а оцінка збільшення (або зменшення) вартості конструкції у зв'язку із влаштуванням ефективного дренажного шару, розрахованого за новим методом, при інших рівних умовах.

Запропонуємо чотири конструкції піщаного дренажного шару робочої зони земляного полотна (варіанти конструкцій поперечного перетину дороги зображені на рисунках 4.21 (варіанти 1-3) та 4.22 (варіант 4)):

1. На всю ширину земляного полотна з виходом на укіс та незмінною товщиною по ширині поперечного перетину – 17 см (відповідно до [16], розрахунок за методом осушення, підрозділ 4.6).

2. На всю ширину земляного полотна з виходом на укіс та незмінною товщиною по ширині поперечного перетину – 15 см (відповідно до [25], розрахунок за методом осушення, підрозділ 4.6).

3. На всю ширину земляного полотна з виходом на укіс та незмінною товщиною по ширині поперечного перетину – 41 см (відповідно до [25], розрахунок за методом поглинання, підрозділ 4.6).

4. На всю ширину земляного полотна з виходом на укіс та різною товщиною піщаного шару у межах проїзної частини та узбіч – 36 см та 55 см відповідно (згідно з даними, розрахованими за удосконаленим методом, підрозділ 4.6).

Конструкції дорожніх одягів у межах проїзної частини та узбіч для різних варіантів конструкцій піщаного дренуючого шару зображені на рисунках 4.23 (проїзна частина) та 4.24 (узбіччя).

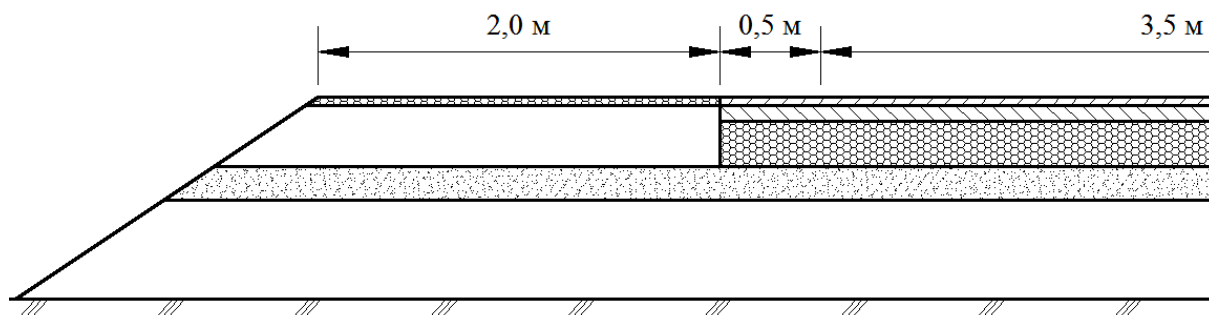


Рисунок 4.21 – Конструкція поперечного перетину дороги варіантів 1-3

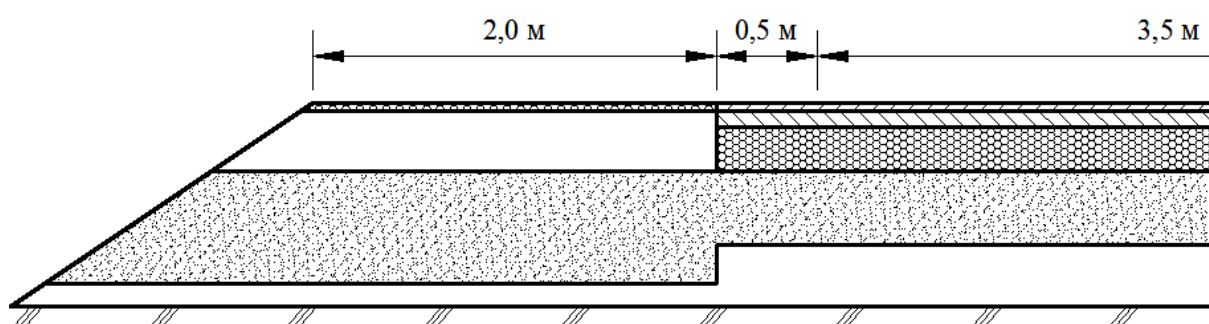


Рисунок 4.22 – Конструкція поперечного перетину дороги варіанту 4

Як бачимо з рисунків 4.21 та 4.22, для варіантів дорожнього одягу проїзної частини та узбіч від 1 до 3 маємо незмінну по ширині товщину піщаного дренуючого шару. У залежності від обраного методу розрахунку зазначена товщина може бути від 15 см до 41 см.

Товщина ж піщаного шару для варіанту 4 є різною у межах проїзної частини та неукріпленої частини узбіч, що пов'язано з різними величинами зволоження зазначених конструктивних елементів дороги.

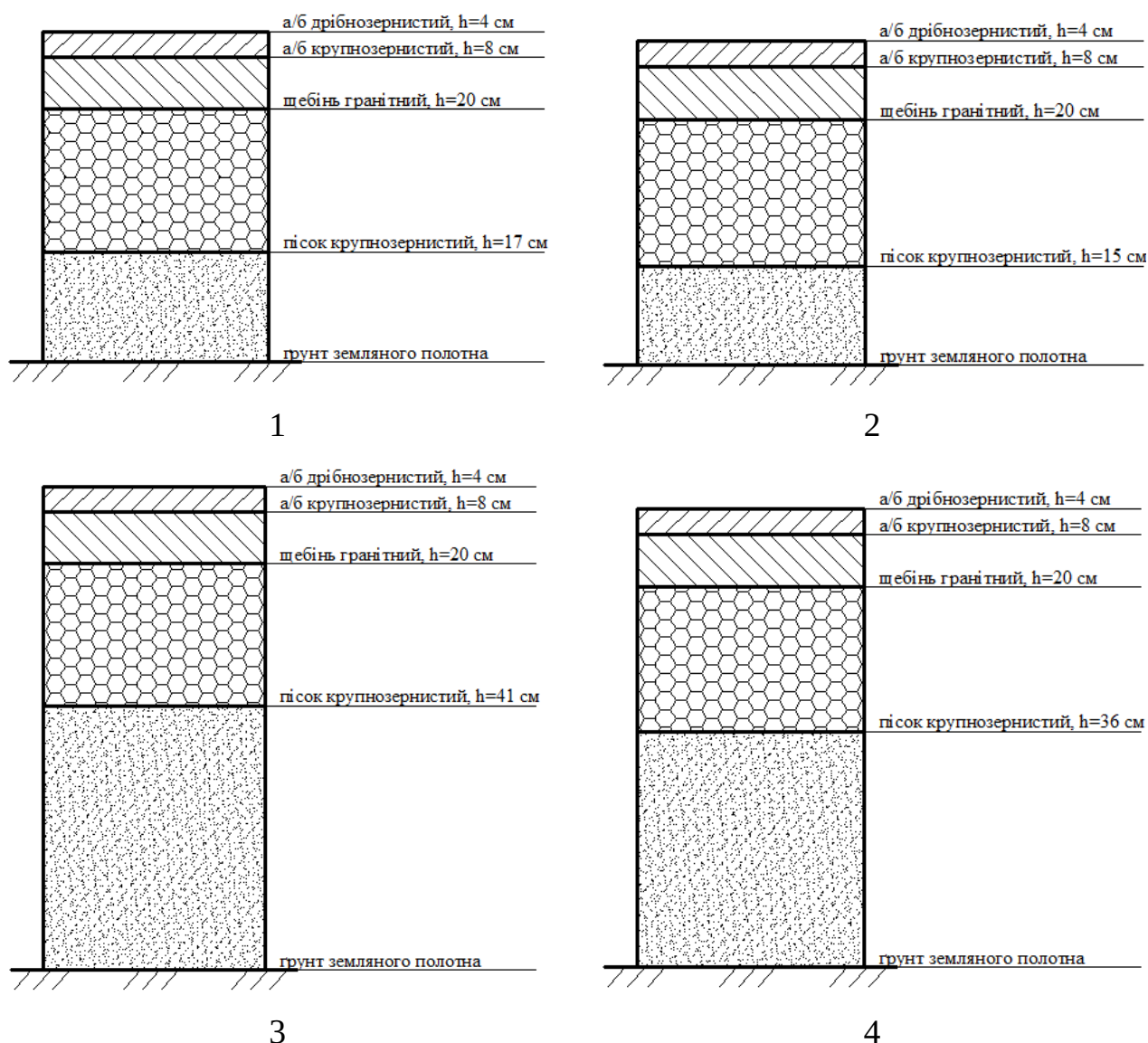


Рисунок 4.23 – Варіанти конструкцій дорожніх одягів у межах проїзної частини

Як видно з рисунків 4.23, в залежності від обраного методу розрахунку товщина піщаного дренаючого шару у межах проїзної частини складає від 15 см до 41 см. Товщини, розраховані відповідно до діючих нормативів за методом осушення (рисунок 4.23, 1 та 2), є заниженими та можуть спричинити передчасне руйнування конструкції у зв'язку із нездатністю піщаного шару відвести розрахунковий об'єм води у несприятливий період. Товщина піщаного дренаючого шару, визначена із застосуванням удосконаленого методу (рисунок 4.23, 4) становить 36 см та менша від товщини, розрахованої за методом поглинання відповідно до діючих нормативів (рисунок 4.23, 3), на 5 см.

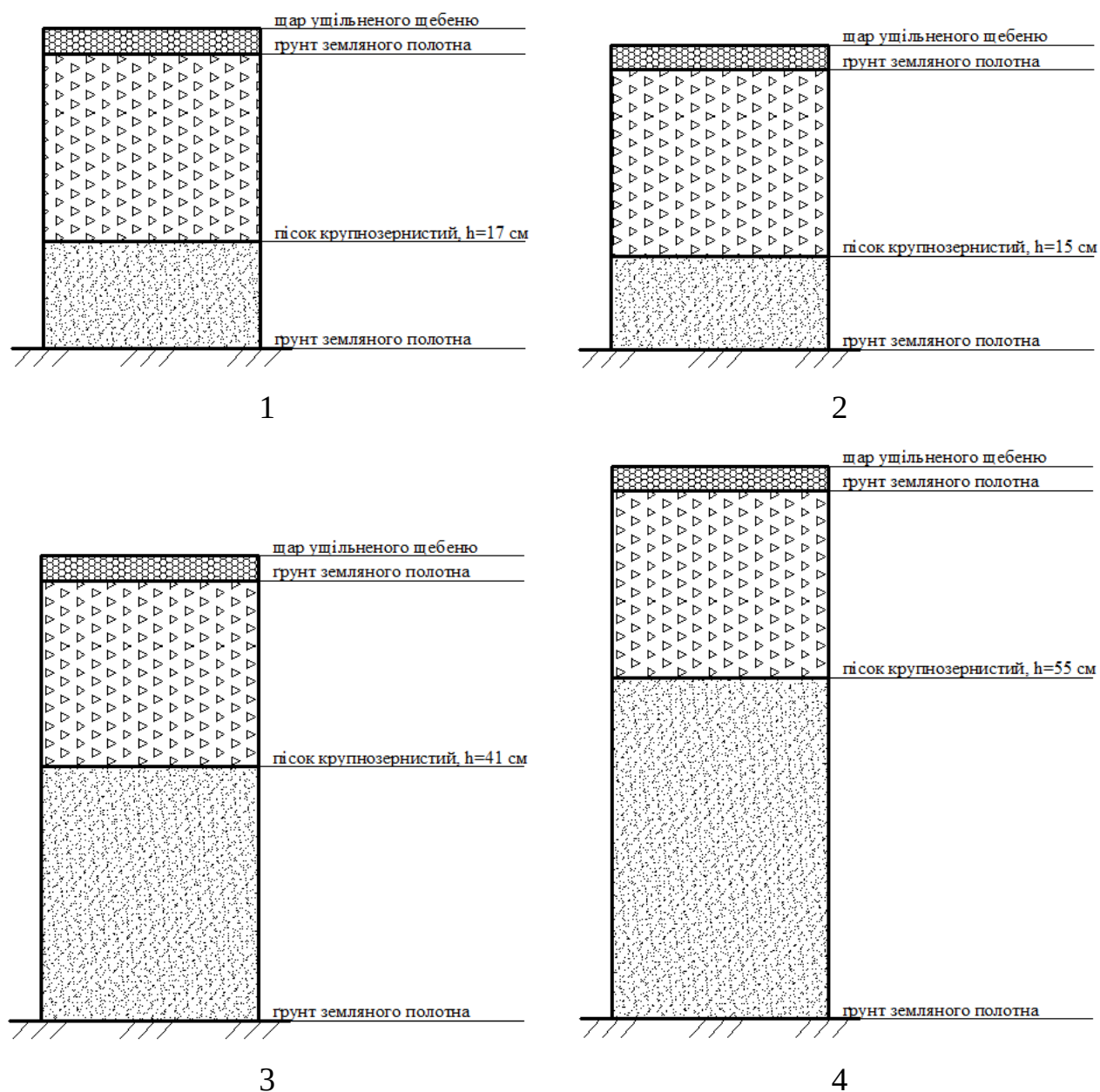


Рисунок 4.24 – Варіанти конструкцій дорожніх одягів у межах узбіч

Розглянемо отримані конструкції дорожнього одягу у межах узбіч. Для перших трьох варіантів (рисунок 4.24, 1,2 та 3) товщина піщаного шару у межах узбіч є такою ж, як і у межах проїзної частини. Як показав розрахунок за удосконаленим методом, такі товщини є недостатніми для нормальної роботи конструкції в умовах надмірного зволоження у несприятливий період. Відповідно до результатів, отриманих з використанням удосконаленого методу, необхідна товщина піщаного дренажного шару у межах узбіч для даного

випадку складає 55 см, що на 14 см перевищує проектну товщину дренуючого шару, отриману за методом поглинання відповідно до діючих нормативів.

Порівняємо площі поперечних перерізів піщаних дренуючих шарів варіантів 3 (S_3) і 4 (S_4), припустивши, що закладення укосів становить 1:1,5. При виконанні розрахунків скористаємося рисунками 4.25 та 4.26.

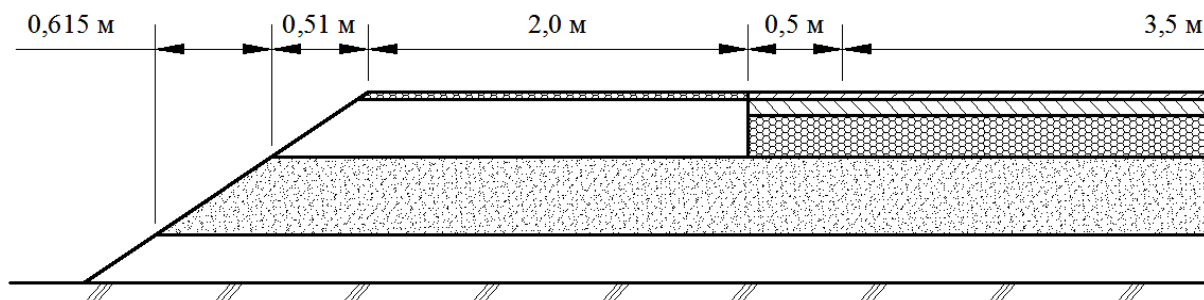


Рисунок 4.25 – Розміри поперечного перетину дороги варіанту 3

$$S_3 = ((2 + 0,5 + 3,5 + 0,51) \cdot 0,41 + 0,615 \cdot 0,41 \cdot 0,5) \cdot 2 = (2,67 + 0,1) \cdot 2 = 5,74 \text{ (м}^2\text{)}.$$

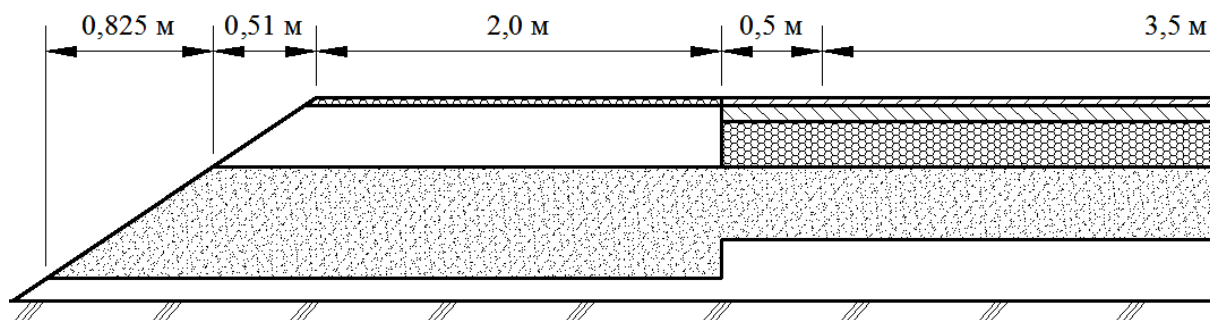


Рисунок 4.26 – Розміри поперечного перетину дороги варіанту 4

$$S_4 = ((0,5 + 3,5) \cdot 0,36 + (2 + 0,51) \cdot 0,55 + 0,825 \cdot 0,55 \cdot 0,5) \cdot 2 = (1,44 + 1,38 + 0,23) \cdot 2 = 5,82 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Отже, площа поперечного перетину піщаного дренуючого шару, розрахованого за удосконаленим методом, на $0,50 \text{ м}^2$ більша від поперечного перетину піщаного дренуючого шару, розрахованого за методом поглинання відповідно до діючих нормативів.

За результатами розрахунку (додаток Ж) на міцність з'ясовано, що модуль пружності дорожнього одягу із дренуючим шаром, розрахованим за удосконаленим методом, становить 319,33 МПа, що задовольняє вимоги до потрібного модуля пружності доріг III технічної категорії. У свою чергу, модуль пружності конструкції варіанту 3 становить 325,60 МПа, що всього на 2 % більше за модуль пружності конструкції третього варіанту. Отже, ослаблення конструкції за рахунок зниження товщини піщаного дренуючого шару є незначним.

З метою визначення доцільності влаштування дренуючого шару, розрахованого за удосконаленим методом, необхідно виконати розрахунок вартості будівельних робіт та економічне порівняння двох варіантів конструкцій: удосконаленої та розрахованої відповідно до діючих нормативів. При цьому слід взяти до уваги результати натурних спостережень за ділянками автомобільних доріг та врахувати строк служби конструкцій.

4.8. Економічна ефективність від впровадження результатів досліджень

Економічна ефективність влаштування дренажної системи мілкового закладення, розрахованої із застосуванням удосконаленого методу, визначається розрахунком порівняльної ефективності капітальних вкладень на основі порівняння витрат на влаштування конструкції дорожнього одягу та дренажу мілкового закладення, запроектованого відповідно до діючих нормативів, з витратами на той же обсяг робіт з використанням у дорожній конструкції піщаного дренуючого шару із товщиною, яка відповідає розрахункам, виконаним за удосконаленим методом.

Ефективність застосування удосконаленого дренажу мілкового закладення за рахунок виконання розрахунків із використанням модифікованої математичної моделі руху рідини у пористому середовищі оцінюється шляхом співставлення на прикладі при застосуванні дренажної конструкції

удосконаленого типу та такого ж дорожнього одягу із дренажем традиційної (розрахованої за діючими нормативами) конструкції.

Кількісним вимірником рівня ефективності капітальних вкладень служить коефіцієнт ефективності E :

$$E = \frac{C_p^I - C_p^{II}}{K_{\text{пр}}^{II} - K_{\text{пр}}^I} = \frac{1}{T}, \quad (4.1)$$

де $K_{\text{пр}}^{II}$ і $K_{\text{пр}}^I$ – приведенні до останнього року будівництва одноразові витрати за варіантами, відповідно, при використанні дренажної конструкції удосконаленого типу та такого ж дорожнього одягу із дренажем традиційної (розрахованої за діючими нормативами) конструкції;

C_p^I і C_p^{II} – поточні витрати за тими ж варіантами за один розрахунковий рік експлуатації покриття.

Згідно з [114, 115] капітальні вкладення вважаються ефективними, якщо $E > E_H$ ($E_H = 0,12$).

До складу одноразових витрат входять капітальні вкладення, реалізовані до початку експлуатації покриття чи його реконструкції (капітального ремонту).

При порівнянні варіантів до складу поточних витрат включають витрати на усі види ремонту і утримання покриття ділянки автомобільної дороги.

Відповідно до [116], міжремонтний строк служби одягу (покриття) – період в роках від здачі дороги (об'єкту) в експлуатацію до першого капітального (поточного) ремонту або між суміжними капітальними (поточними) ремонтами.

Визначимо необхідні параметри для підрахунку ефективності влаштування дренажної конструкції удосконаленого типу у порівнянні з дренажем традиційної (розрахованої за діючими нормативами) конструкції. Розглянемо ділянку автомобільної дороги довжиною 1 км та з параметрами, які використані у попередніх розрахунках. Традиційну конструкцію приймемо відповідно до рисунку 4.25, удосконалену – 4.26.

Розрахунок вартостей будівельних робіт при влаштуванні двох варіантів конструкцій наведено у додатку К.

Визначення параметрів для підрахунку проводимо з урахуванням даних відповідно до діючої нормативної документації, а саме:

- згідно з [100], норма міжремонтного строку експлуатації асфальтобетонного покриття для III технічної категорії дороги між капітальними ремонтами становить 13 років, між поточними середніми ремонтами – 5 років.

- відповідно до [117], що розроблений для планування фінансових ресурсів на поточний ремонт та експлуатаційне утримання мережі автомобільних доріг України, як в цілому по Україні, так і по окремих регіонах з урахуванням характеристик мережі доріг та регіональних умов їх експлуатації:

Таблиця 4.3 – Розрахункові обсяги робіт, їх періодичність на протязі року (або постійні (П)) та вартість робіт з поточного дрібного ремонту (ПДР) та експлуатаційного утримання (ЕУ) одного приведенного до умовного кілометра мережі автомобільних доріг загального користування державного значення [117]

№ п/п	Найменування робіт	Одиниця виміру	Періодичність (разів на рік)	Обсяг робіт на рік	Вартість одиниці виміру*	Загальна вартість, грн.
1	2	3	4	5	6	7
1	Ліквідація вибоїн, тріщин, осідань, колій з застосуванням асфальтобетонних сумішей, бітумних емульсій та інше з перевезенням матеріалів автосамоскидами КрАЗ на 60 км	100 м ²	1	1,5	7 806,12	11 709,18
2	Ямковий ремонт асфальтобетонного покриття з розламуванням при площі ремонту 1 м ² з перевезенням автосамоскидами КрАЗ на 60 км	1 м ²	1	37	340,27	12 589,99

Кінець таблиці 4.3

1	2	3	4	5	6	7
3	Ямковий ремонт покриття пневмоструменевим методом з перевезенням матеріалів автосамоскидами КрАЗ на 60 км	100 м ²	1	1,5	8 167,02	12 250,53
Всього:						36 549,70

* – вартість одиниці робіт визначена на підставі ресурсного методу ціноутворення. В зазначеній вартості враховані: прямі, загальновиробничі, адміністративні витрати, кошти на зведення та розбирання тимчасових будівель та споруд виробничого та допоміжного призначення, кошторисний прибуток, податок на додану вартість.

Примітка:

- за умовний кілометр прийнятий один кілометр асфальтобетонного покриття шириною 7,5 м, на якому необхідно виконати поточний ремонт та експлуатаційне утримання;
- розрахункові норми фінансових витрат на один умовний кілометр автомобільних доріг загального користування складені станом на 01.01.2014 року і підлягають перегляду при використанні нових технологій та матеріалів, а також можуть корегуватися на індекс інфляції щорічно.

Виходячи з даних, наведених у таблиці 4.3, маємо щорічні витрати на поточний дрібний ремонт та експлуатаційне утримання дорожнього одягу (покриття) одного умовного кілометра доріг державного значення, що становлять з урахуванням індексу інфляції за 2014 рік приблизно 45 687,13 грн. з ПДВ.

Капітальні вкладення при будівництві (реконструкції, капітальному ремонті) ділянки автомобільної дороги (приведено до одного умовного кілометра) державного значення із влаштуванням дренажу мілкового закладення, становлять (приведені на 2015 рік) відповідно до розрахунків кошторисної вартості, наведених у додатку К:

$K_{\text{пр}}^I$ – 4 953 721,00 грн./ум. км (піщаний дренажний шар традиційної конструкції);

$K_{\text{пр}}^{II}$ – 5 042 819,00 грн./ум. км (дренажний шар, розрахований за удосконаленим методом).

Відповідно до [116], поточні дрібні ремонти та експлуатаційне утримання покриття автомобільних доріг загального користування державного значення проводяться кожного року, поточний середній ремонт для доріг III технічної категорії, відповідно до [100], виконується кожні 5 років, а заміна / влаштування нового покриття (капітальний ремонт) – кожні 13 років.

Враховуючи те, що удосконалена конструкція дренажу мілкового закладення (відповідно до даних натурних спостережень), на відміну від традиційної дренажної конструкції, має підвищену здатність до осушення робочої зони земляного полотна та шарів дорожнього одягу, що сприяє підвищенню його довговічності в 1,5 – 2,0 рази, в залежності від умов експлуатації, витрати на поточний дрібний ремонт та експлуатаційне утримання дорожніх конструкцій, влаштованих із застосуванням поздовжньої дренажної системи мілкового закладення удосконаленої конструкції, зменшаться щонайменше в 1,5 рази.

Отже, враховуючи дані таблиці 4.3, кількість поточних дрібних ремонтів та експлуатаційного утримання на протязі 13-ти років становить – 13, а середніх – 2, при влаштуванні традиційної дренажної системи мілкового закладення. Для випадку застосування удосконаленого дренажу мілкового закладення кількість поточних дрібних ремонтів та експлуатаційного утримання на протязі 13-ти років становить – 9, а середніх – 1.

Вартість поточного середнього ремонту 1 м² асфальтобетонного покриття за технологією «Гарячий ремікс» коштує близько 200 грн. з ПДВ. У нашому випадку це буде приблизно 200,00·1000,00·4,00·2=1 600 000,00 (грн. за 1 км ділянки дороги).

Тоді, для ділянки із традиційною дренажною системою, C_p^I становитиме:

$$C_p^I = (45\,687,13 \cdot 13 + 1\,600\,000,00 \cdot 2) / 13 = 291\,840,98 \text{ грн. з ПДВ,}$$

а C_p'' , для ділянки з удосконаленим дренажем мілкового закладення:

$$C_p'' = (45\,687,13 \cdot 9 + 1\,600\,000,00 \cdot 1) / 13 = 154\,706,47 \text{ грн. з ПДВ.}$$

Таблиця 4.4 – Показники для розрахунку ефективності капітальних вкладень за двома варіантами будівництва

Найменування варіанту	Капітальні вкладення, грн./ум. км	Вкладення на поточний дрібний ремонт та експлуатаційне утримання, грн. рік/ум. км
1	2	3
Традиційна дренажна система мілкового закладення	4 953 721,00	291 840,98
Удосконалена дренажна система мілкового закладення	5 042 819,00	154 706,47

Використовуючи дані показники, проводимо розрахунок коефіцієнту ефективності:

$$E = \frac{291840,98 - 154706,47}{5042819,00 - 4953721,00} = \frac{137134,51}{89098,00} = 1,54.$$

Виходячи з цього, можна вважати, що капітальні вкладення у влаштування дренажної системи мілкового закладення із піщаним шаром, розрахованим за удосконаленим методом, є ефективними, оскільки $E=1,54 > E_H = 0,12$.

4.9. Висновки по розділу

За результатами роботи, наведеними в даному розділі, можна зробити наступні висновки:

1. Розглянуто практичні аспекти використання удосконаленого методу визначення параметрів поздовжніх дренажних систем у робочій зоні земляного полотна, сформульовано мету розрахунку та вихідні дані.

2. Виконано розрахунок величин надходження вологи до дорожньої конструкції від різних джерел протягом року з використанням діючих методів та удосконалено методу. За основу брались як статистичні дані, які використовуються у нормативних документах, так і дійсні дані метеорологічної статистики. Порівняно результати виконаних розрахунків.

3. Виконано розрахунки параметрів піщаного дренажного шару за розробленою удосконаленою методикою, виходячи із розрахованих величин надходження вологи відповідно до статистики 2001 року, коли спостерігався дощ великої інтенсивності та на протязі короткого проміжку часу випала значна кількість опадів.

4. Розраховано окремо товщини дренажних шарів, необхідні для ефективного відведення розрахункової кількості вологи у межах проїжджої частини та узбіччя, з метою перевірки гіпотези, що для економії матеріалу доцільно влаштовувати дренажний шар у межах проїжджої частини меншої товщини, ніж у межах узбіччя.

5. З'ясовано, що розраховані за удосконаленим методом величини надходження вологи та товщини піщаного дренажного прошарку є більшими, ніж визначені відповідно до методів, які сьогодні застосовуються у проектуванні. Велике значення має врахування початкового рівня води у конструкції навесні у період розмерзання поперечних випусків. Є доцільним влаштовувати дренажні прошарки різної товщини у межах проїзної частини та узбіччя у зв'язку з різними величинами їх зволоження [6].

6. Розглянуто практичні аспекти застосування результатів розрахунків у конструкції дорожнього одягу ділянки автомобільної дороги Н-01 Київ – Знам'янка у Київській області та визначено економічну ефективність від впровадження результатів досліджень.

ВИСНОВКИ

Основний науковий результат дисертаційного дослідження полягає в розвитку теоретичних і практичних положень, а саме: удосконаленні методу розрахунку дренажних систем мілкого закладення з використанням математичної моделі переносу фільтраційного потоку в робочій зоні земляного полотна та піщаному дренажному прошарку автомобільної дороги, з урахуванням спільного впливу різних джерел зволоження протягом року.

Здійснені у дисертаційній роботі дослідження дають змогу зробити такі висновки:

1. У вітчизняній нормативній базі та науковій літературі недостатньо уваги приділено питанням точного визначення величини надходження вологи до дорожньої конструкції від різних джерел зволоження протягом року та розрахунку товщини піщаного дренажного шару з урахуванням особливостей руху води у пористому середовищі при наявності інфільтрації. Обстеження, проведені протягом 2011-2015 років дають підстави стверджувати, що значна кількість руйнувань та деформацій, які виникають на автомобільних дорогах загального користування України, пов'язані саме з незабезпеченням сприятливого водно-теплогового режиму роботи конструкції.

2. З метою обґрунтування реальної фізичної моделі переносу фільтраційного потоку у пористому середовищі дренажного шару робочої зони земляного полотна сформульовано початкові та граничні умови, згідно з якими враховано, що до робочої зони надходить інфільтраційна волога та волога від розтавання дорожньої конструкції, а також має місце початковий рівень води у період розмерзання границі виходу з дренажного шару (укіс земляного полотна або поперечний випуск води з поздовжньої дренажної).

3. Запропоновано нестационарну математичну модель переносу фільтраційного потоку в дренажних прошарках на основі методу послідовної зміни стаціонарних станів для визначення розрахункових характеристик піщаного дренажного шару дорожньої конструкції з урахуванням особливостей

режиму зволоження. Отримано дискретні аналоги рівнянь переносу фільтраційного потоку.

4. Запропоновано метод прогону для реалізації математичної моделі. Виведено та описано модифіковані рівняння переносу фільтраційного потоку в дренуючих шарах за методом прогону та розроблено розрахункову інформаційно-аналітичну систему для визначення рівня води у піщаних дренуючих шарах.

5. Розроблено метод розрахунку дренажних систем мілкового закладення, розміщених у робочій зоні земляного полотна автомобільних доріг, на основі нестационарної математичної моделі переносу фільтраційного потоку в дренажних прошарках при наявності інфільтрації, надходження води знизу та наявності початкового рівня води, а також при різній інтенсивності зволоження по довжині зони фільтрації.

6. Результати дослідження знайшли своє втілення при проектуванні системи регулювання водно-теплого режиму реально існуючого об'єкта. Виконано розрахунок величин надходження вологи до дорожньої конструкції від різних джерел зволоження протягом року та товщини піщаного дренуючого шару з використанням діючих та удосконаленого методів. Розраховано товщини дренуючих шарів, необхідні для ефективного відведення розрахункової кількості вологи у межах проїзної частини та узбіч.

Доведено, що отримані за удосконаленим методом величини надходження вологи та товщини піщаного дренуючого прошарку (у межах узбіччя) перевищують визначені за існуючими методами, які сьогодні застосовуються у проектуванні:

– загальна величина надходження вологи відповідно до ВБН В.2.3-218-186 становить $11,05 \text{ л/м}^2$ за добу, загальна величина надходження вологи через узбіччя у березні 2001 року становила $69,95 \text{ л/м}^2$ за добу – різниця більше, ніж у 6 разів;

– розрахована відповідно до ВБН В.2.3-218-186 товщина піщаного дренуючого шару є незмінною по ширині конструкції і меншою від товщини

піщаного дренуючого шару в межах узбіч, визначеної за удосконаленим методом, у більше, ніж 1,65 разів.

Також встановлено, що наявність початкового рівня води (у нашому випадку – 0,29 м) суттєво впливає на загальну величину рівня води; через поверхню узбіч до конструкції більше надходить води від атмосферних опадів ($69,15 \text{ л/м}^2$ за добу у березні 2001 року), ніж через поверхню покриття ($18,25 \text{ л/м}^2$ за добу у березні 2001 року) і, відповідно, рівень води у конструкції узбіч є вищим, тому доцільно піщаний дренуючий шар дренажної системи мілкового закладення у межах узбіч влаштовувати більшої товщини, ніж у межах проїзної частини.

Визначено економічну ефективність від впровадження результатів досліджень шляхом порівняння двох варіантів: дорожнього одягу з дренажем мілкового закладення традиційної (розрахованої згідно з діючими нормативами документами) конструкції та дорожнього одягу із дренажем мілкового закладення, запроектованим відповідно до розробленого удосконаленого методу.

Виходячи з результатів розрахунків, можна вважати, що капітальні вкладення у влаштування дренажної системи мілкового закладення із піщаним шаром, розрахованим за удосконаленим методом, є ефективними, оскільки фактичний коефіцієнт ефективності ($E=1,54$) перевищує нормативний коефіцієнт ефективності ($E_H = 0,12$).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стьошка В.В. Дослідження процесів вологонакопичення в дорожніх конструкціях з дренажними прошарками / Славінська О.С., Стьошка В.В. // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – Рівне : НУВГП, 2009. – Вип. 3, Ч. 1. – С. 488–495.
2. Стьошка В.В. Аналіз досліджень вологонакопичення у верхній частині дорожньої конструкції / Славінська О.С., Стьошка В.В. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : наук.-техн. зб. – К. : НТУ, 2009. – Вип. 77. – С. 69–74.
3. Стьошка В.В. Визначення основних параметрів дренажних систем мілкового залягання / О.С. Славінська, В.В. Стьошка // Автошляховик України. – 2010. – № 6. – С. 40–44.
4. Стьошка В.В. Методи визначення параметрів дренажу мілкового залягання на автомобільних дорогах з урахуванням річного циклу роботи / Савенко В.Я., Славінська О.С., Стьошка В.В. // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки : наук.-техн. зб. – К. : КНУБА, 2011. – Вип. 17. – С. 19–26.
5. Стьошка В.В. Індивідуальний підхід при проектуванні дренажів мілкового залягання з урахуванням кліматичних особливостей регіону / Савенко В.Я., Славінська О.С., Стьошка В.В. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : наук.-техн. зб. – К. : НТУ, 2011. – Вип. 80. – С. 3–15.
6. Styozhka V. Improvement of the calculation method for the sand layer of a shallow drainage system / O. Slavinska, V. Styozhka // The Advanced Science Journal. – Vol. 2015. – Issue 4. – P. 13–20.
7. Обеспечение устойчивости земляного полотна в условиях пучинистых грунтов как одно из перспективных направлений развития дорожного комплекса России / Толстенёв С.В., Швецов Г.И., Черепанов Б.М. [и др.] // Инновации, качество, образование – перспективы развития дорожного комплекса России : материалы всероссийской научно-практической конференции. – Барнаул: АлтГТУ, 2007. – Ч. 2. – С. 97–103.

8. Стьошка В.В. Метод оптимізації визначення транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг / Славінська О.С., Савенко В.Я., Стьошка В.В. // Вісник Національного транспортного університету : наук.-техн. зб. – К. : НТУ, 2013. – Вип. 26, Ч. 1. – С. 560–566.
9. Стьошка В.В. Весняне бездоріжжя: причини, методи боротьби, шляхи вирішення / Герасименко А.М., Стьошка В.В., Копинець А.О. // Дорожня галузь України. – 2013. – Вип. 2 – С. 6–13.
10. Результаты экспериментальных исследований транспортно-эксплуатационных характеристик и водно-теплого режима грунтов на участках федеральных автомобильных дорог московской области Кулижников А.М., Новиков Н.Н., Денисов Р.Р. [и др.] // Дороги и мосты. – 2006. – № 2. – С. 149–159.
11. Круглов А.Г. Совершенствование системы регионального дорожно-климатического районирования с учётом влияния грунтово-почвенных составляющих (на примере Астраханской области) : автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. тех. наук. / Круглов А.Г. – Волгоград, 2006. – 23 с.
12. Ярмолинская Н.И. Особенности водно-теплого режима городских дорог города Хабаровска / Ярмолинская Н.И., Колесник А.В. // Автомоб дороги и безопас. движения : Дальний восток. – 2006. - № 6. – С. 197–201.
13. Сіденко В.М. Водно-тепловий режим міських доріг / Сіденко В.М., Фомін В.О. – Харків : Видавництво Харківського університету, 1971. – 180 с.
14. Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог : учебник для студентов вузов по специальности «Автомобильные дороги» / Сиденко В.М., Михович С.И. – М. : Транспорт, 1976. – 288 с.
15. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво : ДБН В.2.3-4:2007– К. : Мінрегіонбуд України, 2007. – 91 с. – (Державні будівельні норми України).
16. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу : ВБН В.2.3–218–186–2004 / Укравтодор. – [Чинний від 2005–01–01]. – К. : Укравтодор, 2005. – 176 с. – (Нормативний документ Укравтодору).

17. Тулаев А.Я. Конструкция и расчет дренажных устройств / Тулаев А.Я. – М. : Транспорт, 1980. – 191 с.
18. Кульчицкий В.А. Аэродромные покрытия. Современный взгляд / Кульчицкий В.А., Васильев Н.Б., Макагонов В.А. [и др.]. – М. : Физико-математическая литература, 2002. – 528 с. – ISBN 5-9221-0215-X.
19. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / [Н.А. Пузаков, И.А. Золотарь, В.М. Сиденко и др.] ; под. ред. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко. – М. : Транспорт, 1971. – 413 с.
20. Тулаев А.Я. Круглогодичный режим земляного полотна / Тулаев А.Я. // Труды ДорНИИ. Исследование пучин на автомобильных дорогах. – 1941. – Вып. 2.
21. Тулаев А.Я. Осушение земляного полотна / Тулаев А.Я. – М. : Дориздат, 1948.
22. Методические рекомендации по осушению земляного полотна и оснований дорожных одежд в районах избыточного увлажнения и сезонного промерзания грунтов. – М. : Союздорнии, 1974. – 63 с.
23. Алексиков И.С. Основы районирования территории Юга РФ по условиям сооружения земляного полотна / Алексиков И.С. // Материалы Ежегодной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава и студентов ВолгГАСУ. – Волгоград : ВолгГАСУ, 2008. – Ч. 1. – С. 160–163.
24. Предложения по совершенствованию дренажа автомобильных дорог в выемках. – М. : Союздорнии, 1969.
25. Методика визначення пропускної здатності дренажної конструкції мілкого залягання з урахуванням річного циклу роботи : М 218-02070915-684:2011. – К. : Укравтодор, 2011. – 35 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
26. Пособие по проектированию методов регулирования водно-теплого режима верхней части земляного полотна (к СНиП 2.05.02-85). – М. : Стройиздат, 1989. – 180 с.
27. Рувинский В.И. Оптимальные конструкции земляного полотна на основе

- регулювання водно-теплового режиму / Рувинський В.І. – М. : Транспорт, 1982. – 166 с.
28. Кизима С.С. Експлуатація автомобільних доріг : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом підготов. «Буд.-во» / С.С. Кизима. – К. : НТУ, 2009. – 272 с.: іл. 53. – Бібліогр.: С. 265–267.
 29. Сиденко В.М. О методах расчёта водно-теплового режима при парообразном увлажнении дорожных одежд и полотна / Сиденко В.М. // Труды ХАДИ. – 1961. – Вып. 25.
 30. Сиденко В.М. Теоретические основы водно-теплового режима дорожных одежд и грунтовых оснований в условиях недостаточного увлажнения / Сиденко В.М. // Труды ХАДИ. – 1962. – Вып. 28.
 31. Сиденко В.М. Расчёт и регулирование водно-теплового режима дорожных одежд и земляного полотна / Сиденко В.М. – М. : Автотрансиздат, 1962.
 32. Круглов А.Г. Грунтово-гидрогеологическое обоснование уточнения дорожно-климатического районирования территории Астраханской области / Круглов А.Г. // Автомоб дороги и безопас. движения : Дальний восток. – 2006. - № 6. – С. 70–73.
 33. Бутырина Л.Н. О необходимости уточнения нормативных гидрологических характеристик при проектировании автомобильных дорог / Бутырина Л.Н. // Автомоб дороги и безопас. движения : Дальний восток. – 2006. - № 6. – С. 74–78.
 34. Вітвіцька Є.В. Врахування нормативних параметрів клімату міст України у архітектурному проектуванні / Вітвіцька Є.В., Бондаренко Д.О. – Одеса. : ОДАБА, 2015. – 261 с. – ISBN 978-617-7195-13-8.
 35. Стьожка В.В. Аналіз процесів вологонакопичення в дорожніх конструкціях з дренажними прошарками / Славінська О.С., Стьожка В.В. // LXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету : тези доповідей. – К. : НТУ, 2010. – С. 116.
 36. Стьожка В.В. Пропозиції щодо удосконалення існуючих методик проектування дренажних систем / Славінська О.С., Стьожка В.В. // LXV науково-практична конференція науково-педагогічних працівників,

- аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету : тези доповідей. – К. : НТУ, 2009. – С. 105.
37. Споруди транспорту. Спорудження земляного полотна автомобільних доріг : ВБН В.2.3-218-171-2002. – К. : Укравтодор, 2002. – 165 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
 38. Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві : ВБН В.2.3-218-544:2008. – К. : Укравтодор, 2008. – 173 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
 39. Дренажные устройства земляного полотна автомобильных дорог общей сети Союза ССР : типовые проектные решения. 503-0-43 / ГПИ «Союздорпроект» Главтранспроекта Минтрансстроя. – [Введены в действие 10.06.1981].
 40. Бурлака О.О. Підвищення міцнісних і фільтраційних показників дренажних труб з пористого бетону: автореф. дис. на здоб. наук. ст. канд. техн. наук / Бурлака О.О. – Харків : ХНУБА, 2013 – 18 с.
 41. Справочник по гидравлике / [под ред. В.А. Большакова]. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – К. : Выща шк. Головное изд-во, 1984. – 343 с.
 42. Robinson. M. The Impact of Drainage on Streamflow / Robinson. M., Rycroft D. // Agricultural Drainage. – ASA, CSSA and SSSA, 1999. – Vol. 38. – P. 767–800.
 43. Олейник А.Я, Поляков В.Л. Дренаж переувлажнённых земель / Олейник А.Я, Поляков В.Л. – Киев : Наук. думка, 1987. – 280 с. – (Наука и техн. прогресс).
 44. Шестаков В.М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа / Шестаков В.М. – Москва : Издательство Московского университета, 1965. – 234 с.
 45. Олейник А.Я. Геогидродинамика дренажа / Олейник А.Я. – Киев : Наук. думка, 1981. – 284 с.
 46. Олейник А.Я. Фильтрационные расчёты вертикального дренажа / Олейник А.Я. – Киев : Наук. думка, 1978. – 202 с.
 47. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод / Полубаринова-Кочина П.Я. – [2-е изд.]. – М. : Главная редакция физико-

математической литературы издательства «Наука», 1977. – 664 с.

48. Полубаринова-Кочина П.Я. Математические методы в вопросах орошения / Полубаринова-Кочина П.Я., Пряжинская В.Г., Эмих В.Н. – М. : Изд-во «Наука», 1969. – 414 с.
49. Соколов Ю.Д. Про приплив ґрунтових вод до дренажної галереї при похилій лінії водоупору та наявності інфільтрації : перша фаза нестационарного руху / Соколов Ю.Д. // ДАН УРСР. – 1952. – № 6. – С. 439–446.
50. Соколов Ю.Д. Про приплив ґрунтових вод до дренажної галереї при похилій лінії водоупору та наявності інфільтрації : друга фаза нестационарного руху / Соколов Ю.Д. // ДАН УРСР. – 1953. – № 1. – С. 7–10.
51. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод / Полубаринова-Кочина П.Я. – М. : Гостехтеориздат, 1952.
52. Шестаков В.М. Неустановившаяся фильтрация при наклонном водоупоре / Шестаков В.М. // ДАН СССР. – 1956. – Т. 108, № 5.
53. Седергрэн Г.Р. Дренаж дорожных одежд и аэродромных покрытий : [пер. с англ.] / Седергрэн Г.Р. – М. : Транспорт, 1981. – 280 с.
54. Поляков В.Л. Расчёт осушительного действия несовершенного дренажа в п-слойных грунтах / Поляков В.Л. // Гидромеханика. – 1983. – Вып. 48. – С. 80–83.
55. Поляков В.Л. Неустановившаяся фильтрация к мелиоративному дренажу в условиях взаимодействия насыщенного и ненасыщенного потоков сложной структуры / Поляков В.Л. // Докл. АН УССР. Сер. А. – 1985. – № 2. – С. 42–46.
56. Поляков В.Л. О неустановившейся фильтрации к горизонтальному дренажу в однородной среде с учётом влагопереноса в зоне аэрации / Поляков В.Л. // Гидромеханика. – 1985. – Вып. 51. – С. 62–67.
57. Чугаев Р.Р. Гидравлика : учебник для вузов / Чугаев Р.Р. – Л. : Энергия, 1975. – 600 с.
58. Мещерский И.В. Динамика точки переменной массы / Мещерский И.В. – М. : Государственное издательство технико-теоретической литературы,

1952.

59. Петров Г.А. Движение жидкости с изменением расхода вдоль пути / Петров Г.А. // Известия НИИГ. – 1940. – Вып. 28. – С. 63–72.
60. Аравин В.И. Расчёты и моделирование плановой фильтрации / Аравин В.И. – Л. : Госэнэргоиздат, 1963.
61. Аравин В.И. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде / Аравин В.И., Нумеров С.Н. – М. : Гостехтеориздат, 1953.
62. Ткачук С.Г. Гідравліка. Гідрологія. Гідрометрія / С.Г. Ткачук. – К. : Кафедра, 2013. – 392 с.
63. Веригин Н.Н. Неустановившееся движение грунтовых вод вблизи водохранилищ / Веригин Н.Н. // ДАН СССР. – 1949. – Т. 16, № 4.
64. Чарный И.А. О методах линеаризации нелинейных уравнений типа уравнений теплопроводности / Чарный И.А. // Изв. АН СССР, отд. техн. наук. – 1951. – № 6.
65. Жернов И.Е. Расчёты захвата подземных вод / Жернов И.Е. – Киев : Изд-во АН УССР, 1954.
66. Баренблатт Г.И. Об автомодельных движениях сжимаемой жидкости в пористой среде / Баренблатт Г.И. // Прикл. мат. и мех. – 1962. – Т. 16, Вып. 6.
67. Лан Чжан-Синь. Приближённый метод решения задачи нестационарной фильтрации газа в круговом пласте / Лан Чжан-синь // Тр. Моск. ин-та нефтехим. и газов. пром. – 1961. – Вып. 33.
68. Broocs R.H. Unsteady flow of ground water into drain tile / Broocs R.H. // J. Irrig. Drain. Div. – Pros. ASCE, 1961. – Vol. 87, № 2.
69. Haushied W. Unsteady flow of ground water into a surface Reservoir / Haushied W., Kruse G. // J. Hydr. Div. – Pros. ASCE, 1960. – Vol. 86, № 2.
70. Matsubara S. On the approximate solutions “for the differential equation of the unsteady flow.” / Matsubara S. // Agric. Engng. Soc. Japan. – 1958. – Vol. 25, № 5, 6.
71. Suudara Raja Gyengar K.T. Unsteady flow of ground water into a surface reservoir / Suudara Raja Gyengar K.T. // J. Hydr. Div. – Pros. ASCE, 1961. – Vol. 87, № 1.

72. Аверьянов С.Ф. Борьба с засолением орошаемых земель / Аверьянов С.Ф. – М. : Колос, 1978. – 288 с.
73. Шапран В.Я. Неустановившаяся фильтрация к горизонтальному систематическому дренажу в условиях напорного и инфильтрационного питания / Шапран В.Я. // Мелиорация и вод. хоз-во. – 1968. – Вып. 9. – С. 124–131.
74. Tokooz S. Steady drainage of layered soils. 1. Theory / Tokooz S., Kirkham D. // J. Irrig. and Drain. Div. – 1971. – Vol. 97, № 1. – P. 1–19.
75. Стюжка В.В. Дослідження впливу вібрації на фільтраційну здатність піску / В.В. Стюжка // Автошляховик України. – 2012. – № 6. – С. 28–35.
76. Стюжка В.В. Дослідження впливу вібраційного навантаження від транспортного потоку на інтенсивність фільтрації вільної води у додатковому шарі основи з піску / Славінська О.С., Стюжка В.В., Строкач О.С. // Сучасні методи проектування, будівництва та експлуатації систем водовідводу на автомобільних дорогах : міжнародна науково-технічна конференція : тези доповідей. – К., 2012. – С. 6.
77. Стюжка В.В. Дослідження впливу вібрації на фільтраційну здатність піску / Стюжка В.В., Славінська О.С. // Проблеми сучасного будівництва (21-22 листопада 2012 року) : матеріали Всеукраїнської інтернет-конференції молодих учених і студентів. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – С. 87–89.
78. Олейник А.Я. Регулирование водно-воздушного режима почв на фоне дренажа на основе математического моделирования / Олейник А.Я. // Мелиорация и вод. хоз.-во. – 1986. – Вып. 45. – С. 55–59.
79. Олейник А.Я. Методы расчёта мелиоративного дренажа в неоднородно-слоистых грунтах / Олейник А.Я., Насиковский В.П. – К. : Урожай, 1970. – 230 с.
80. Aziz Amoozegar. Methods for Measuring Hydraulic Conductivity and Drainable Porosity / Aziz Amoozegar and Glenn V. Wilson // Agricultural Drainage. – ASA, CSSA and SSSA, 1999. – Vol. 38. – P. 1149–1205.
81. Іващенко А.П. Фільтраційні процеси навколо дренажів і зволожувачів і їх вплив на водоприймальну здатність конструкцій: автореф. дис. на здоб.

- наук. ст. канд. техн. наук / Іващенко А.П. – Рівне. : РДТУ, 1999. – 17 с.
82. Проектування, будівництво та експлуатація поздовжніх дренажів мілкового закладення / В.Я. Савенко, О.С. Славінська, В.В. Стьошка [та ін.]. – К. : НТУ, 2014. – 140 с.
 83. Соколов Ю.Д. Про безнапірний приплив ґрунтових вод до дренажної галереї за наявності інфільтрації : перша фаза нестационарного руху / Соколов Ю.Д. // ДАН УРСР. – 1952. – № 4. – С. 251–257.
 84. Соколов Ю.Д. Про безнапірний приплив ґрунтових вод до дренажної галереї при похилій лінії водоупору : перша фаза нестационарного руху / Соколов Ю.Д. // ДАН УРСР. – 1952. – № 5. – С. 370–376.
 85. Соколов Ю.Д. Про безнапірний приплив ґрунтових вод до дренажної галереї при наявності інфільтрації : друга фаза нестационарного руху / Соколов Ю.Д. // ДАН УРСР. – 1952. – № 5. – С. 364–369.
 86. Стьошка В.В. Теоретичні засади розрахунку течій в дренажних конструкціях мілкового закладання / Стьошка В.В. // Гідравліка і гідротехніка : наук.-техн. зб. – К. : НТУ, 2009. – Вип. 63. – С. 23–27.
 87. Проблеми визначення пропускної здатності дренажних систем в робочій зоні земляного полотна / Славінська О.С., Стьошка В.В., Савенко С.С. [та ін.] // LXIX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету : тези доповідей. – К. : НТУ, 2013. – С. 126.
 88. Analysis and evaluation of depth of frozen ground affected by road climatic conditions / Juknevičiute Lina, Laurinavicius Alfredas // Baltic J. Road and Bridge Eng. – 2008. – 3, № 4. – P. 226–232.
 89. Конструкции земляного полотна на слабых оттаивающих основаниях / [Кудрявцев С.А., Вальцева Т.Ю., Берестяный Ю.Б., Коннов Ю.Н.] // Путь и путей. х-во. – 2008. - № 4. – С. 34–37.
 90. Экспериментальное исследование влияния оттаивания и деформации земляного полотна в зоне вечной мерзлоты на сборную дренажную трубу / Sun Xuexian, Zhao Jinzhong. Zhongguo tiedao kexue // China Railwai Sci. – 2008. – 29. № 2. – С. 12–16.
 91. Сиденко В.М. Расчёт глубины промерзания автомобильных дорог /

- Сиденко В.М. // Автомобильные дороги. – 1967. – № 12.
92. Шинкарук Л.А. Дослідження процесу зволоження піщаного дренажного шару вологою від розтавання дорожньої конструкції / Шинкарук Л.А. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : наук.-техн. зб. – К. : НТУ, 2014. – Вип. 92. – С. 178–182.
 93. Rogers J.S. Comparison of drainage under steady rainfall versus falling water table conditions / Rogers J.S., Selim H.M., Fouss J.L. // Soil Science. – 1995. – Vol. 160 (6). – P. 391–399.
 94. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Метод лабораторного визначення максимальної щільності : ДСТУ Б В.2.1-12:2009. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 16 с. – (Національний стандарт України).
 95. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Метод лабораторного визначення коефіцієнта фільтрації : ДСТУ Б В.2.1-23:2009. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 18 с. – (Національний стандарт України).
 96. Стюжка В.В. Визначення кількості вологи, що надходить до верхньої частини земляного полотна в різні періоди року / Славінська О.С., Стюжка В.В. // LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету : тези доповідей. – К. : НТУ, 2011. – С. 91.
 97. Хромов С.П. Метеорология и климатология / Хромов С.П., Петросянц М.А. – М. : МГУ, 2001. – 528 с.
 98. Дренажные сооружения железнодорожного земляного полотна. – М. : Транспорт, 1976. – 88 с.
 99. Автомобильные дороги. Нормы проектирования : СНиП II-Д.5-72 – М. : Госстрой СССР, 1973. – 119 с. – (Строительные нормы Советского Союза).
 100. Організаційно-методичні, економічні і технічні нормативи. Міжремонтні строки експлуатації дорожніх одягів та покриттів на автомобільних дорогах загального користування : ВБН Г.1-218-050-2001. – К. : Укравтодор, 2001. – 12 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
 101. Fouss J.L. Design of controlled drainage and subirrigation facilities for water table management/ Fouss J.L., Evans R.O. and Belcher H.W. // Agricultural Drainage. – ASA, CSSA and SSSA, 1999. – Vol. 38. – P. 719–742.

102. Полубаринова-Кочина П.Я. О неустановившихся движениях грунтовых вод при фильтрации из водохранилищ / Полубаринова-Кочина П.Я. // ПММ, XIII, в. 2 (1949).
103. Абрамов А.А. О применении метода прогонки к нахождению периодических решений дифференциальных и разностных уравнений / А.А. Абрамов, В.Б. Андреев // Журнал вычислительной математики и математической физики [Электронный ресурс] – Р. 377–381. – Режим доступа до журн. : <http://www.mathnet.ru/links/c3cbba43b0f0f4af2cb4915312f210f9/zvmmf7856.pdf> [Accessed 24 Jan. 2015].
104. Кожушко Л.Ф. Удосконалення дренажних систем / Кожушко Л.Ф. – Рівне. : РДТУ, 2001. – 280 с.
105. Skaggs R.W. Drainage simulation models / Skaggs R.W. // Agricultural Drainage. – ASA, CSSA and SSSA, 1999. – Vol. 38. – P. 469–500.
106. R. Wayne Skaggs. Application of Drainage Simulation Models / R. Wayne Skaggs and George M. Chescheir // Agricultural Drainage. – ASA, CSSA and SSSA, 1999. – Vol. 38. – P. 537–564.
107. Chandra A. Madramootoo. Planning and Design of Drainage Systems. / Chandra A. Madramootoo // Agricultural Drainage. – ASA, CSSA and SSSA, 1999. – Vol. 38. – P. 871–892.
108. Стьожка В.В. Математична модель руху води у піщаному дренажному шарі дорожньої конструкції: перша та друга фази / Стьожка В.В. // LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету : тези доповідей. – К. : НТУ, 2014. – С. 112.
109. Стьожка В.В. Про удосконалення розрахунку дренажних систем мілкого залягання з використанням методу послідовної зміни стаціонарних станів / Стьожка В.В. // LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету : тези доповідей. – К. : НТУ, 2015. – С. 172.
110. Рекомендації щодо оптимізації заходів з сезонного утримання доріг та підвищення якості їх виконання : Р В.3.1-21476215-816:2013. – К. : Укравтодор, 2013. – 26 с. – (Нормативний документ Укравтодору).

111. Стьожка В.В. Врахування зміни особливостей водно-теплового режиму за останні десятиріччя при формуванні програми обстеження експлуатаційного стану доріг / Савенко В.Я., Стьожка В.В., Клімашевський О.О. // LXIX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету : тези доповідей. – К. : НТУ, 2013. – С. 108.
112. Стьожка В.В. Удосконалення алгоритму взаємодії між учасниками обстежень експлуатаційного стану доріг загального користування / Савенко В.Я., Стьожка В.В., Копинець А.О. // LXIX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету : тези доповідей. – К. : НТУ, 2013. – С. 110.
113. Олексійчук Т. Літологія зони аерації як один із параметрів оцінки схильності ґрунтових вод до забруднення / Олексійчук Т. // Науковий вісник Чернівецького університету: зб. наук. праць : Географія. – Чернівці : Рута, 2009. – Вип. 434. – С. 151–158.
114. Грушко И.М. Основы научных исследований / Грушко И.М., Сиденко В.М. – К. : Будівельник, 1983. – 221 с.
115. Шведков Е.Л. Элементарная математическая статистика в экспериментальных задачах материаловедения / Шведков Е. Л. – К. : Наукова думка, 1975. – 112 с.
116. Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України : П-Г. 1-218-113:2009. – К. : Укравтодор, 2009. – 269 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
117. Норми фінансових витрат на поточний дрібний ремонт та експлуатаційне утримання автомобільних доріг загального користування та мостів на них : СОУ 42.1-37641918-065:2013. – К. : Укравтодор, 2014. – 26 с. – (Нормативний документ Укравтодору).

ДОДАТОК А

МЕТОДИКА ЧЕГОДАЄВА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФІЦИТУ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ 5 % ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ

Величина дефіциту вологості повітря 5 % забезпеченості (d , мбар) знаходиться за методикою Чегодаєва у такій послідовності:

1) Заносять до таблиці А.1 значення дефіциту вологості повітря за 40 років та відповідні роки спостереження.

Таблиця А.1 – Значення дефіцитів вологості повітря за роки спостережень

Рік спостереження дефіциту вологості повітря	Дефіцит вологості повітря d , мбар
P_1	d_1
P_2	d_2
...	...
P_n	d_n

2) Порядковий номер початкового дефіциту (d_0) визначають за формулою:

$$N_0 = 0,412 \cdot n + 0,5. \quad (\text{А.1})$$

3) Заносять до таблиці А.2 N_0 значень дефіциту вологості повітря у порядку зменшення. Нульовий дефіцит, який відповідає N_0 порядку, буде d_0 .

4) Знаходять значення середнього періоду емпіричної повторюваності для кожного дефіциту в табличній формі (таблиця А.2) за формулою, роки:

$$T = \frac{n + 0,4}{N - 0,3}, \quad (\text{A.2})$$

де n – загальне число років у ряду;

N – порядковий номер дефіциту в спадаючому ряду.

5) Вносять до таблиці А.2 значення $(d - d_0)$.

Таблиця А.2 – Розрахунок середнього періоду емпіричної повторюваності

№	Дефіцит вологості повітря в спадаючому порядку d , мбар	$(d - d_0)$, мбар	Середній період емпіричної повторюваності, T
1	d_1	$(d_1 - d_0)$	T_1
2	d_2	$(d_2 - d_0)$	T_2
3	...	...	...
4	d_n	$(d_n - d_0)$	T_n

6) Значення $(d - d_0)$ і T відкладають у вигляді точок на випрямляючій сітці Чегодаєва. По отриманих точках (без урахування ряду перших та останніх дефіцитів, які не завжди є характерними) проводять пряму, яка і продовжується до необхідного розрахункового періоду ймовірності перевищення.

7) Визначають потрібне значення дефіциту вологості повітря, яке відповідає розрахунковому значенню емпіричної повторюваності.

ДОДАТОК Б

ДОВІДКОВІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ

Таблиця Б.1 – Значення коефіцієнтів теплопровідності ґрунтів

Щільність грунту, кг/см ³	Вологість ґрунту, %	Коефіцієнт теплопровідності, ккал / м·г·град	
		Талий ґрунт	Мерзлий ґрунт
Піщані ґрунти			
1,70	20	2,20	3,39
1,65	15	1,73	2,54
1,60	20	1,80	2,72
1,60	15	1,53	2,21
1,60	8	1,24	1,62
1,50	20	1,60	2,37
1,50	15	1,34	1,92
1,50	8	1,09	1,41
1,40	20	1,40	2,05
1,40	15	1,17	1,66
1,40	8	1,96	1,23
1,30	25	1,28	1,90
Глинисті ґрунти			
1,70	18	1,59	2,14
1,60	27	1,78	2,40
1,60	18	1,42	1,88
1,50	27	1,50	2,13
1,50	18	1,25	1,65
1,40	27	1,34	1,89
1,40	18	1,06	1,35
1,30	40	1,43	2,03
1,30	27	1,14	1,55
1,30	18	1,85	1,08
1,20	40	1,29	1,83
1,20	27	0,93	1,28

Таблиця Б.2 – Температура льодоутворення для різних ґрунтів

Рід ґрунту	t_L , °C
Середньозернисті ґрунти	від -0,4 до -0,6
Піщанисті супіски	від -0,2 до -0,6
Пилуваті супіски	від -0,3 до -0,5
Важкі пилуваті суглинки	від -0,9 до -1,4
Важкі пилуваті глини	від -1,2 до -2,0

Таблиця Б.3 – Значення коефіцієнтів теплопровідності шарів дорожнього одягу

Шари дорожнього одягу	Об'ємна маса, кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності, ккал/ м·г·град
Цементобетон на міцному щебені	2200	1,10
Цементобетон на пористому щебені	1800	0,75
Асфальтобетон грубозернистий	2100	0,90
Асфальтобетон дрібнозернистий	2000	0,65
Збірні залізобетонні покриття	2400	1,35
Пісний бетон	1800	0,75
Шлакобетон	1500	0,60
Шлакобетон	1200	0,45
Щебінь гранітний	1800	2,20
Щебінь з піщаників та кварцитів	1500	1,80
Щебінь з вапняку	1300	1,40
Піщано-гравійна суміш	1500	2,25
Бітумоґрунт, цементоґрунт	1600	1,80
Шлак паливний	1000	0,25

Таблиця Б.4 – Залежність величини R_{Π} від швидкості вітру

V, м/сек	1	2	3	4	5	6-7	8-10
R_{Π} , град·м ² ·г/ккал	0,16	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05

Таблиця Б.5 – Значення величини змочування поверхні проїзної частини і узбіч

Тип покриття чи узбіч	$a_{\text{см}}$, мм	$\max h_{\text{см}}$, мм
1	2	3
Покриття: асфальтобетонне цементобетонне	0,01 0,02	0,5 1,0
Ґрунтове узбіччя: оголене з трав'яним покривом середньої густоти з густим трав'яним покривом	0,04 0,10 0,15	1,5 3,0 4,0

Таблиця Б.6 – Значення функції похилу поверхні

$I, \%$	$\varphi(l)$	$I, \%$	$\varphi(l)$	$I, \%$	$\varphi(l)$	$I, \%$	$\varphi(l)$
2	1,59	8	1,82	50	3,02	200	5,62
3	1,66	9	1,85	60	3,17	300	6,96
4	1,70	10	1,86	70	3,47	400	7,80
5	1,74	20	2,14	80	3,59	600	9,00
6	1,78	30	2,40	90	3,80	800	9,50
7	1,80	40	2,75	100	3,98	1000	10,00

Таблиця Б.7 – Значення коефіцієнта, який враховує тип укріплення узбіч

Характеристика узбіччя	Величина коефіцієнту		Характеристика узбіччя	Величина коефіцієнту	
	$A_{\text{укр}}$	$B_{\text{укр}}$		$A_{\text{укр}}$	$B_{\text{укр}}$
Неукріплене (грунтове)	1	1	2000	0,55	0,4
Укріплені щебенем при щільності, кг/м ³ :			2180	0,4	0,35
1820	0,9	0,55	Укріплене піщано-гравійною сумішшю	0,6	0,7
1920	0,8	0,5			

Таблиця Б.8 – Значення коефіцієнтів $K_{\text{П}}$ та $K_{\text{Г}}$ відповідно до [16]

Дорожньо-кліматична зона	Тип місцевості за зволоженням	$K_{\text{П}}$ для непиловатих ґрунтів	Пиловаті ґрунти	
			$K_{\text{П}}$	$K_{\text{Г}}$
Північна	1	1,5	1,5	1,0/1,0
	2	1,5	1,6	1,2/1,2
	3	1,6	1,7	1,3/1,2
Центральна	1	1,4	1,5	1,0/1,0
	2	1,4	1,5	1,1/1,0
	3	1,5	1,6	1,2/1,0
Південна	3	1,0	1,3	1,1/1,0

Примітка 1. Для непиловатих ґрунтів $K_{\text{Г}} = 1,0$.

Примітка 2. У чисельнику наведено значення $K_{\text{Г}}$ при інтенсивності руху понад 1000 авт./доба на смугу, а в знаменнику – при інтенсивності менше 1000 авт./доба.

ДОДАТОК В
МЕТЕОРОЛОГІЧНА СТАТИСТИКА УКРАЇНСЬКОГО
ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО ЦЕНТРУ

Таблиця В.1 – Місячні показники, станція Київ, 1981 рік

Показник	Місяць											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сума опадів, мм	26,4	47,1	42,2	32,7	25,7	48,9	105,2	49,2	19,3	101,4	59,4	110,3
Кількість днів з дощами	9	11	10	15	12	13	9	15	10	20	14	12
Сумарна тривалість дощів, год.	62	49	50	50	26	24	49	26	54	112	81	93
Дефіцит насиченості водяної пари, гПа (мБ)	0,64	1	1,9	3,3	8,1	10,5	8	7,6	4,9	2,6	1,3	0,7
Парціальний тиск водяної пари, що міститься в повітрі, гПа	3,87	4,4	5,6	5,9	11	15,5	17,2	14,4	11,9	9,9	5,8	5

Таблиця В.2 – Місячні показники, станція Київ, 1991 рік

Показник	Місяць											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сума опадів, мм	18,4	52,3	6,5	18,6	117,0	97,4	62,8	54,5	7,2	61,1	17,0	20,2
Кількість днів з дощами	5	8	1	14	20	13	12	20	9	9	3	1
Сумарна тривалість дощів, год.	10	38	2	30	66	37	35	32	11	51	5	0
Дефіцит насиченості водяної пари, гПа (мБ)	1,1	0,8	1,4	4,5	4,2	6,6	8,1	7,0	5,9	2,6	0,7	0,70
Парціальний тиск водяної пари, що міститься в повітрі, гПа	4,71	3,51	5,3	7,3	10,8	15,4	17,6	15,5	11,5	9,7	6,7	4,50

Таблиця В.3 – Місячні показники, станція Київ, 2001 рік

Показник	Місяць											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сума опадів, мм	33,0	53,7	89,3	65,1	33,3	152,1	5,8	16,4	52,5	22,6	69,7	38,9
Кількість днів з дощами	—	—	1	5	12	18	8	4	3	2	—	—
Сумарна тривалість дощів, год.	—	—	3	7	11	45	8	6	4	2	—	—
Дефіцит насиченості водяної пари, гПа (мБ)	0,72	0,89	2,3	5,0	6,9	5,0	11,7	10,4	4,2	2,9	1,7	0,61
Парціальний тиск водяної пари, що міститься в повітрі, гПа	5,16	4,39	5,46	8,8	9,8	14,6	20,0	15,6	12,1	9,6	5,8	3,07

Таблиця В.4 – Місячні показники, станція Київ, 2011 рік

Показник	Місяць											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сума опадів, мм	22,9	32,8	7,3	22,9	26,5	132,3	153,4	52,8	17,7	76,9	4,7	29,4
Кількість днів з дощами	—	1	4	10	3	16	17	9	6	4	2	2
Сумарна тривалість дощів, год.	—	2	3	14	4	28	38	24	5	3	2	0
Дефіцит насиченості водяної пари, гПа (мБ)	0,62	1,1	2,9	7,0	9,7	12,1	8,1	8,1	7,4	2,9	1,8	1,2
Парціальний тиск водяної пари, що міститься в повітрі, гПа	4,66	3,16	4,4	6,2	10,6	13,9	18,8	14,9	11,1	8,2	5,65	6,2

Таблиця В.5 – Дані метеорологічної статистики за 1981 рік (січень-квітень)

Дата	Січень		Лютий		Березень		Квітень	
	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с
1	3,2	5	2	6	-8	2	1,3	4
2	0,8	6	2,6	8	-6,4	0	1,5	6
3	-0,1	5	3	6	-4,9	2	3,1	3
4	0,8	6	3,8	7	-1,7	2	4,7	1
5	-1,4	4	3	1	-1	4	5,8	2
6	-6,4	7	1,1	3	-0,7	2	4,7	3
7	-10,0	2	-0,3	2	0,2	3	6,3	2
8	-14,1	2	1,3	5	4	6	8,1	2
9	-13,8	2	3	10	6	5	10,1	2
10	-13,5	2	0,7	5	7,8	8	9,5	2
11	-8,1	1	-0,7	1	0,9	7	7,3	1
12	-7,8	1	-1	2	-0,2	4	10,7	0
13	-5,3	2	-2,2	5	-4,1	2	14,3	2
14	-5,2	2	-4,8	5	-3,4	5	8,9	8
15	-2,9	1	-6,9	2	2,8	4	3,4	5
16	-3,8	2	-6,6	3	4,4	3	2	4
17	-8,2	1	-6,2	5	-0,5	1	0,1	3
18	-11,3	1	-3,1	2	0,1	0	1,5	1
19	-4,5	0	-1,2	2	1	1	3,5	3
20	-2,5	2	-0,6	1	1,4	4	1,6	5
21	0,7	4	-2,1	0	5,3	2	4,6	4
22	-1,7	2	-1,3	1	9,1	1	6,7	7
23	-2,9	2	-2,9	1	9	3	4	4
24	-2,7	2	-7,3	2	8,3	3	3,5	3
25	-3,6	1	-9,4	3	6,7	3	3,9	2
26	-3,3	3	-8,3	3	9,9	2	4,3	1
27	-3,2	2	-9	3	10,6	3	6,1	1
28	-3,3	3	-9,1	4	3,3	6	7,8	2
29	-8,9	2	-	-	0,2	5	6,8	3
30	-7,4	4	-	-	1,1	1	4,6	2
31	0,7	6	-	-	1,5	2	-	-

Таблиця В.6 – Дані метеорологічної статистики за 1981 рік (травень-серпень)

Дата	Травень		Червень		Липень		Серпень	
	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с
1	6,8	2	19,6	1	17,2	2	17,9	2
2	8,4	1	19,5	0	17,2	2	19,9	1
3	9,3	1	21	1	19,2	1	21,1	2
4	10,5	1	23,1	2	20,3	2	19,4	3
5	14	1	23,8	3	19,6	2	19,5	4
6	15,9	2	21,4	1	17	3	21,9	3
7	16,2	1	22,3	1	16,2	4	22,4	1
8	15,6	1	24,4	2	17,9	2	22,9	0
9	17	1	25,6	2	18,9	3	24,7	1
10	19,4	3	25	1	20,5	3	22,6	2
11	19,4	2	24,3	1	20,2	4	20,9	0
12	20,5	2	24	1	19,8	2	18,6	2
13	15,9	3	19	2	21,7	1	18,2	2
14	9,5	4	12,2	2	22,5	0	18,8	1
15	14	2	14,8	2	23	2	20,2	1
16	16,7	2	15,4	3	20,1	1	20,9	1
17	16,5	1	15,5	1	20,5	1	22,9	2
18	16	0	16,4	1	22	1	16,7	3
19	17,1	1	20,5	2	24,4	2	15	1
20	17	2	18,9	2	25,6	2	17,7	0
21	16,5	1	17,1	4	23,3	2	21,4	1
22	17,7	1	22,8	3	17,2	3	23,8	0
23	17,1	1	25,1	2	20,1	2	16	3
24	17,6	1	24,5	2	23,6	1	16,1	1
25	18,7	2	21,7	2	23,7	2	15,3	1
26	19,9	1	21,5	1	23,7	1	13,5	2
27	20,6	1	23,3	1	23	1	12,7	2
28	21,1	3	20,7	1	25,3	2	10,7	2
29	20,3	3	23,5	1	24,5	3	10,9	3
30	17,1	2	25,6	1	17,6	2	12	3
31	17,6	1	-	-	18,7	1	14,1	1

Таблиця В.7 – Дані метеорологічної статистики за 1991 рік (січень-квітень)

Дата	Січень		Лютий		Березень		Квітень	
	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с
1	0,6	2,9	-16,8	5,0	19,5	3,8	5,6	2,4
2	0,5	2,4	-11,8	5,0	18,1	2,9	6,7	2
3	0,4	3,3	-11,5	4,0	21,7	2,1	8,9	1,9
4	2,1	2,8	-14,1	3,0	21,8	0,9	7,2	1,8
5	3,5	2,4	-16,5	1,0	22,5	2,4	7,1	2
6	1,1	3	-13,8	2,0	23,1	1,8	6,2	1,3
7	2,2	3,5	-11,8	1,0	24,1	1,9	6	1,4
8	3,2	2,6	-7,5	1,0	25,3	1,9	8,1	1,1
9	2,9	2,5	-10,4	2,0	26,1	3,9	9,2	2
10	2	3	-8,7	4,0	23,3	2,4	11,9	2,9
11	7,6	5,3	-5,5	4,0	20,4	1,6	11,8	2,5
12	6,7	2,5	-2,6	3,0	21,2	2,3	11,2	3
13	3,2	3	-0,8	3,0	19,2	1	11,1	1,5
14	-2,3	4,6	-0,6	2,0	16,3	2,1	12	1,1
15	-3,9	3,5	-3,4	3,0	16,8	2,6	12,8	1,9
16	-5,5	2,9	-5,7	3,0	18,5	2,1	13,6	3,6
17	-2,9	2,3	-5,6	3,0	19	2	9,7	2,6
18	-3,6	2,6	-3,2	4,0	20	2	6,9	2,3
19	-3,5	1,5	-4,6	3,0	16,4	1,1	14,1	4,1
20	-5,2	2,1	-3,0	3,0	14,2	4,1	10,4	2,9
21	-6	2	-2,2	2,0	15,7	2,6	6,4	1,8
22	-3,8	1,9	-0,5	2,0	15,3	3,1	5,5	2,8
23	-0,5	3	-1,6	1,0	16,4	5	4,2	2
24	0,1	4,1	-3,6	1,0	17,5	2,5	6,9	2,3
25	-1,3	4,1	0,9	0,0	17,1	3	7,2	3,1
26	1,5	5,8	2,6	1,0	17,5	4,4	7,2	2,1
27	-5,3	3,9	1,0	1,0	16,5	1,1	8,5	1,8
28	-9,2	1,5	-0,5	1,0	16,5	0,6	9,8	2,8
29	-3,8	2,9	-	-	14,6	2,4	10,7	1,5
30	-10,9	6,1	-	-	15,6	1,3	12,3	3,5
31	-19,1	5,1	-	-	15,1	2,4	-	-

Таблиця В.8 – Дані метеорологічної статистики за 1991 рік (травень-серпень)

Дата	Травень		Червень		Липень		Серпень	
	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с
1	10,6	2,8	12,8	1,8	20	5,1	19,5	2,6
2	13,2	2,1	15,1	2,6	26,7	2,9	18,1	2,5
3	16,5	2	13,5	1,5	26,4	3,1	21,7	1,4
4	16	2,4	17,3	3,3	24,5	3,1	21,8	1,5
5	13,4	3,1	18,8	2,9	23,2	2,6	22,5	1,6
6	12	1,5	13,4	1,9	21,9	2,8	23,1	0,9
7	12,9	2	13,7	1,3	21,5	2,8	24,1	0,9
8	12,4	1,6	17,7	1,4	22,2	1,8	25,3	2,5
9	12,4	2,8	16,6	1,3	23,6	2,4	26,1	1,8
10	11,2	3,4	18,5	1,6	25,1	1,6	23,3	2,9
11	10,7	1,5	19,4	1,8	22,3	2,3	20,4	2,5
12	13,1	2,9	17,9	1,6	19,9	3,1	21,2	3,4
13	15	2,1	16,5	2,5	19,8	1,8	19,2	2,6
14	15,3	2,3	19,3	2,8	21,8	1,4	16,3	1,4
15	15,7	1,6	16,6	2,3	23,8	2	16,8	2
16	14,5	2,3	19,6	3,1	20,7	2,1	18,5	1
17	15,3	2,4	23,8	3,1	20,8	1,8	19	1,4
18	13,5	1,8	24,5	3	22	1,8	20	3,4
19	13,2	1,1	25,2	1,4	18,3	2,6	16,4	1,3
20	12,8	2,1	20,4	1	20,4	2	14,2	1,8
21	12,6	2,9	18,1	2,6	20,3	1,1	15,7	2,3
22	11	3,3	19,8	3,6	19,2	0,5	15,3	1,9
23	11,8	2,6	19,5	3,3	17,1	2	16,4	2,5
24	9,3	2,4	21,2	2	17,2	2,1	17,5	2,6
25	10,4	2	18,9	1,8	20	1,5	17,1	0,9
26	10,3	3,4	17,8	3,1	21,7	2,4	17,5	1,9
27	12,5	3,3	19,1	1,9	20,8	0,8	16,5	1,8
28	13,6	0,6	21,5	1,4	18,2	3,9	16,5	2,4
29	11,5	1,9	19,5	2,4	18,2	4	14,6	3
30	12	1,8	19,3	2,1	18,8	3,8	15,6	3,8
31	11,9	1,6	-	-	19,6	2,6	15,1	2,6

Таблиця В.9 – Дані метеорологічної статистики за 2001 рік (січень-квітень)

Дата	Січень		Лютий		Березень		Квітень	
	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с
1	0	2	-1,2	3,1	-5,3	3,3	4,9	1,1
2	-1,2	2,4	-4,7	3,6	-0,8	1,6	7,5	1,4
3	-1,6	2,1	-6,9	0,6	1,2	3,4	11,8	1,4
4	-0,4	1,4	-7,3	1,5	3,9	1,8	13	1,8
5	1,8	2,1	-6,5	2,1	5	2,1	12	1,9
6	1,1	2,8	-4,3	2,1	0,2	4,5	11,6	1,4
7	4,8	2,3	-1,7	3,6	1,8	3,6	9,2	2,3
8	4,9	1,3	0,2	3,6	1,6	2,1	12	1,9
9	5,6	1,6	3	3,8	2	3,3	13,3	1,8
10	1,9	4,4	1,8	1,3	3,7	3,5	14	2,1
11	1	3,3	1,4	3,4	6	2,5	14	1,1
12	-2,1	3,5	-0,1	2,8	7,5	1,8	14,2	2,5
13	-3,9	3	1,9	2,6	9,6	2,3	7,7	2,6
14	-3,3	3,3	1,7	3,6	10,8	3,8	4,5	3
15	-0,3	1,8	1,4	3,3	5,8	3,3	4,5	2,5
16	0	1,5	1,6	3,1	5,1	2,4	7,5	1,3
17	-1,4	2	0,4	1	5,7	2,8	10,1	2,1
18	-2,9	1,8	-0,7	3,9	2,5	2,8	10,4	2
19	-2,2	2	-2,9	4,6	2,4	2,8	11,1	1
20	-4,9	1,9	-7,9	3,4	4,7	3	13,4	1,3
21	-5,7	1,4	-1,8	3,8	-0,3	3,4	11,6	2,3
22	-6,1	1,5	-0,9	3,3	-0,5	1,5	13,1	2,8
23	-6,6	2,9	-2,8	3,6	1,1	1,3	15,5	2,3
24	-8,3	2,5	-6,4	2,6	0,8	2,4	13,2	3
25	-6,5	4,5	-8,5	2,9	0,3	1,6	12,7	1,9
26	-0,3	5	-6,9	2,1	1,2	3,1	11,9	1,8
27	3,6	3,8	-7	3	-1,7	3,3	11,8	3,1
28	2,4	1,4	-4,8	3,3	-1,3	2,8	11	3,3
29	0,5	1,1	-	-	1,5	1,3	13	1,9
30	0,4	1,6	-	-	3,1	1,8	15,1	0,9
31	-0,2	2,8	-	-	5,5	1	-	-

Таблиця В.10 – Дані метеорологічної статистики за 2001 рік (травень-серпень)

Дата	Травень		Червень		Липень		Серпень	
	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с
1	17,4	1,1	10,1	1,4	22,3	0,8	22,2	1,8
2	19	2,6	11,1	1,9	22,7	1,5	18,4	2,8
3	14,5	3,4	14,4	3	22,8	1,1	19,3	1,8
4	14,6	1,6	14,9	2,5	23,5	0,9	22,2	2,8
5	16,8	1	14,4	3,1	23,4	1,5	24,8	2,8
6	17,4	1,5	14,5	2,9	22,4	1,3	21,9	2,3
7	18,2	2	15,2	1,9	23,2	1,1	21,4	1,4
8	15,7	3,4	16,4	2,1	24,9	1,8	22,5	1,8
9	11,2	3,1	18,4	1,6	23,3	2,4	24,4	2,4
10	12,2	1,6	16	1,3	22,1	2	26,3	1,6
11	12,3	1,5	17,2	1,5	21,9	1,1	24,2	2,8
12	9,2	4	15,7	2,5	23,5	1,4	18,4	4,1
13	8,2	4	13,6	1,9	22,7	1,5	17,3	4
14	9,9	1,6	15,3	1,9	25	1	19,8	1,6
15	15,3	3,1	15,8	0,9	27	1,6	22,3	2,8
16	16,5	2,9	16,7	1,4	28	1,6	23	1,5
17	18,7	2,6	18,6	0,6	27,4	1,9	23,8	0,6
18	19,8	3,6	21,1	2	25,4	2,6	24,5	0,9
19	14,9	3,5	21,1	1,8	23,1	1	25	0,9
20	13	2,3	21,8	1,1	25,8	1,4	25,9	0,9
21	12,6	2,6	19,5	1,8	26,9	1,1	26,1	1,4
22	11,6	2,6	19,1	3,4	27,8	1,1	20,8	1,3
23	10,4	2,6	15,5	2,5	29,1	1,8	21,9	3
24	13,6	1,8	13,4	2	26,6	1,8	19,6	1,6
25	17,3	2,5	17,7	1,9	25,9	1,4	20,4	0,8
26	12,4	2,6	17,5	1,8	25,8	2	19,7	1,8
27	11,9	2,4	16,8	2,5	24,6	1,5	19,8	1,6
28	16,4	3	16,9	3	24,5	1,6	16,9	2,4
29	13,8	2,4	20,2	3	23,6	2,4	13	2,4
30	12,2	3,4	22,2	1,3	23,1	3	12,2	2,5
31	11,9	2,5	-	-	24,3	1,5	14,2	1,8

Таблиця В.11 – Дані метеорологічної статистики за 2011 рік (січень-квітень)

Дата	Січень		Лютий		Березень		Квітень	
	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с
1	-3	3,6	-4,5	2,8	-7,8	2,9	10,2	3,5
2	-0,4	5,1	-3,7	3	-5,6	1,3	11,1	3,8
3	-3	2,3	-2,7	2,6	-1,7	1,4	8	2,6
4	-4,3	1	0,4	3,4	-0,6	2,9	5,7	2,5
5	-6,8	2,3	2,1	6,3	1,1	5,1	6,4	1,5
6	-10,3	3,6	4,8	5,4	-0,2	3,8	9,6	3
7	-9,1	3,4	1,4	2,4	-3	4,6	11,6	3,9
8	-2,3	4	5,4	3,8	-3,4	2	7,3	5,4
9	0,4	2,9	3,5	5,4	-3,2	1,6	4,9	5,1
10	1	4,1	-2,1	4,5	-2,9	1,6	4	4,3
11	1,1	2,6	-4,2	3,3	-0,7	3,4	3,3	4,3
12	-0,7	3,4	-1,8	3,9	4,7	3,5	4,7	2
13	1,3	2,3	-9,8	5,9	5,6	3,3	5,2	2,6
14	1	1,8	-13,2	3,8	7,2	3,4	7,1	2,1
15	0,2	1,4	-13,8	2,9	10,6	3,1	6,3	3,8
16	-2,2	2,6	-11,8	1,4	3	3,5	7,6	3,6
17	-0,9	2,1	-10,4	0,8	-0,6	2,8	9,4	2,1
18	3,6	2	-9,9	1,5	-0,7	1,8	12,8	3,3
19	1,7	2,4	-9,5	2	-0,6	1,9	12,1	4
20	1,8	1,4	-10,8	2,1	1,3	2,6	8,4	4
21	-0,2	2	-11,5	2,3	2,2	2,6	8,5	1,8
22	-1,2	2,8	-11,2	2,8	4,6	3,1	11,1	2,5
23	-2,5	1,9	-11,1	2,6	7,8	4	12,7	1,4
24	-3,7	1,1	-9,7	2,3	6	4,9	15	1
25	-5,5	0,6	-8,8	2,8	3,9	4,1	16,9	0,8
26	-6,4	2,3	-9,7	3	1,9	3,3	17,6	0,9
27	-5,4	1,9	-10,3	2,5	-0,9	1,8	18	1,4
28	-4,3	2,5	-8,5	3	-0,7	3,9	17	1,1
29	-6,2	3,4	-	-	3,3	2	17,1	1,1
30	-5,9	3,9	-	-	7,9	3	16,8	0,9
31	-2	3,1	-	-	8,7	1,3	-	-

Таблиця В.12 – Дані метеорологічної статистики за 2011 рік (травень-серпень)

Дата	Травень		Червень		Липень		Серпень	
	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с	темпер. повітря, град.	серед. швид. вітру, м/с
1	13,6	1,3	25,2	1,6	18,3	2,1	19,1	1,5
2	15,1	3,8	25,1	2,6	17,5	3	20,1	1,5
3	11,7	1,4	25	2,5	15,2	2,4	17,3	2,3
4	13,2	1,8	21,6	3,5	15,6	1,1	13,6	3,6
5	9,2	4	20,4	2,3	17	1,3	16,7	2,4
6	5,7	4,5	22,7	1,3	16,4	2,1	18,1	1
7	5,9	2	24,7	1,1	17,8	1,6	19,7	2,9
8	9,2	1,8	25,7	2	21	2,1	22,4	4
9	16,6	3,3	24,6	1,9	21,8	1,6	20,8	3,5
10	15,9	3,8	23,6	2,6	23,9	2,1	16,2	1,4
11	16,8	3	20,6	2,1	25,2	0,9	16,7	1,6
12	18,4	1,8	21,2	2,6	22,1	0,9	18,6	2,8
13	19,9	2	18,7	3,1	23,3	1,8	22,1	2,6
14	15,3	3,5	20,3	3,4	25,1	1	23,6	0,3
15	14,4	1,8	20,8	2,1	25	1,4	21,4	2,4
16	16,4	1,6	22,4	2,3	25,8	1	22,2	1,6
17	14,2	2,5	22,6	1,5	25,3	1,6	19,3	3,1
18	17,6	2	25,5	2,6	25,7	1,3	18,5	3,4
19	20,1	1	25,4	3,6	25,5	1,9	18,9	1,8
20	21	1,1	18,6	2,8	24	1,6	18,8	2,9
21	21,7	1,5	16,5	3,5	24,8	1,8	17,2	3
22	23	1,6	19,6	1,8	21,2	1,6	18,1	2
23	22,3	0,9	22,4	2,1	19,4	2,8	21,3	2,8
24	20,8	2,4	21,9	1,4	19,6	1,4	17,6	2,4
25	19,2	3,3	16,8	2,9	22,1	1,1	18,8	1,3
26	14,2	2,9	14,6	4,6	25	1	18,5	1,3
27	16,7	3,1	14	6	23,7	1,6	18,3	2
28	20,1	3	16,8	3,4	22,5	2	19,7	1,8
29	22,3	2,4	16,5	2,3	21,7	1,5	20,5	1,9
30	22,6	2,6	19	0,9	22	0,9	21,9	1,1
31	24,5	2,3	-	-	19,9	1,4	22,5	1,8

ДОДАТОК Г

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ НАДХОДЖЕННЯ ВОЛОГИ ПРИ РОЗТАВАННІ ДОРОЖНЬОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Таблиця Г.1 – Розраховані середні значення метеорологічної статистики
(1981 та 1991 роки)

№ п/п	$t_b, ^\circ\text{C}$	$V, \text{м/с}$	$R_{\text{п}}, \text{град} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Г/ккал}$	$t_b, ^\circ\text{C}$	$V, \text{м/с}$	$R_{\text{п}}, \text{град} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Г/ккал}$
	1981 рік			1991 рік		
1	2	3	4	5	6	7
1	0,10	0	-	19,50	4	0,08
2	0,55	1	0,16	18,80	3	0,09
3	0,83	2	0,11	19,77	3	0,09
4	1,95	2	0,11	20,28	2	0,11
5	3,38	2	0,11	20,72	2	0,11
6	4,32	2	0,11	21,12	2	0,11
7	4,89	2	0,11	21,54	2	0,11
8	5,11	2	0,11	22,01	2	0,11
9	5,64	2	0,11	22,47	2	0,11
10	6,14	2	0,11	22,55	2	0,11
11	5,88	3	0,09	22,35	2	0,11
12	5,41	3	0,09	22,26	2	0,11
13	5,08	3	0,09	22,02	2	0,11
14	4,82	3	0,09	21,61	2	0,11
15	4,59	3	0,09	21,29	2	0,11
16	4,39	3	0,09	21,12	2	0,11
17	4,32	3	0,09	20,99	2	0,11
18	4,34	3	0,09	20,94	2	0,11
19	4,42	3	0,09	20,70	2	0,11
20	4,43	3	0,09	20,38	2	0,11
21	4,52	3	0,09	20,15	2	0,11
22	4,68	3	0,09	19,93	2	0,11
23	4,92	3	0,09	19,78	2	0,11
24	5,11	3	0,09	19,68	2	0,11
25	5,20	3	0,09	19,58	2	0,11
26	5,41	2	0,11	19,50	3	0,09
27	5,74	2	0,11	19,39	2	0,11
28	5,85	3	0,09	19,29	2	0,11
29	5,77	3	0,09	19,12	2	0,11
30	5,64	3	0,09	19,01	2	0,11
31	5,46	3	0,09	18,88	2	0,11
32	5,34	3	0,09	18,47	2	0,11
33	5,28	3	0,09	18,11	2	0,11
34	5,17	3	0,09	17,84	2	0,11
35	5,16	3	0,09	17,53	2	0,11
36	5,20	3	0,09	17,24	2	0,11

Продовження таблиці Г.1

1	2	3	4	5	6	7
37	5,17	3	0,09	16,95	2	0,11
38	5,12	3	0,09	16,66	2	0,11
39	5,09	3	0,09	16,44	2	0,11
40	5,07	3	0,09	16,26	2	0,11
41	5,10	3	0,09	16,15	2	0,11
42	5,16	3	0,09	16,05	2	0,11
43	5,20	3	0,09	15,93	2	0,11
44	5,19	3	0,09	15,83	2	0,11
45	5,22	3	0,09	15,74	2	0,11
46	5,29	3	0,09	15,68	2	0,11
47	5,38	3	0,09	15,63	2	0,11
48	5,48	3	0,09	15,51	2	0,11
49	5,66	3	0,09	15,33	2	0,11
50	5,86	3	0,09	15,31	2	0,11
51	6,06	3	0,09	15,21	2	0,11
52	6,25	3	0,09	15,04	2	0,11
53	6,45	3	0,09	14,86	2	0,11
54	6,69	3	0,09	14,66	2	0,11
55	6,92	3	0,09	14,52	2	0,11
56	7,16	3	0,09	14,39	2	0,11
57	7,32	3	0,09	14,27	2	0,11
58	7,36	3	0,09	14,17	2	0,11
59	7,47	3	0,09	14,09	2	0,11
60	7,62	3	0,09	14,04	2	0,11
61	7,77	3	0,09	14,01	2	0,11
62	7,90	2	0,11	13,95	2	0,11
63	8,05	2	0,11	13,94	2	0,11
64	8,19	2	0,11	13,98	2	0,11
65	8,31	2	0,11	14,01	2	0,11
66	8,46	2	0,11	14,00	2	0,11
67	8,59	2	0,11	13,97	2	0,11
68	8,72	2	0,11	13,96	2	0,11
69	8,86	2	0,11	13,93	2	0,11
70	9,02	2	0,11	13,91	2	0,11
71	9,18	2	0,11	13,87	2	0,11
72	9,35	2	0,11	13,83	2	0,11
73	9,50	2	0,11	13,82	2	0,11
74	9,60	2	0,11	13,84	2	0,11
75	9,71	2	0,11	13,86	2	0,11
76	9,84	2	0,11	13,88	2	0,11
77	9,96	2	0,11	13,89	2	0,11
78	10,11	2	0,11	13,91	2	0,11
79	10,27	2	0,11	13,90	2	0,11
80	10,44	2	0,11	13,89	2	0,11
81	10,57	2	0,11	13,88	2	0,11
82	10,72	2	0,11	13,86	2	0,11
83	10,88	2	0,11	13,83	2	0,11
84	11,06	2	0,11	13,80	2	0,11

Кінець таблиці Г.1

1	2	3	4	5	6	7
85	11,22	2	0,11	13,75	2	0,11
86	11,37	2	0,11	13,71	2	0,11
87	11,52	2	0,11	13,67	2	0,11
88	11,60	2	0,11	13,66	2	0,11
89	11,61	2	0,11	13,66	2	0,11
90	11,65	2	0,11	13,64	2	0,11
91	11,69	2	0,11	13,62	2	0,11
92	11,73	2	0,11	13,60	2	0,11
93	11,78	2	0,11	13,59	2	0,11
94	11,87	2	0,11	13,61	2	0,11
95	11,95	2	0,11	13,61	2	0,11
96	12,00	2	0,11	13,64	2	0,11
97	12,11	2	0,11	13,70	2	0,11
98	12,24	2	0,11	13,69	2	0,11
99	12,37	2	0,11	13,69	2	0,11
100	12,46	2	0,11	13,73	2	0,11
101	12,55	2	0,11	13,76	2	0,11
102	12,65	2	0,11	13,81	2	0,11
103	12,73	2	0,11	13,86	2	0,11
104	12,84	2	0,11	13,90	2	0,11
105	12,96	2	0,11	13,93	2	0,11
106	13,00	2	0,11	13,98	2	0,11
107	13,04	2	0,11	14,00	2	0,11
108	13,09	2	0,11	14,05	2	0,11
109	13,16	2	0,11	14,14	2	0,11
110	13,22	2	0,11	14,24	2	0,11
111	13,25	2	0,11	14,34	2	0,11
112	13,28	2	0,11	14,39	2	0,11
113	13,32	2	0,11	14,42	2	0,11
114	13,37	2	0,11	14,47	2	0,11
115	13,43	2	0,11	14,51	2	0,11
116	13,49	2	0,11	14,57	2	0,11
117	13,54	2	0,11	14,61	2	0,11
118	13,61	2	0,11	14,64	2	0,11
119	13,69	2	0,11	14,67	2	0,11
120	13,77	2	0,11	14,73	2	0,11
121	13,82	2	0,11	14,77	2	0,11
122	13,87	2	0,11	14,81	2	0,11
123	13,94	2	0,11	14,85	2	0,11
124	14,02	2	0,11	14,94	2	0,11
125	14,12	2	0,11	15,04	2	0,11
126	14,19	2	0,11	15,11	2	0,11
127	14,21	2	0,11	15,17	2	0,11
128	14,26	2	0,11	15,23	2	0,11
129	14,33	2	0,11	15,28	2	0,11
130	14,40	2	0,11	15,33	2	0,11
131	14,47	2	0,11	15,39	2	0,11

Таблиця Г.2 – Розраховані середні значення метеорологічної статистики
(2001 та 2011 роки)

№ п/п	$t_{в}, ^\circ\text{C}$	$V, \text{м/с}$	$R_{п}, \text{град} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Г/ккал}$	$t_{в}, ^\circ\text{C}$	$V, \text{м/с}$	$R_{п}, \text{град} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Г/ккал}$
	2001 рік			2011 рік		
1	2	3	4	5	6	7
1	1,20	3	0,09	4,70	4	0,08
2	2,55	3	0,09	5,15	3	0,09
3	3,37	2	0,11	5,83	3	0,09
4	2,58	3	0,09	7,03	3	0,09
5	2,42	3	0,09	6,22	3	0,09
6	2,28	3	0,09	5,08	3	0,09
7	2,24	3	0,09	4,26	3	0,09
8	2,43	3	0,09	3,65	3	0,09
9	2,82	3	0,09	3,39	3	0,09
10	3,29	3	0,09	3,27	3	0,09
11	3,86	3	0,09	3,39	3	0,09
12	4,44	3	0,09	3,76	3	0,09
13	4,55	3	0,09	3,93	3	0,09
14	4,59	3	0,09	3,93	3	0,09
15	4,66	3	0,09	3,79	3	0,09
16	4,53	3	0,09	3,50	3	0,09
17	4,40	3	0,09	3,25	3	0,09
18	4,42	3	0,09	3,26	3	0,09
19	4,17	3	0,09	3,50	3	0,09
20	3,94	3	0,09	3,76	3	0,09
21	3,80	3	0,09	4,07	3	0,09
22	3,66	3	0,09	4,39	3	0,09
23	3,52	3	0,09	4,54	3	0,09
24	3,42	3	0,09	4,59	3	0,09
25	3,22	3	0,09	4,66	3	0,09
26	3,04	3	0,09	4,85	3	0,09
27	2,99	3	0,09	5,10	3	0,09
28	2,99	3	0,09	5,18	3	0,09
29	3,08	3	0,09	5,17	3	0,09
30	3,14	3	0,09	5,13	3	0,09
31	3,28	3	0,09	5,07	3	0,09
32	3,54	2	0,11	5,06	3	0,09
33	3,83	2	0,11	5,07	3	0,09
34	4,07	2	0,11	5,13	3	0,09
35	4,29	2	0,11	5,16	3	0,09
36	4,42	2	0,11	5,23	3	0,09
37	4,63	2	0,11	5,34	3	0,09
38	4,86	2	0,11	5,54	3	0,09
39	5,09	2	0,11	5,71	3	0,09
40	5,31	2	0,11	5,77	3	0,09
41	5,53	2	0,11	5,84	3	0,09
42	5,58	2	0,11	5,96	3	0,09
43	5,56	2	0,11	6,12	3	0,09

Продовження таблиці Г.2

1	2	3	4	5	6	7
44	5,53	2	0,11	6,32	3	0,09
45	5,58	2	0,11	6,56	3	0,09
46	5,67	2	0,11	6,80	3	0,09
47	5,77	2	0,11	7,04	3	0,09
48	5,89	2	0,11	7,24	3	0,09
49	6,04	2	0,11	7,44	3	0,09
50	6,15	2	0,11	7,63	3	0,09
51	6,29	2	0,11	7,75	3	0,09
52	6,46	2	0,11	7,89	3	0,09
53	6,59	2	0,11	7,96	3	0,09
54	6,70	2	0,11	8,06	3	0,09
55	6,80	2	0,11	8,08	3	0,09
56	6,89	2	0,11	8,04	3	0,09
57	6,96	2	0,11	8,00	3	0,09
58	7,06	2	0,11	8,02	3	0,09
59	7,20	2	0,11	8,17	3	0,09
60	7,37	2	0,11	8,30	3	0,09
61	7,56	2	0,11	8,43	3	0,09
62	7,67	2	0,11	8,60	3	0,09
63	7,78	2	0,11	8,77	3	0,09
64	7,92	2	0,11	8,88	3	0,09
65	8,07	2	0,11	8,96	3	0,09
66	8,22	2	0,11	9,07	3	0,09
67	8,33	2	0,11	9,15	3	0,09
68	8,38	2	0,11	9,28	3	0,09
69	8,43	2	0,11	9,43	3	0,09
70	8,49	2	0,11	9,60	3	0,09
71	8,50	2	0,11	9,77	3	0,09
72	8,49	2	0,11	9,95	3	0,09
73	8,51	2	0,11	10,12	3	0,09
74	8,60	2	0,11	10,26	3	0,09
75	8,71	2	0,11	10,38	3	0,09
76	8,84	2	0,11	10,43	3	0,09
77	8,98	2	0,11	10,52	3	0,09
78	9,06	2	0,11	10,64	3	0,09
79	9,11	2	0,11	10,79	3	0,09
80	9,15	2	0,11	10,93	3	0,09
81	9,18	2	0,11	11,10	3	0,09
82	9,20	2	0,11	11,27	3	0,09
83	9,25	2	0,11	11,44	3	0,09
84	9,35	2	0,11	11,60	3	0,09
85	9,38	2	0,11	11,72	3	0,09
86	9,41	2	0,11	11,82	3	0,09
87	9,49	2	0,11	11,94	3	0,09
88	9,54	2	0,11	12,09	3	0,09
89	9,57	2	0,11	12,24	3	0,09
90	9,60	2	0,11	12,38	3	0,09
91	9,60	2	0,11	12,50	3	0,09

Кінець таблиці Г.2

1	2	3	4	5	6	7
92	9,62	2	0,11	12,59	3	0,09
93	9,67	2	0,11	12,68	3	0,09
94	9,73	2	0,11	12,75	3	0,09
95	9,77	2	0,11	12,83	3	0,09
96	9,82	2	0,11	12,91	3	0,09
97	9,88	2	0,11	13,01	3	0,09
98	9,95	2	0,11	13,11	3	0,09
99	10,03	2	0,11	13,23	3	0,09
100	10,09	2	0,11	13,35	3	0,09
101	10,16	2	0,11	13,40	3	0,09
102	10,22	2	0,11	13,44	3	0,09
103	10,25	2	0,11	13,50	3	0,09
104	10,30	2	0,11	13,58	3	0,09
105	10,35	2	0,11	13,66	3	0,09
106	10,41	2	0,11	13,69	3	0,09
107	10,49	2	0,11	13,70	3	0,09
108	10,58	2	0,11	13,70	3	0,09
109	10,68	2	0,11	13,73	3	0,09
110	10,78	2	0,11	13,75	3	0,09
111	10,86	2	0,11	13,80	3	0,09
112	10,93	2	0,11	13,84	3	0,09
113	10,97	2	0,11	13,87	3	0,09
114	11,00	2	0,11	13,89	3	0,09
115	11,05	2	0,11	13,90	3	0,09
116	11,11	2	0,11	13,93	3	0,09
117	11,16	2	0,11	13,95	3	0,09
118	11,21	2	0,11	13,98	3	0,09
119	11,28	2	0,11	14,04	3	0,09
120	11,37	2	0,11	14,11	3	0,09
121	11,46	2	0,11	14,19	3	0,09
122	11,56	2	0,11	14,28	3	0,09
123	11,65	2	0,11	14,34	3	0,09
124	11,74	2	0,11	14,41	3	0,09
125	11,84	2	0,11	14,50	3	0,09
126	11,92	2	0,11	14,58	3	0,09
127	12,01	2	0,11	14,67	2	0,11
128	12,11	2	0,11	14,75	2	0,11
129	12,20	2	0,11	14,84	2	0,11
130	12,27	2	0,11	14,92	2	0,11
131	12,35	2	0,11	14,99	2	0,11

Таблиця Г.3 – Розрахунок товщини шару ґрунту, який розтає за одну добу в активній зоні земляного полотна (до розмерзання на глибину 90 см)

Номер добу	h ₁ , м (весь період)	h ₁ , м (за добу)	h ₁ , м (весь період)	h ₁ , м (за добу)	h ₁ , м (весь період)	h ₁ , м (за добу)	h ₁ , м (весь період)	h ₁ , м (за добу)
	1981 рік		1991 рік		2001 рік		2011 рік	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,0032	0,0032	0,0348	0,0348	0,0045	0,0045	0,0106	0,0106
2	0,0058	0,0026	0,0632	0,0284	0,0133	0,0088	0,0218	0,0112
3	0,0109	0,0051	0,0949	0,0317	0,0228	0,0095	0,0354	0,0136
4	0,0214	0,0105	0,1207	0,0258	0,0263	0,0035	0,0535	0,0181
5	0,0373	0,0159	0,1486	0,0279	0,0314	0,0051	0,0599	0,0064
6	0,0524	0,0151	0,1755	0,0269	0,0360	0,0046	0,0611	0,0012
7	0,0660	0,0136	0,2021	0,0266	0,0412	0,0052	0,0621	0,0010
8	0,0769	0,0109	0,2285	0,0264	0,0489	0,0077	0,0632	0,0011
9	0,0917	0,0148	0,2545	0,0260	0,0598	0,0109	0,0671	0,0039
10	0,1069	0,0152	0,2768	0,0223	0,0724	0,0126	0,0721	0,0050
11	0,1163	0,0094	0,2959	0,0191	0,0875	0,0151	0,0804	0,0083
12	0,1183	0,0020	0,3151	0,0192	0,1035	0,0160	0,0928	0,0124
13	0,1214	0,0031	0,3321	0,0170	0,1127	0,0092	0,1025	0,0097
14	0,1249	0,0035	0,3463	0,0142	0,1209	0,0082	0,1093	0,0068
15	0,1283	0,0034	0,3606	0,0143	0,1296	0,0087	0,1135	0,0042
16	0,1318	0,0035	0,3760	0,0154	0,1343	0,0047	0,1141	0,0006
17	0,1372	0,0054	0,3914	0,0154	0,1388	0,0045	0,1150	0,0009
18	0,1444	0,0072	0,4071	0,0157	0,1460	0,0072	0,1209	0,0059
19	0,1528	0,0084	0,4200	0,0129	0,1473	0,0013	0,1323	0,0114
20	0,1598	0,0070	0,4311	0,0111	0,1484	0,0011	0,1443	0,0120
21	0,1684	0,0086	0,4431	0,0120	0,1513	0,0029	0,1577	0,0134
22	0,1789	0,0105	0,4546	0,0115	0,1538	0,0025	0,1718	0,0141
23	0,1913	0,0124	0,4667	0,0121	0,1558	0,0020	0,1821	0,0103
24	0,2028	0,0115	0,4794	0,0127	0,1587	0,0029	0,1897	0,0076
25	0,2118	0,0090	0,4916	0,0122	0,1584	-0,0003	0,1980	0,0083
26	0,2185	0,0067	0,5121	0,0205	0,1585	0,0001	0,2094	0,0114
27	0,2337	0,0152	0,5153	0,0032	0,1618	0,0033	0,2226	0,0132
28	0,2494	0,0157	0,5266	0,0113	0,1669	0,0051	0,2312	0,0086
29	0,2539	0,0045	0,5365	0,0099	0,1745	0,0076	0,2374	0,0062
30	0,2571	0,0032	0,5470	0,0105	0,1814	0,0069	0,2426	0,0052
31	0,2585	0,0014	0,5571	0,0101	0,1910	0,0096	0,2472	0,0046
32	0,2613	0,0028	0,5613	0,0042	0,1996	0,0086	0,2530	0,0058
33	0,2658	0,0045	0,5662	0,0049	0,2141	0,0145	0,2592	0,0062
34	0,2686	0,0028	0,5723	0,0061	0,2272	0,0131	0,2671	0,0079
35	0,2741	0,0055	0,5774	0,0051	0,2397	0,0125	0,2742	0,0071
36	0,2814	0,0073	0,5824	0,0050	0,2497	0,0100	0,2823	0,0081
37	0,2863	0,0049	0,5869	0,0045	0,2620	0,0123	0,2920	0,0097
38	0,2907	0,0044	0,5912	0,0043	0,2752	0,0132	0,3044	0,0124
39	0,2953	0,0046	0,5967	0,0055	0,2888	0,0136	0,3160	0,0116
40	0,3003	0,0050	0,6028	0,0061	0,3021	0,0133	0,3243	0,0083
41	0,3069	0,0066	0,6104	0,0076	0,3152	0,0131	0,3326	0,0083
42	0,3148	0,0079	0,6179	0,0075	0,3228	0,0076	0,3429	0,0103

Продовження таблиці Г.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
43	0,3217	0,0069	0,6251	0,0072	0,3276	0,0048	0,3543	0,0114
44	0,3268	0,0051	0,6320	0,0069	0,3325	0,0049	0,3673	0,0130
45	0,3336	0,0068	0,6395	0,0075	0,3397	0,0072	0,3816	0,0143
46	0,3417	0,0081	0,6473	0,0078	0,3488	0,0091	0,3961	0,0145
47	0,3504	0,0087	0,6555	0,0082	0,3581	0,0093	0,4106	0,0145
48	0,3599	0,0095	0,6615	0,0060	0,3678	0,0097	0,4241	0,0135
49	0,3721	0,0122	0,6660	0,0045	0,3792	0,0114	0,4374	0,0133
50	0,3854	0,0133	0,6743	0,0083	0,3890	0,0098	0,4503	0,0129
51	0,3988	0,0134	0,6806	0,0063	0,3997	0,0107	0,4607	0,0104
52	0,4115	0,0127	0,6847	0,0041	0,4121	0,0124	0,4720	0,0113
53	0,4249	0,0134	0,6884	0,0037	0,4226	0,0105	0,4809	0,0089
54	0,4399	0,0150	0,6913	0,0029	0,4326	0,0100	0,4907	0,0098
55	0,4545	0,0146	0,6957	0,0044	0,4419	0,0093	0,4977	0,0070
56	0,4696	0,0151	0,7002	0,0045	0,4511	0,0092	0,5024	0,0047
57	0,4814	0,0118	0,7046	0,0044	0,4595	0,0084	0,5072	0,0048
58	0,4887	0,0073	0,7097	0,0051	0,4693	0,0098	0,5140	0,0068
59	0,4989	0,0102	0,7155	0,0058	0,4803	0,0110	0,5256	0,0116
60	0,5107	0,0118	0,7217	0,0062	0,4927	0,0124	0,5366	0,0110
61	0,5223	0,0116	0,7286	0,0069	0,5059	0,0132	0,5479	0,0113
62	0,5249	0,0026	0,7347	0,0061	0,5160	0,0101	0,5602	0,0123
63	0,5365	0,0116	0,7420	0,0073	0,5261	0,0101	0,5731	0,0129
64	0,5478	0,0113	0,7509	0,0089	0,5375	0,0114	0,5831	0,0100
65	0,5587	0,0109	0,7595	0,0086	0,5490	0,0115	0,5925	0,0094
66	0,5702	0,0115	0,7668	0,0073	0,5609	0,0119	0,6029	0,0104
67	0,5811	0,0109	0,7733	0,0065	0,5712	0,0103	0,6120	0,0091
68	0,5922	0,0111	0,7802	0,0069	0,5786	0,0074	0,6229	0,0109
69	0,6039	0,0117	0,7869	0,0067	0,5866	0,0080	0,6351	0,0122
70	0,6160	0,0121	0,7935	0,0066	0,5946	0,0080	0,6477	0,0126
71	0,6284	0,0124	0,7995	0,0060	0,6008	0,0062	0,6604	0,0127
72	0,6409	0,0125	0,8052	0,0057	0,6063	0,0055	0,6737	0,0133
73	0,6528	0,0119	0,8120	0,0068	0,6127	0,0064	0,6865	0,0128
74	0,6629	0,0101	0,8197	0,0077	0,6222	0,0095	0,6983	0,0118
75	0,6731	0,0102	0,8274	0,0077	0,6322	0,0100	0,7091	0,0108
76	0,6843	0,0112	0,8353	0,0079	0,6434	0,0112	0,7172	0,0081
77	0,6952	0,0109	0,8426	0,0073	0,6550	0,0116	0,7266	0,0094
78	0,7069	0,0117	0,8502	0,0076	0,6638	0,0088	0,7376	0,0110
79	0,7195	0,0126	0,8569	0,0067	0,6715	0,0077	0,7495	0,0119
80	0,7323	0,0128	0,8635	0,0066	0,6790	0,0075	0,7615	0,0120
81	0,7437	0,0114	0,8699	0,0064	0,6859	0,0069	0,7743	0,0128
82	0,7555	0,0118	0,8761	0,0062	0,6921	0,0062	0,7873	0,0130
83	0,7681	0,0126	0,8816	0,0055	0,6999	0,0078	0,8001	0,0128
84	0,7812	0,0131	0,8874	0,0058	0,7096	0,0097	0,8127	0,0126
85	0,7939	0,0127	0,8921	0,0047	0,7167	0,0071	0,8236	0,0109
86	0,8061	0,0122	0,8973	0,0052	0,7235	0,0068	0,8338	0,0102
87	0,8180	0,0119	0,9024	0,0051	0,7325	0,0090	0,8449	0,0111
88	0,8275	0,0095			0,7402	0,0077	0,8569	0,0120
89	0,8338	0,0063			0,7470	0,0068	0,8692	0,0123
90	0,8412	0,0074			0,7536	0,0066	0,8809	0,0117

Кінець таблиці Г.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
91	0,8488	0,0076			0,7592	0,0056	0,8920	0,0111
92	0,8565	0,0077			0,7654	0,0062	0,9017	0,0097
93	0,8645	0,0080			0,7731	0,0077		
94	0,8743	0,0098			0,7810	0,0079		
95	0,8833	0,0090			0,7885	0,0075		
96	0,8914	0,0081			0,7961	0,0076		
97	0,9020	0,0106			0,8040	0,0079		
98					0,8124	0,0084		
99					0,8216	0,0092		
100					0,8297	0,0081		
101					0,8383	0,0086		
102					0,8461	0,0078		
103					0,8529	0,0068		
104					0,8604	0,0075		
105					0,8681	0,0077		
106					0,8762	0,0081		
107					0,8850	0,0088		
108					0,8949	0,0099		
109					0,9047	0,0098		

Таблиця Г.4 – Об'єм води, що звільняється при розтаванні ґрунту під проїзною частиною за роки спостережень

Номер доби	Об'єм води (л/доба на 1 м ² проїзної частини), що звільняється при відтаванні ґрунту під проїзною частиною			
	1981 рік	1991 рік	2001 рік	2011 рік
1	2	3	4	5
1	0,16	1,74	0,22	0,53
2	0,13	1,42	0,44	0,56
3	0,25	1,58	0,47	0,68
4	0,52	1,29	0,17	0,90
5	0,79	1,39	0,25	0,32
6	0,75	1,34	0,23	0,06
7	0,68	1,33	0,26	0,05
8	0,54	1,32	0,38	0,05
9	0,74	1,30	0,54	0,19
10	0,76	1,11	0,63	0,25
11	0,47	0,95	0,75	0,41
12	0,10	0,96	0,80	0,62
13	0,15	0,85	0,46	0,48
14	0,17	0,71	0,41	0,34
15	0,17	0,71	0,43	0,21
16	0,17	0,77	0,23	0,03
17	0,27	0,77	0,22	0,04
18	0,36	0,78	0,36	0,29
19	0,42	0,64	0,06	0,57
20	0,35	0,55	0,05	0,60
21	0,43	0,60	0,14	0,67
22	0,52	0,57	0,12	0,70
23	0,62	0,60	0,10	0,51
24	0,57	0,63	0,14	0,38
25	0,45	0,61	-0,01	0,41
26	0,33	1,02	0,00	0,57
27	0,76	0,16	0,16	0,66
28	0,78	0,56	0,25	0,43
29	0,22	0,49	0,38	0,31
30	0,16	0,52	0,34	0,26
31	0,07	0,50	0,48	0,23
32	0,14	0,21	0,43	0,29
33	0,22	0,24	0,72	0,31
34	0,14	0,30	0,65	0,39
35	0,27	0,25	0,62	0,35
36	0,36	0,25	0,50	0,40
37	0,24	0,22	0,61	0,48
38	0,22	0,21	0,66	0,62
39	0,23	0,27	0,68	0,58
40	0,25	0,30	0,66	0,41
41	0,33	0,38	0,65	0,41
42	0,39	0,37	0,38	0,51
43	0,34	0,36	0,24	0,57

Продовження таблиці Г.4

1	2	3	4	5
44	0,25	0,34	0,24	0,65
45	0,34	0,37	0,36	0,71
46	0,40	0,39	0,45	0,72
47	0,43	0,41	0,46	0,72
48	0,47	0,30	0,48	0,67
49	0,61	0,22	0,57	0,66
50	0,66	0,41	0,49	0,64
51	0,67	0,31	0,53	0,52
52	0,63	0,20	0,62	0,56
53	0,67	0,18	0,52	0,44
54	0,75	0,14	0,50	0,49
55	0,73	0,22	0,46	0,35
56	0,75	0,22	0,46	0,23
57	0,59	0,22	0,42	0,24
58	0,36	0,25	0,49	0,34
59	0,51	0,29	0,55	0,58
60	0,59	0,31	0,62	0,55
61	0,58	0,34	0,66	0,56
62	0,13	0,30	0,50	0,61
63	0,58	0,36	0,50	0,64
64	0,56	0,44	0,57	0,50
65	0,54	0,43	0,57	0,47
66	0,57	0,36	0,59	0,52
67	0,54	0,32	0,51	0,45
68	0,55	0,34	0,37	0,54
69	0,58	0,33	0,40	0,61
70	0,60	0,33	0,40	0,63
71	0,62	0,30	0,31	0,63
72	0,62	0,28	0,27	0,66
73	0,59	0,34	0,32	0,64
74	0,50	0,38	0,47	0,59
75	0,51	0,38	0,50	0,54
76	0,56	0,39	0,56	0,40
77	0,54	0,36	0,58	0,47
78	0,58	0,38	0,44	0,55
79	0,63	0,33	0,38	0,59
80	0,64	0,33	0,37	0,60
81	0,57	0,32	0,34	0,64
82	0,59	0,31	0,31	0,65
83	0,63	0,27	0,39	0,64
84	0,65	0,29	0,48	0,63
85	0,63	0,23	0,35	0,54
86	0,61	0,26	0,34	0,51
87	0,59	0,25	0,45	0,55
88	0,47		0,38	0,60
89	0,31		0,34	0,61
90	0,37		0,33	0,58
91	0,38		0,28	0,55

Кінець таблиці Г.4

1	2	3	4	5
92	0,38		0,31	0,48
93	0,40		0,38	
94	0,49		0,39	
95	0,45		0,37	
96	0,40		0,38	
97	0,53		0,39	
98			0,42	
99			0,46	
100			0,40	
101			0,43	
102			0,39	
103			0,34	
104			0,37	
105			0,38	
106			0,40	
107			0,44	
108			0,49	
109			0,49	

ДОДАТОК Д

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ ПАРАМЕТРІВ ДРЕНАЖУ МІЛКОГО ЗАКЛАДЕННЯ ЗА УДОСКОНАЛЕНОЮ МЕТОДИКОЮ

№ п/п	Тип ґрунту	Коефіцієнт фільтрації С (м/добу)	Коефіцієнт водопродатності Мю	Надходження води знизу (л/м2 за добу) Wb	Інфільтрація енергії Wt через покриття проізної частини (л/добу на 1 м2)	Інфільтрація енергії Wt через узбіччя проізної частини (л/добу на 1 м2)	Надходження води знизу (м3/сек на м2) Wb	Інфільтрація енергії Wt через покриття проізної частини (м3/сек на 1 м2)	Інфільтрація енергії Wt через узбіччя проізної частини (м3/сек на 1 м2)	Кут нахилу дренів X°	Нахил дренів	E (ендлон) знизу	E (ендлон) зверху покриття	E (ендлон) зверху узбіччя
1	крупнозернистий	19,94	0,27	0	0	11,05	0	0	1,27894E-07	1	0,01746	0	0	6,414E-09
2	крупнозернистий	19,94	0,27	0	0	11,05	0	0	1,27894E-07	1	0,01746	0	0	6,414E-09
3	крупнозернистий	19,94	0,27	0	0	19,05	0	0	2,20486E-07	1	0,01746	0	0	1,106E-08
4	крупнозернистий	19,94	0,27	0	0	19,05	0	0	2,20486E-07	1	0,01746	0	0	1,106E-08
5	крупнозернистий	19,94	0,27	0	0	69,95	0	0	8,09606E-07	1	0,01746	0	0	4,06E-08
6	крупнозернистий	19,94	0,27	0	0	69,95	0	0	8,09606E-07	1	0,01746	0	0	4,06E-08
7	крупнозернистий	19,94	0,27	0	0	0	0	0	0	1	0,01746	0	0	0
8	крупнозернистий	19,94	0,27	0	0	0	0	0	0	1	0,01746	0	0	0
9	крупнозернистий	19,94	0,27	0	0	0	0	0	0	1	0,01746	0	0	0
10	крупнозернистий	19,94	0,27	0	0	0	0	0	0	1	0,01746	0	0	0

Рисунок Д.1 – Вікно введення вихідних даних

№ п/п	Тип ґрунту	Коефіцієнт фільтрації С (м/добу)	Коефіцієнт водопродатності Мю	Надходження води знизу (л/м2 за добу) Wb	Інфільтрація енергії Wt через покриття проізної частини (л/добу на 1 м2)	Інфільтрація енергії Wt через узбіччя проізної частини (л/добу на 1 м2)	Надходження води знизу (м3/сек на м2) Wb	Інфільтрація енергії Wt через покриття проізної частини (м3/сек на 1 м2)	Інфільтрація енергії Wt через узбіччя проізної частини (м3/сек на 1 м2)	Кут нахилу дренів X°	Нахил дренів	E (ендлон) знизу	E (ендлон) зверху покриття	E (ендлон) зверху узбіччя
1	крупнозернистий	19,94	0,27	0	0	11,05	0	0	1,27894E-07	1	0,01746	0	0	6,41292

Рисунок Д.2 – Вікно вибраних вихідних даних варіанту 1

Таблиця Д.1 – Розраховані значення величини u на основі величини надходження вологи, отриманої з діючих нормативних документів

$t x$	0	0,267	0,533	0,8	1,067	1,333	1,6	1,867	2,133	2,4	2,667	2,933	3,2	3,467	3,733	4
1800	0,291	0,286	0,282	0,277	0,272	0,268	0,263	0,258	0,254	0,249	0,244	0,24	0,235	0,23	0,226	0,221
3600	0,292	0,287	0,282	0,278	0,273	0,268	0,264	0,259	0,254	0,25	0,245	0,241	0,236	0,231	0,227	0,222
5400	0,293	0,288	0,283	0,279	0,274	0,269	0,265	0,26	0,255	0,251	0,246	0,241	0,237	0,232	0,227	0,223
7200	0,293	0,289	0,284	0,279	0,275	0,27	0,265	0,261	0,256	0,252	0,247	0,242	0,238	0,233	0,228	0,224
9000	0,294	0,29	0,285	0,28	0,276	0,271	0,266	0,262	0,257	0,252	0,248	0,243	0,238	0,234	0,229	0,224
10800	0,295	0,29	0,286	0,281	0,276	0,272	0,267	0,263	0,258	0,253	0,249	0,244	0,239	0,235	0,23	0,225
12600	0,296	0,291	0,287	0,282	0,277	0,273	0,268	0,263	0,259	0,254	0,249	0,245	0,24	0,235	0,231	0,226
14400	0,297	0,292	0,288	0,283	0,278	0,274	0,269	0,264	0,26	0,255	0,25	0,246	0,241	0,236	0,232	0,227
16200	0,298	0,293	0,288	0,284	0,279	0,274	0,27	0,265	0,26	0,256	0,251	0,246	0,242	0,237	0,233	0,228
18000	0,299	0,294	0,289	0,285	0,28	0,275	0,271	0,266	0,261	0,257	0,252	0,247	0,243	0,238	0,233	0,229
19800	0,299	0,295	0,29	0,285	0,281	0,276	0,271	0,267	0,262	0,257	0,253	0,248	0,244	0,239	0,234	0,23
21600	0,3	0,296	0,291	0,286	0,282	0,277	0,272	0,268	0,263	0,258	0,254	0,249	0,244	0,24	0,235	0,23
23400	0,301	0,296	0,292	0,287	0,282	0,278	0,273	0,269	0,264	0,259	0,255	0,25	0,245	0,241	0,236	0,231
25200	0,302	0,297	0,293	0,288	0,283	0,279	0,274	0,269	0,265	0,26	0,255	0,251	0,246	0,241	0,237	0,232
27000	0,303	0,298	0,293	0,289	0,284	0,28	0,275	0,27	0,266	0,261	0,256	0,252	0,247	0,242	0,238	0,233
28800	0,304	0,299	0,294	0,29	0,285	0,28	0,276	0,271	0,266	0,262	0,257	0,252	0,248	0,243	0,238	0,234
30600	0,304	0,3	0,295	0,291	0,286	0,281	0,277	0,272	0,267	0,263	0,258	0,253	0,249	0,244	0,239	0,235
32400	0,305	0,301	0,296	0,291	0,287	0,282	0,277	0,273	0,268	0,263	0,259	0,254	0,249	0,245	0,24	0,236
34200	0,306	0,302	0,297	0,292	0,288	0,283	0,278	0,274	0,269	0,264	0,26	0,255	0,25	0,246	0,241	0,236
36000	0,307	0,302	0,298	0,293	0,288	0,284	0,279	0,274	0,27	0,265	0,261	0,256	0,251	0,247	0,242	0,237
37800	0,308	0,303	0,299	0,294	0,289	0,285	0,28	0,275	0,271	0,266	0,261	0,257	0,252	0,247	0,243	0,238
39600	0,309	0,304	0,299	0,295	0,29	0,285	0,281	0,276	0,272	0,267	0,262	0,258	0,253	0,248	0,244	0,239
41400	0,31	0,305	0,3	0,296	0,291	0,286	0,282	0,277	0,272	0,268	0,263	0,258	0,254	0,249	0,244	0,24
43200	0,31	0,306	0,301	0,296	0,292	0,287	0,283	0,278	0,273	0,269	0,264	0,259	0,255	0,25	0,245	0,241
45000	0,311	0,307	0,302	0,297	0,293	0,288	0,283	0,279	0,274	0,269	0,265	0,26	0,255	0,251	0,246	0,241
46800	0,312	0,308	0,303	0,298	0,294	0,289	0,284	0,28	0,275	0,27	0,266	0,261	0,256	0,252	0,247	0,242
48600	0,313	0,308	0,304	0,299	0,294	0,29	0,285	0,28	0,276	0,271	0,266	0,262	0,257	0,253	0,248	0,243
50400	0,314	0,309	0,305	0,3	0,295	0,291	0,286	0,281	0,277	0,272	0,267	0,263	0,258	0,253	0,249	0,244
52200	0,315	0,31	0,305	0,301	0,296	0,291	0,287	0,282	0,277	0,273	0,268	0,264	0,259	0,254	0,25	0,245
54000	0,316	0,311	0,306	0,302	0,297	0,292	0,288	0,283	0,278	0,274	0,269	0,264	0,26	0,255	0,25	0,246
55800	0,316	0,312	0,307	0,302	0,298	0,293	0,289	0,284	0,279	0,275	0,27	0,265	0,261	0,256	0,251	0,247
57600	0,317	0,313	0,308	0,303	0,299	0,294	0,289	0,285	0,28	0,275	0,271	0,266	0,261	0,257	0,252	0,247
59400	0,318	0,313	0,309	0,304	0,3	0,295	0,29	0,286	0,281	0,276	0,272	0,267	0,262	0,258	0,253	0,248
61200	0,319	0,314	0,31	0,305	0,3	0,296	0,291	0,286	0,282	0,277	0,272	0,268	0,263	0,258	0,254	0,249
63000	0,32	0,315	0,311	0,306	0,301	0,297	0,292	0,287	0,283	0,278	0,273	0,269	0,264	0,259	0,255	0,25
64800	0,321	0,316	0,311	0,307	0,302	0,297	0,293	0,288	0,283	0,279	0,274	0,269	0,265	0,26	0,256	0,251
66600	0,322	0,317	0,312	0,308	0,303	0,298	0,294	0,289	0,284	0,28	0,275	0,27	0,266	0,261	0,256	0,252
68400	0,322	0,318	0,313	0,308	0,304	0,299	0,294	0,29	0,285	0,281	0,276	0,271	0,267	0,262	0,257	0,253
70200	0,323	0,319	0,314	0,309	0,305	0,3	0,295	0,291	0,286	0,281	0,277	0,272	0,267	0,263	0,258	0,253
72000	0,324	0,319	0,315	0,31	0,305	0,301	0,296	0,292	0,287	0,282	0,278	0,273	0,268	0,264	0,259	0,254
73800	0,325	0,32	0,316	0,311	0,306	0,302	0,297	0,292	0,288	0,283	0,278	0,274	0,269	0,264	0,26	0,255
75600	0,326	0,321	0,317	0,312	0,307	0,303	0,298	0,293	0,289	0,284	0,279	0,275	0,27	0,265	0,261	0,256
77400	0,327	0,322	0,317	0,313	0,308	0,303	0,299	0,294	0,289	0,285	0,28	0,275	0,271	0,266	0,261	0,257
79200	0,328	0,323	0,318	0,314	0,309	0,304	0,3	0,295	0,29	0,286	0,281	0,276	0,272	0,267	0,262	0,258

Кінець таблиці Д.2

61200	0,029	0,024	0,02	0,015	0,01	0,006	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63000	0,03	0,025	0,021	0,016	0,011	0,007	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64800	0,031	0,026	0,021	0,017	0,012	0,007	0,003	0	0	0	0	0	0	0	0	0
66600	0,032	0,027	0,022	0,018	0,013	0,008	0,004	0	0	0	0	0	0	0	0	0
68400	0,032	0,028	0,023	0,018	0,014	0,009	0,004	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70200	0,033	0,029	0,024	0,019	0,015	0,01	0,005	7E-04	0	0	0	0	0	0	0	0
72000	0,034	0,029	0,025	0,02	0,015	0,011	0,006	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0
73800	0,035	0,03	0,026	0,021	0,016	0,012	0,007	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0
75600	0,036	0,031	0,027	0,022	0,017	0,013	0,008	0,003	0	0	0	0	0	0	0	0
77400	0,037	0,032	0,027	0,023	0,018	0,013	0,009	0,004	0	0	0	0	0	0	0	0
79200	0,038	0,033	0,028	0,024	0,019	0,014	0,01	0,005	3E-04	0	0	0	0	0	0	0
81000	0,038	0,034	0,029	0,024	0,02	0,015	0,01	0,006	0,001	0	0	0	0	0	0	0
82800	0,039	0,035	0,03	0,025	0,021	0,016	0,011	0,007	0,002	0	0	0	0	0	0	0
84600	0,04	0,035	0,031	0,026	0,021	0,017	0,012	0,007	0,003	0	0	0	0	0	0	0
86400	0,041	0,036	0,032	0,027	0,022	0,018	0,013	0,008	0,004	0	0	0	0	0	0	0

Таблиця Д.3 – Розраховані значення величини у (варіант 3)

t x	0	0,267	0,533	0,8	1,067	1,333	1,6	1,867	2,133	2,4	2,667	2,933	3,2	3,467	3,733	4
1800	0,291	0,287	0,282	0,278	0,273	0,268	0,264	0,259	0,254	0,25	0,245	0,24	0,236	0,231	0,226	0,222
3600	0,293	0,288	0,284	0,279	0,274	0,27	0,265	0,26	0,256	0,251	0,246	0,242	0,237	0,232	0,228	0,223
5400	0,294	0,29	0,285	0,28	0,276	0,271	0,266	0,262	0,257	0,253	0,248	0,243	0,239	0,234	0,229	0,225
7200	0,296	0,291	0,287	0,282	0,277	0,273	0,268	0,263	0,259	0,254	0,249	0,245	0,24	0,235	0,231	0,226
9000	0,297	0,293	0,288	0,283	0,279	0,274	0,269	0,265	0,26	0,255	0,251	0,246	0,241	0,237	0,232	0,228
10800	0,299	0,294	0,29	0,285	0,28	0,276	0,271	0,266	0,262	0,257	0,252	0,248	0,243	0,238	0,234	0,229
12600	0,3	0,296	0,291	0,286	0,282	0,277	0,272	0,268	0,263	0,258	0,254	0,249	0,244	0,24	0,235	0,23
14400	0,302	0,297	0,292	0,288	0,283	0,278	0,274	0,269	0,265	0,26	0,255	0,251	0,246	0,241	0,237	0,232
16200	0,303	0,299	0,294	0,289	0,285	0,28	0,275	0,271	0,266	0,261	0,257	0,252	0,247	0,243	0,238	0,233
18000	0,305	0,3	0,295	0,291	0,286	0,281	0,277	0,272	0,267	0,263	0,258	0,253	0,249	0,244	0,24	0,235
19800	0,306	0,302	0,297	0,292	0,288	0,283	0,278	0,274	0,269	0,264	0,26	0,255	0,25	0,246	0,241	0,236
21600	0,308	0,303	0,298	0,294	0,289	0,284	0,28	0,275	0,27	0,266	0,261	0,256	0,252	0,247	0,242	0,238
23400	0,309	0,304	0,3	0,295	0,29	0,286	0,281	0,277	0,272	0,267	0,263	0,258	0,253	0,249	0,244	0,239
25200	0,311	0,306	0,301	0,297	0,292	0,287	0,283	0,278	0,273	0,269	0,264	0,259	0,255	0,25	0,245	0,241
27000	0,312	0,307	0,303	0,298	0,293	0,289	0,284	0,279	0,275	0,27	0,266	0,261	0,256	0,252	0,247	0,242
28800	0,314	0,309	0,304	0,3	0,295	0,29	0,286	0,281	0,276	0,272	0,267	0,262	0,258	0,253	0,248	0,244
30600	0,315	0,31	0,306	0,301	0,296	0,292	0,287	0,282	0,278	0,273	0,268	0,264	0,259	0,254	0,25	0,245
32400	0,316	0,312	0,307	0,302	0,298	0,293	0,289	0,284	0,279	0,275	0,27	0,265	0,261	0,256	0,251	0,247
34200	0,318	0,313	0,309	0,304	0,299	0,295	0,29	0,285	0,281	0,276	0,271	0,267	0,262	0,257	0,253	0,248
36000	0,319	0,315	0,31	0,305	0,301	0,296	0,291	0,287	0,282	0,278	0,273	0,268	0,264	0,259	0,254	0,25
37800	0,321	0,316	0,312	0,307	0,302	0,298	0,293	0,288	0,284	0,279	0,274	0,27	0,265	0,26	0,256	0,251
39600	0,322	0,318	0,313	0,308	0,304	0,299	0,294	0,29	0,285	0,28	0,276	0,271	0,266	0,262	0,257	0,253
41400	0,324	0,319	0,314	0,31	0,305	0,301	0,296	0,291	0,287	0,282	0,277	0,273	0,268	0,263	0,259	0,254
43200	0,325	0,321	0,316	0,311	0,307	0,302	0,297	0,293	0,288	0,283	0,279	0,274	0,269	0,265	0,26	0,255
45000	0,327	0,322	0,317	0,313	0,308	0,303	0,299	0,294	0,29	0,285	0,28	0,276	0,271	0,266	0,262	0,257
46800	0,328	0,324	0,319	0,314	0,31	0,305	0,3	0,296	0,291	0,286	0,282	0,277	0,272	0,268	0,263	0,258
48600	0,33	0,325	0,32	0,316	0,311	0,306	0,302	0,297	0,292	0,288	0,283	0,278	0,274	0,269	0,265	0,26
50400	0,331	0,327	0,322	0,317	0,313	0,308	0,303	0,299	0,294	0,289	0,285	0,28	0,275	0,271	0,266	0,261

Кінець таблиці Д.3

52200	0,333	0,328	0,323	0,319	0,314	0,309	0,305	0,3	0,295	0,291	0,286	0,281	0,277	0,272	0,267	0,263
54000	0,334	0,329	0,325	0,32	0,315	0,311	0,306	0,302	0,297	0,292	0,288	0,283	0,278	0,274	0,269	0,264
55800	0,336	0,331	0,326	0,322	0,317	0,312	0,308	0,303	0,298	0,294	0,289	0,284	0,28	0,275	0,27	0,266
57600	0,337	0,332	0,328	0,323	0,318	0,314	0,309	0,304	0,3	0,295	0,29	0,286	0,281	0,277	0,272	0,267
59400	0,339	0,334	0,329	0,325	0,32	0,315	0,311	0,306	0,301	0,297	0,292	0,287	0,283	0,278	0,273	0,269
61200	0,34	0,335	0,331	0,326	0,321	0,317	0,312	0,307	0,303	0,298	0,293	0,289	0,284	0,279	0,275	0,27
63000	0,341	0,337	0,332	0,327	0,323	0,318	0,314	0,309	0,304	0,3	0,295	0,29	0,286	0,281	0,276	0,272
64800	0,343	0,338	0,334	0,329	0,324	0,32	0,315	0,31	0,306	0,301	0,296	0,292	0,287	0,282	0,278	0,273
66600	0,344	0,34	0,335	0,33	0,326	0,321	0,316	0,312	0,307	0,302	0,298	0,293	0,289	0,284	0,279	0,275
68400	0,346	0,341	0,337	0,332	0,327	0,323	0,318	0,313	0,309	0,304	0,299	0,295	0,29	0,285	0,281	0,276
70200	0,347	0,343	0,338	0,333	0,329	0,324	0,319	0,315	0,31	0,305	0,301	0,296	0,291	0,287	0,282	0,278
72000	0,349	0,344	0,339	0,335	0,33	0,326	0,321	0,316	0,312	0,307	0,302	0,298	0,293	0,288	0,284	0,279
73800	0,35	0,346	0,341	0,336	0,332	0,327	0,322	0,318	0,313	0,308	0,304	0,299	0,294	0,29	0,285	0,28
75600	0,352	0,347	0,342	0,338	0,333	0,328	0,324	0,319	0,314	0,31	0,305	0,301	0,296	0,291	0,287	0,282
77400	0,353	0,349	0,344	0,339	0,335	0,33	0,325	0,321	0,316	0,311	0,307	0,302	0,297	0,293	0,288	0,283
79200	0,355	0,35	0,345	0,341	0,336	0,331	0,327	0,322	0,317	0,313	0,308	0,303	0,299	0,294	0,29	0,285
81000	0,356	0,351	0,347	0,342	0,338	0,333	0,328	0,324	0,319	0,314	0,31	0,305	0,3	0,296	0,291	0,286
82800	0,358	0,353	0,348	0,344	0,339	0,334	0,33	0,325	0,32	0,316	0,311	0,306	0,302	0,297	0,292	0,288
84600	0,359	0,354	0,35	0,345	0,34	0,336	0,331	0,327	0,322	0,317	0,313	0,308	0,303	0,299	0,294	0,289
86400	0,361	0,356	0,351	0,347	0,342	0,337	0,333	0,328	0,323	0,319	0,314	0,309	0,305	0,3	0,295	0,291

Таблиця Д.4 – Розраховані значення величини у (варіант 4)

t x	0	0,267	0,533	0,8	1,067	1,333	1,6	1,867	2,133	2,4	2,667	2,933	3,2	3,467	3,733	4
1800	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3600	0,003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5400	0,004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7200	0,006	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9000	0,007	0,003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10800	0,009	0,004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12600	0,01	0,006	1E-03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14400	0,012	0,007	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16200	0,013	0,009	0,004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18000	0,015	0,01	0,005	7E-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19800	0,016	0,012	0,007	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21600	0,018	0,013	0,008	0,004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23400	0,019	0,014	0,01	0,005	5E-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25200	0,021	0,016	0,011	0,007	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27000	0,022	0,017	0,013	0,008	0,003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28800	0,024	0,019	0,014	0,01	0,005	2E-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30600	0,025	0,02	0,016	0,011	0,006	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32400	0,026	0,022	0,017	0,012	0,008	0,003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34200	0,028	0,023	0,019	0,014	0,009	0,005	1E-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36000	0,029	0,025	0,02	0,015	0,011	0,006	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37800	0,031	0,026	0,022	0,017	0,012	0,008	0,003	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39600	0,032	0,028	0,023	0,018	0,014	0,009	0,004	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41400	0,034	0,029	0,024	0,02	0,015	0,011	0,006	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0

Кінець таблиці Д.4

43200	0,035	0,031	0,026	0,021	0,017	0,012	0,007	0,003	0	0	0	0	0	0	0	0
45000	0,037	0,032	0,027	0,023	0,018	0,013	0,009	0,004	0	0	0	0	0	0	0	0
46800	0,038	0,034	0,029	0,024	0,02	0,015	0,01	0,006	1E-03	0	0	0	0	0	0	0
48600	0,04	0,035	0,03	0,026	0,021	0,016	0,012	0,007	0,002	0	0	0	0	0	0	0
50400	0,041	0,037	0,032	0,027	0,023	0,018	0,013	0,009	0,004	0	0	0	0	0	0	0
52200	0,043	0,038	0,033	0,029	0,024	0,019	0,015	0,01	0,005	7E-04	0	0	0	0	0	0
54000	0,044	0,039	0,035	0,03	0,025	0,021	0,016	0,012	0,007	0,002	0	0	0	0	0	0
55800	0,046	0,041	0,036	0,032	0,027	0,022	0,018	0,013	0,008	0,004	0	0	0	0	0	0
57600	0,047	0,042	0,038	0,033	0,028	0,024	0,019	0,014	0,01	0,005	5E-04	0	0	0	0	0
59400	0,049	0,044	0,039	0,035	0,03	0,025	0,021	0,016	0,011	0,007	0,002	0	0	0	0	0
61200	0,05	0,045	0,041	0,036	0,031	0,027	0,022	0,017	0,013	0,008	0,003	0	0	0	0	0
63000	0,051	0,047	0,042	0,037	0,033	0,028	0,024	0,019	0,014	0,01	0,005	2E-04	0	0	0	0
64800	0,053	0,048	0,044	0,039	0,034	0,03	0,025	0,02	0,016	0,011	0,006	0,002	0	0	0	0
66600	0,054	0,05	0,045	0,04	0,036	0,031	0,026	0,022	0,017	0,012	0,008	0,003	0	0	0	0
68400	0,056	0,051	0,047	0,042	0,037	0,033	0,028	0,023	0,019	0,014	0,009	0,005	3E-07	0	0	0
70200	0,057	0,053	0,048	0,043	0,039	0,034	0,029	0,025	0,02	0,015	0,011	0,006	0,001	0	0	0
72000	0,059	0,054	0,049	0,045	0,04	0,036	0,031	0,026	0,022	0,017	0,012	0,008	0,003	0	0	0
73800	0,06	0,056	0,051	0,046	0,042	0,037	0,032	0,028	0,023	0,018	0,014	0,009	0,004	0	0	0
75600	0,062	0,057	0,052	0,048	0,043	0,038	0,034	0,029	0,024	0,02	0,015	0,011	0,006	0,001	0	0
77400	0,063	0,059	0,054	0,049	0,045	0,04	0,035	0,031	0,026	0,021	0,017	0,012	0,007	0,003	0	0
79200	0,065	0,06	0,055	0,051	0,046	0,041	0,037	0,032	0,027	0,023	0,018	0,013	0,009	0,004	0	0
81000	0,066	0,061	0,057	0,052	0,048	0,043	0,038	0,034	0,029	0,024	0,02	0,015	0,01	0,006	1E-03	0
82800	0,068	0,063	0,058	0,054	0,049	0,044	0,04	0,035	0,03	0,026	0,021	0,016	0,012	0,007	0,002	0
84600	0,069	0,064	0,06	0,055	0,05	0,046	0,041	0,037	0,032	0,027	0,023	0,018	0,013	0,009	0,004	0
86400	0,071	0,066	0,061	0,057	0,052	0,047	0,043	0,038	0,033	0,029	0,024	0,019	0,015	0,01	0,005	7E-04

Таблиця Д.5 – Розраховані значення величини у (варіант 5)

t x	0,00	0,13	0,27	0,40	0,53	0,67	0,80	0,93	1,07	1,20	1,33	1,47	1,60	1,73	1,87	2,00
1800	0,295	0,293	0,291	0,288	0,286	0,284	0,281	0,279	0,277	0,274	0,272	0,270	0,267	0,265	0,263	0,260
3600	0,301	0,298	0,296	0,294	0,291	0,289	0,287	0,285	0,282	0,280	0,278	0,275	0,273	0,271	0,268	0,266
5400	0,306	0,304	0,302	0,299	0,297	0,295	0,292	0,290	0,288	0,285	0,283	0,281	0,278	0,276	0,274	0,271
7200	0,312	0,309	0,307	0,305	0,302	0,300	0,298	0,295	0,293	0,291	0,288	0,286	0,284	0,281	0,279	0,277
9000	0,317	0,315	0,312	0,310	0,308	0,305	0,303	0,301	0,298	0,296	0,294	0,291	0,289	0,287	0,284	0,282
10800	0,322	0,320	0,318	0,315	0,313	0,311	0,308	0,306	0,304	0,301	0,299	0,297	0,294	0,292	0,290	0,287
12600	0,328	0,325	0,323	0,321	0,318	0,316	0,314	0,311	0,309	0,307	0,305	0,302	0,300	0,298	0,295	0,293
14400	0,333	0,331	0,329	0,326	0,324	0,322	0,319	0,317	0,315	0,312	0,310	0,308	0,305	0,303	0,301	0,298
16200	0,339	0,336	0,334	0,332	0,329	0,327	0,325	0,322	0,320	0,318	0,315	0,313	0,311	0,308	0,306	0,304
18000	0,344	0,342	0,339	0,337	0,335	0,332	0,330	0,328	0,325	0,323	0,321	0,318	0,316	0,314	0,311	0,309
19800	0,349	0,347	0,345	0,342	0,340	0,338	0,335	0,333	0,331	0,328	0,326	0,324	0,321	0,319	0,317	0,314
21600	0,355	0,352	0,350	0,348	0,345	0,343	0,341	0,338	0,336	0,334	0,331	0,329	0,327	0,325	0,322	0,320
23400	0,360	0,358	0,356	0,353	0,351	0,349	0,346	0,344	0,342	0,339	0,337	0,335	0,332	0,330	0,328	0,325
25200	0,366	0,363	0,361	0,359	0,356	0,354	0,352	0,349	0,347	0,345	0,342	0,340	0,338	0,335	0,333	0,331
27000	0,371	0,369	0,366	0,364	0,362	0,359	0,357	0,355	0,352	0,350	0,348	0,345	0,343	0,341	0,338	0,336
28800	0,376	0,374	0,372	0,369	0,367	0,365	0,362	0,360	0,358	0,355	0,353	0,351	0,348	0,346	0,344	0,341
30600	0,382	0,379	0,377	0,375	0,372	0,370	0,368	0,365	0,363	0,361	0,358	0,356	0,354	0,351	0,349	0,347

Кінець таблиці Д.5

32400	0,387	0,385	0,382	0,380	0,378	0,376	0,373	0,371	0,369	0,366	0,364	0,362	0,359	0,357	0,355	0,352
34200	0,393	0,390	0,388	0,386	0,383	0,381	0,379	0,376	0,374	0,372	0,369	0,367	0,365	0,362	0,360	0,358
36000	0,398	0,396	0,393	0,391	0,389	0,386	0,384	0,382	0,379	0,377	0,375	0,372	0,370	0,368	0,365	0,363
37800	0,403	0,401	0,399	0,396	0,394	0,392	0,389	0,387	0,385	0,382	0,380	0,378	0,375	0,373	0,371	0,368
39600	0,409	0,406	0,404	0,402	0,399	0,397	0,395	0,392	0,390	0,388	0,385	0,383	0,381	0,378	0,376	0,374
41400	0,414	0,412	0,409	0,407	0,405	0,403	0,400	0,398	0,396	0,393	0,391	0,389	0,386	0,384	0,382	0,379
43200	0,420	0,417	0,415	0,413	0,410	0,408	0,406	0,403	0,401	0,399	0,396	0,394	0,392	0,389	0,387	0,385
45000	0,425	0,423	0,420	0,418	0,416	0,413	0,411	0,409	0,406	0,404	0,402	0,399	0,397	0,395	0,392	0,390
46800	0,430	0,428	0,426	0,423	0,421	0,419	0,416	0,414	0,412	0,409	0,407	0,405	0,402	0,400	0,398	0,395
48600	0,436	0,433	0,431	0,429	0,426	0,424	0,422	0,419	0,417	0,415	0,412	0,410	0,408	0,405	0,403	0,401
50400	0,441	0,439	0,436	0,434	0,432	0,429	0,427	0,425	0,423	0,420	0,418	0,416	0,413	0,411	0,409	0,406
52200	0,447	0,444	0,442	0,440	0,437	0,435	0,433	0,430	0,428	0,426	0,423	0,421	0,419	0,416	0,414	0,412
54000	0,452	0,450	0,447	0,445	0,443	0,440	0,438	0,436	0,433	0,431	0,429	0,426	0,424	0,422	0,419	0,417
55800	0,457	0,455	0,453	0,450	0,448	0,446	0,443	0,441	0,439	0,436	0,434	0,432	0,429	0,427	0,425	0,422
57600	0,463	0,460	0,458	0,456	0,453	0,451	0,449	0,446	0,444	0,442	0,439	0,437	0,435	0,432	0,430	0,428
59400	0,468	0,466	0,463	0,461	0,459	0,456	0,454	0,452	0,449	0,447	0,445	0,443	0,440	0,438	0,436	0,433
61200	0,474	0,471	0,469	0,467	0,464	0,462	0,460	0,457	0,455	0,453	0,450	0,448	0,446	0,443	0,441	0,439
63000	0,479	0,477	0,474	0,472	0,470	0,467	0,465	0,463	0,460	0,458	0,456	0,453	0,451	0,449	0,446	0,444
64800	0,484	0,482	0,480	0,477	0,475	0,473	0,470	0,468	0,466	0,463	0,461	0,459	0,456	0,454	0,452	0,449
66600	0,490	0,487	0,485	0,483	0,480	0,478	0,476	0,473	0,471	0,469	0,466	0,464	0,462	0,459	0,457	0,455
68400	0,495	0,493	0,490	0,488	0,486	0,483	0,481	0,479	0,476	0,474	0,472	0,469	0,467	0,465	0,463	0,460
70200	0,500	0,498	0,496	0,494	0,491	0,489	0,487	0,484	0,482	0,480	0,477	0,475	0,473	0,470	0,468	0,466
72000	0,506	0,504	0,501	0,499	0,497	0,494	0,492	0,490	0,487	0,485	0,483	0,480	0,478	0,476	0,473	0,471
73800	0,511	0,509	0,507	0,504	0,502	0,500	0,497	0,495	0,493	0,490	0,488	0,486	0,483	0,481	0,479	0,476
75600	0,517	0,514	0,512	0,510	0,507	0,505	0,503	0,500	0,498	0,496	0,493	0,491	0,489	0,486	0,484	0,482
77400	0,522	0,520	0,517	0,515	0,513	0,510	0,508	0,506	0,503	0,501	0,499	0,496	0,494	0,492	0,490	0,487
79200	0,527	0,525	0,523	0,521	0,518	0,516	0,514	0,511	0,509	0,507	0,504	0,502	0,500	0,497	0,495	0,493
81000	0,533	0,531	0,528	0,526	0,524	0,521	0,519	0,517	0,514	0,512	0,510	0,507	0,505	0,503	0,500	0,498
82800	0,538	0,536	0,534	0,531	0,529	0,527	0,524	0,522	0,520	0,517	0,515	0,513	0,510	0,508	0,506	0,503
84600	0,544	0,541	0,539	0,537	0,534	0,532	0,530	0,527	0,525	0,523	0,520	0,518	0,516	0,513	0,511	0,509
86400	0,549	0,547	0,544	0,542	0,540	0,537	0,535	0,533	0,530	0,528	0,526	0,523	0,521	0,519	0,516	0,514

Таблиця Д.6 – Розраховані значення величини у (варіант 6)

t x	0,00	0,13	0,27	0,40	0,53	0,67	0,80	0,93	1,07	1,20	1,33	1,47	1,60	1,73	1,87	2,00
1800	0,005	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3600	0,011	0,008	0,006	0,004	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5400	0,016	0,014	0,012	0,009	0,007	0,005	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7200	0,022	0,019	0,017	0,015	0,012	0,010	0,008	0,005	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9000	0,027	0,025	0,022	0,020	0,018	0,015	0,013	0,011	0,008	0,006	0,004	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
10800	0,032	0,030	0,028	0,025	0,023	0,021	0,018	0,016	0,014	0,011	0,009	0,007	0,004	0,002	0,000	0,000
12600	0,038	0,035	0,033	0,031	0,028	0,026	0,024	0,021	0,019	0,017	0,015	0,012	0,010	0,008	0,005	0,003
14400	0,043	0,041	0,039	0,036	0,034	0,032	0,029	0,027	0,025	0,022	0,020	0,018	0,015	0,013	0,011	0,008
16200	0,049	0,046	0,044	0,042	0,039	0,037	0,035	0,032	0,030	0,028	0,025	0,023	0,021	0,018	0,016	0,014
18000	0,054	0,052	0,049	0,047	0,045	0,042	0,040	0,038	0,035	0,033	0,031	0,028	0,026	0,024	0,021	0,019

Кінець таблиці Д.6

19800	0,059	0,057	0,055	0,052	0,050	0,048	0,045	0,043	0,041	0,038	0,036	0,034	0,031	0,029	0,027	0,024
21600	0,065	0,062	0,060	0,058	0,055	0,053	0,051	0,048	0,046	0,044	0,041	0,039	0,037	0,035	0,032	0,030
23400	0,070	0,068	0,066	0,063	0,061	0,059	0,056	0,054	0,052	0,049	0,047	0,045	0,042	0,040	0,038	0,035
25200	0,076	0,073	0,071	0,069	0,066	0,064	0,062	0,059	0,057	0,055	0,052	0,050	0,048	0,045	0,043	0,041
27000	0,081	0,079	0,076	0,074	0,072	0,069	0,067	0,065	0,062	0,060	0,058	0,055	0,053	0,051	0,048	0,046
28800	0,086	0,084	0,082	0,079	0,077	0,075	0,072	0,070	0,068	0,065	0,063	0,061	0,058	0,056	0,054	0,051
30600	0,092	0,089	0,087	0,085	0,082	0,080	0,078	0,075	0,073	0,071	0,068	0,066	0,064	0,061	0,059	0,057
32400	0,097	0,095	0,092	0,090	0,088	0,086	0,083	0,081	0,079	0,076	0,074	0,072	0,069	0,067	0,065	0,062
34200	0,103	0,100	0,098	0,096	0,093	0,091	0,089	0,086	0,084	0,082	0,079	0,077	0,075	0,072	0,070	0,068
36000	0,108	0,106	0,103	0,101	0,099	0,096	0,094	0,092	0,089	0,087	0,085	0,082	0,080	0,078	0,075	0,073
37800	0,113	0,111	0,109	0,106	0,104	0,102	0,099	0,097	0,095	0,092	0,090	0,088	0,085	0,083	0,081	0,078
39600	0,119	0,116	0,114	0,112	0,109	0,107	0,105	0,102	0,100	0,098	0,095	0,093	0,091	0,088	0,086	0,084
41400	0,124	0,122	0,119	0,117	0,115	0,113	0,110	0,108	0,106	0,103	0,101	0,099	0,096	0,094	0,092	0,089
43200	0,130	0,127	0,125	0,123	0,120	0,118	0,116	0,113	0,111	0,109	0,106	0,104	0,102	0,099	0,097	0,095
45000	0,135	0,133	0,130	0,128	0,126	0,123	0,121	0,119	0,116	0,114	0,112	0,109	0,107	0,105	0,102	0,100
46800	0,140	0,138	0,136	0,133	0,131	0,129	0,126	0,124	0,122	0,119	0,117	0,115	0,112	0,110	0,108	0,105
48600	0,146	0,143	0,141	0,139	0,136	0,134	0,132	0,129	0,127	0,125	0,122	0,120	0,118	0,115	0,113	0,111
50400	0,151	0,149	0,146	0,144	0,142	0,139	0,137	0,135	0,133	0,130	0,128	0,126	0,123	0,121	0,119	0,116
52200	0,157	0,154	0,152	0,150	0,147	0,145	0,143	0,140	0,138	0,136	0,133	0,131	0,129	0,126	0,124	0,122
54000	0,162	0,160	0,157	0,155	0,153	0,150	0,148	0,146	0,143	0,141	0,139	0,136	0,134	0,132	0,129	0,127
55800	0,167	0,165	0,163	0,160	0,158	0,156	0,153	0,151	0,149	0,146	0,144	0,142	0,139	0,137	0,135	0,132
57600	0,173	0,170	0,168	0,166	0,163	0,161	0,159	0,156	0,154	0,152	0,149	0,147	0,145	0,142	0,140	0,138
59400	0,178	0,176	0,173	0,171	0,169	0,166	0,164	0,162	0,159	0,157	0,155	0,153	0,150	0,148	0,146	0,143
61200	0,184	0,181	0,179	0,177	0,174	0,172	0,170	0,167	0,165	0,163	0,160	0,158	0,156	0,153	0,151	0,149
63000	0,189	0,187	0,184	0,182	0,180	0,177	0,175	0,173	0,170	0,168	0,166	0,163	0,161	0,159	0,156	0,154
64800	0,194	0,192	0,190	0,187	0,185	0,183	0,180	0,178	0,176	0,173	0,171	0,169	0,166	0,164	0,162	0,159
66600	0,200	0,197	0,195	0,193	0,190	0,188	0,186	0,183	0,181	0,179	0,176	0,174	0,172	0,169	0,167	0,165
68400	0,205	0,203	0,200	0,198	0,196	0,193	0,191	0,189	0,186	0,184	0,182	0,179	0,177	0,175	0,173	0,170
70200	0,210	0,208	0,206	0,204	0,201	0,199	0,197	0,194	0,192	0,190	0,187	0,185	0,183	0,180	0,178	0,176
72000	0,216	0,214	0,211	0,209	0,207	0,204	0,202	0,200	0,197	0,195	0,193	0,190	0,188	0,186	0,183	0,181
73800	0,221	0,219	0,217	0,214	0,212	0,210	0,207	0,205	0,203	0,200	0,198	0,196	0,193	0,191	0,189	0,186
75600	0,227	0,224	0,222	0,220	0,217	0,215	0,213	0,210	0,208	0,206	0,203	0,201	0,199	0,196	0,194	0,192
77400	0,232	0,230	0,227	0,225	0,223	0,220	0,218	0,216	0,213	0,211	0,209	0,206	0,204	0,202	0,200	0,197
79200	0,237	0,235	0,233	0,231	0,228	0,226	0,224	0,221	0,219	0,217	0,214	0,212	0,210	0,207	0,205	0,203
81000	0,243	0,241	0,238	0,236	0,234	0,231	0,229	0,227	0,224	0,222	0,220	0,217	0,215	0,213	0,210	0,208
82800	0,248	0,246	0,244	0,241	0,239	0,237	0,234	0,232	0,230	0,227	0,225	0,223	0,220	0,218	0,216	0,213
84600	0,254	0,251	0,249	0,247	0,244	0,242	0,240	0,237	0,235	0,233	0,230	0,228	0,226	0,223	0,221	0,219
86400	0,259	0,257	0,254	0,252	0,250	0,247	0,245	0,243	0,240	0,238	0,236	0,233	0,231	0,229	0,226	0,224

ДОДАТОК Е
ФОТОМАТЕРІАЛИ ОБСТЕЖЕННЯ ДІЛЯНОК АВТОМОБІЛЬНИХ
ДОРІГ, ЯКІ ЗАЗНАЛИ РУЙНУВАНЬ ВНАСЛІДОК НЕСПРИЯТЛИВОГО
ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ

2011 рік



Рисунок Е.1 – 2011 рік, Житомирська область, а/д Н-03, км 41



Рисунок Е.2 – 2011 рік, Хмельницька область, а/д Р-50, км 12



Рисунок Е.3 – 2011 рік, Львівська область, а/д Р-39, км 32



Рисунок Е.4 – 2011 рік, Волинська область, а/д Н-22, км 70

2012 рік



Рисунок Е.5 – 2012 рік,
Житомирська область, а/д Р-49, км 34



Рисунок Е.6 – 2012 рік,
Житомирська область, а/д Р-32, км 172



Рисунок Е.6 – 2012 рік, Житомирська область, а/д Р-18, км 21

2013 рік



Рисунок Е.7 – 2013 рік, Івано-Франківська область, а/д М-12, км 71-75



Рисунок Е.8 – 2013 рік, Чернівецька область, а/д Н-03, км 309



Рисунок Е.9 – 2013 рік, Чернівецька область, а/д Н-03, км 324-325



Рисунок Е.10 – 2013 рік, Чернігівська область, а/д Т-25-38, км 1+827 – км 13+344

2014 рік



Рисунок Е.11 – 2014 рік, Чернігівська область, а/д Т-25-12, км 0 – км 12, км 88 – км 101



Рисунок Е.12 – 2014 рік, Чернігівська область, а/д О251804, км 10 – км 12



Рисунок Е.13 – 2014 рік, Чернігівська область, а/д Т-25-44, км 3+600 – км 5+800



Рисунок Е.14 – 2014 рік, Чернігівська область, а/д Т-25-21, км 14+732 – км 35+116

2015 рік



Рисунок Е.15 – 2015 рік, Миколаївська область, а/д Н-14, км 174

ДОДАТОК Ж

РОЗРАХУНОК ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

РАДОН. Розрахунок дорожнього одягу. Методика: ВБН В.2.3-218-186

Об'єкт:	3 категорія
Розрахункова схема:	Нове будівництво
Ім'я варіанту розрахунку:	Розрахунок 1

1. Вихідні дані

Категорія дороги:	III
Кількість смуг руху:	2
Номер розрахункової смуги:	1
Ширина смуги руху, м:	3.50
Ширина узбіччя, м:	2.50
Тип дорожнього одягу:	Капітальний
Похил у місцях перелому профілю, %:	0 / 0
Навант., кН / Тиск, МПа / Д. штампа, см:	100.0 / 0.6 / 37.1
Дорожньо-кліматична зона:	У-1
Температурний район:	А-2
Схема зволоження:	3
Розрахункова вологість ґрунту, W/Wt:	0.50
Адміністративна область:	Київська
Метод визначення вологості:	За лабор. даними
Коефіцієнт ущільнення ґрунту:	0.90
Глибина промерзання ґрунту, м:	0.90
Розрахункова висота насипу, м:	2.00
Розрахункова кількість днів у році:	135
Строк служби, років:	15
Рівень надійності:	0.90

2. Склад та інтенсивність руху в перший рік експлуатації:

Транспортний потік не задано.

3. Результати приведення до розрахункового навантаження:

Приведена добова інтенсивність, прикладень/смугу:	3059
Мінімальний потрібний модуль пружності, МПа:	180.00
Заданий розрахунковий модуль, МПа:	300.00

4. Розрахункові характеристики конструктивних шарів та результати розрахунку:

$$E_{\text{экв}}=325.60$$

$$K_{\text{пр}}=1.09$$

Найменування шару	$H_{\text{расч}}$, см	Запас, +-%	$E_{\text{упр}}$, МПа	$E_{\text{сдв}}$, МПа	$E_{\text{раст}}$, МПа	F , град	C , МПа	$K_{\text{изн}}$
Щільний гарячий асфальтобетон на бітумі БНД 60/90 (Тип Б, Марка І)	4.0		3200	1800	4500			1.00
Щільний гарячий асфальтобетон на бітумі БНД 60/90 (Тип А, Марка І)	8.0	39	3200	1800	4500			1.00
Заклинений шар із фракційного гранітного щебеню (із піщаника, перекристалізованих вапняків) 1-3 класу міцності	20.0		400					1.00
Пісок крупний (більше 50 % за масою зерен більше 0,5 мм)	41.0	100	130				0.006	1.00
Ґрунт робочого шару – суглинок важкий		58	108			32.0	0.045	1.00

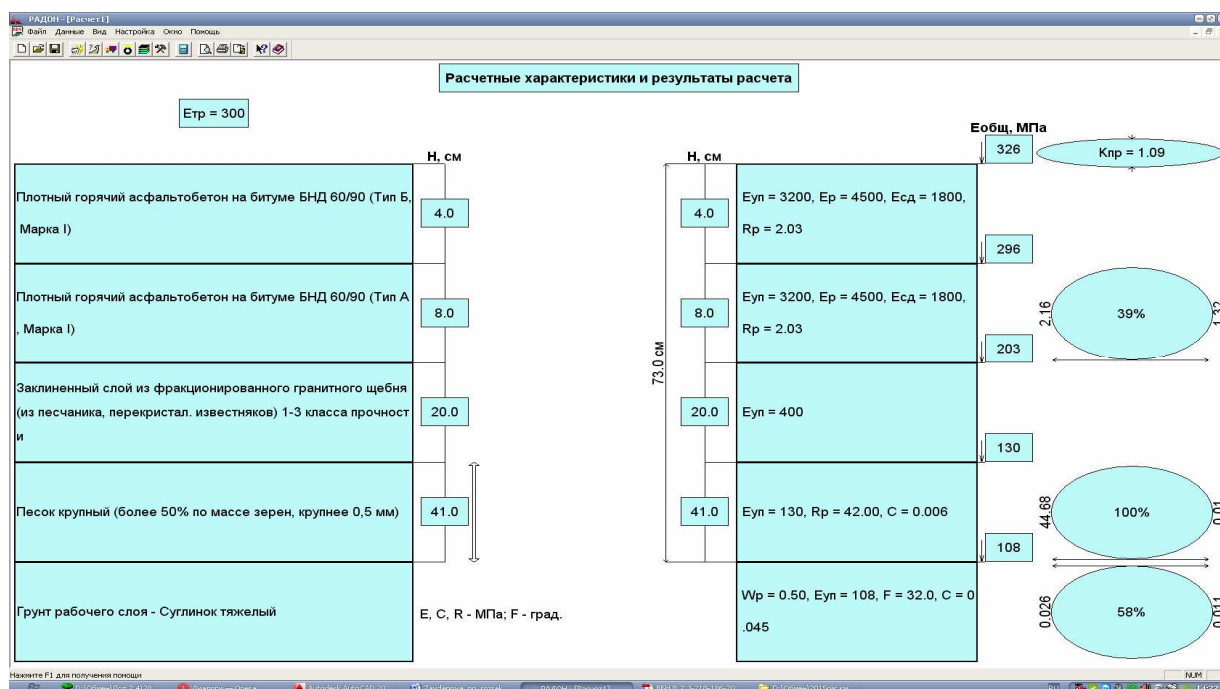


Рисунок Ж.1 – Розрахункові характеристики та результати розрахунку за варіантом 1

РАДОН. Розрахунок дорожнього одягу. Методика: ВБН В.2.3-218-186

Об'єкт:	3 категорія
Розрахункова схема:	Нове будівництво
Ім'я варіанту розрахунку:	Розрахунок 2

1. Вихідні дані

Категорія дороги:	III
Кількість смуг руху:	2
Номер розрахункової смуги:	1
Ширина смуги руху, м:	3.50
Ширина узбіччя, м:	2.50
Тип дорожнього одягу:	Капітальний
Похил у місцях перелому профілю, %:	0 / 0
Навант., кН / Тиск, МПа / Д. штампа, см:	100.0 / 0.6 / 37.1
Дорожньо-кліматична зона:	У-1
Температурний район:	А-2
Схема зволоження:	3
Розрахункова вологість ґрунту, W/Wt:	0.50
Адміністративна область:	Київська
Метод визначення вологості:	За лабор. даними
Коефіцієнт ущільнення ґрунту:	0.90
Глибина промерзання ґрунту, м:	0.90
Розрахункова висота насипу, м:	2.00
Розрахункова кількість днів у році:	135
Строк служби, років:	15
Рівень надійності:	0.90

2. Склад та інтенсивність руху в перший рік експлуатації:

Транспортний потік не задано.

3. Результати приведення до розрахункового навантаження:

Приведена добова інтенсивність, прикладень/смугу:	3059
Мінімальний потрібний модуль пружності, МПа:	180.00
Заданий розрахунковий модуль, МПа:	300.00

4. Розрахункові характеристики конструктивних шарів та результати розрахунку:

$$E_{\text{экв}}=319.33$$

$$K_{\text{пр}}=1.06$$

Найменування шару	$H_{\text{расч}}$, см	Запас, +-%	$E_{\text{упр}}$, МПа	$E_{\text{сдв}}$, МПа	$E_{\text{раст}}$, МПа	F , град	C , МПа	$K_{\text{изн}}$
Щільний гарячий асфальтобетон на бітумі БНД 60/90 (Тип Б, Марка І)	4.0		3200	1800	4500			1.00
Щільний гарячий асфальтобетон на бітумі БНД 60/90 (Тип А, Марка І)	8.0	38	3200	1800	4500			1.00
Заклинений шар із фракційного гранітного щебеню (із піщаника, перекристалізованих вапняків) 1-3 класу міцності	20.0		400					1.00
Пісок крупний (більше 50 % за масою зерен більше 0,5 мм)	36.0	100	130				0.006	1.00
Ґрунт робочого шару – суглинок важкий		54	108			32.0	0.045	1.00

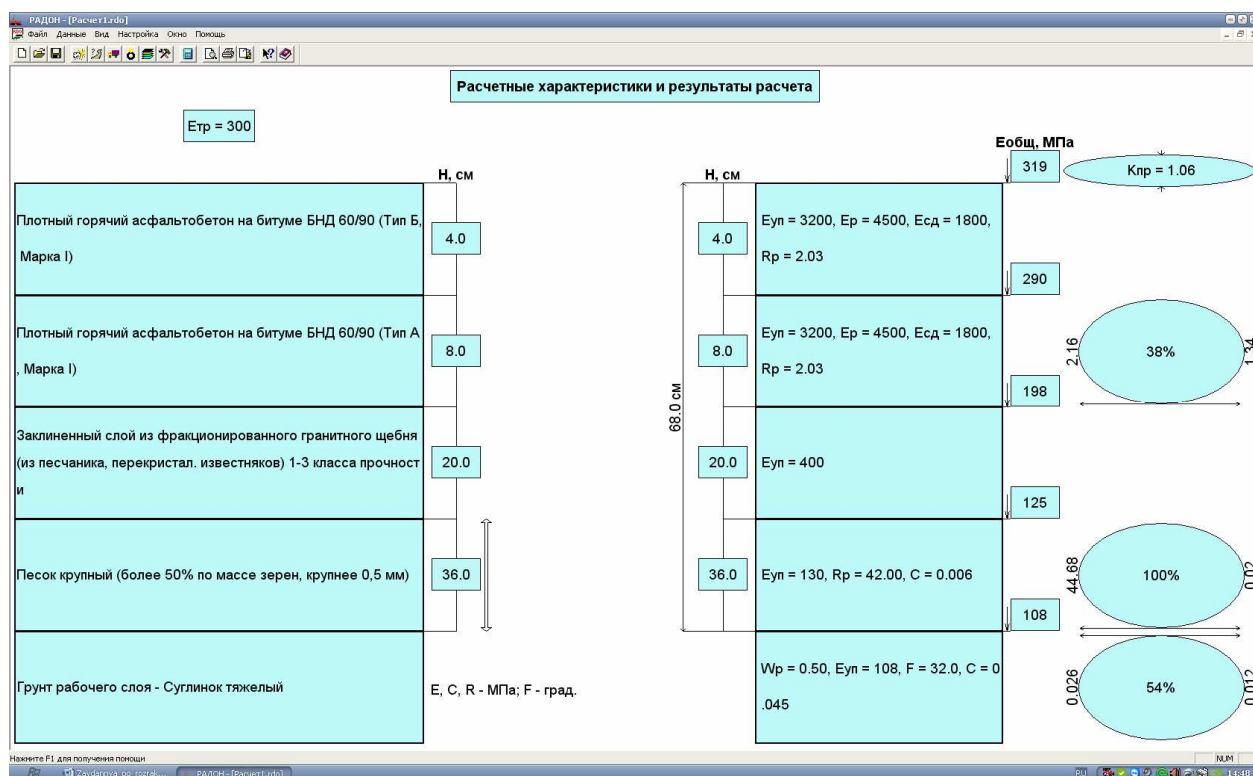


Рисунок Ж.2 – Розрахункові характеристики та результати розрахунку за варіантом 2

ДОДАТОК К

РОЗРАХУНОК ВАРТОСТІ ВЛАШТУВАННЯ ДОРОЖНЬОЇ КОНСТРУКЦІЇ

З ДРЕНАЖЕМ МІЛКОГО ЗАКЛАДЕННЯ

Таблиця К.1 – Локальний кошторис на будівельні роботи (варіант 1)

Форма № 1

Локальний кошторис на будівельні роботи № 2-1-1

на влаштування ДО - варіант 1

Дорожній одяг

Основа:
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість	4953,721	тис. грн.
Кошторисна трудомісткість	1,76097	тис.люд.-год.
Кошторисна заробітна плата	46,471	тис. грн.
Середній розряд робіт	3,3	розряд

Складений в поточних цінах станом на “9 липня” 2015 р.

№ п/п	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.-год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуванням машин	
										тих, що обслуговують машини	
										на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Продовження таблиці К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ДА2-55-1	Влаштування підстильного шару основи з піску кількість: 8х1000х0,41	100 м3	32,8	<u>30058,23</u> 48,13	<u>2276,85</u> 242,46	985910	1579	<u>74681</u> 7953	<u>2,54</u> 7,74	<u>83,31</u> 253,87
2	ДА2-9-1	Влаштування одношарової основи зі щебеню фракція 40-70 мм, товщиною 15 см кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>95869,86</u> 94,18	<u>5947,71</u> 653,12	766959	753	<u>47582</u> 5225	<u>4,97</u> 21,6698	<u>39,76</u> 173,36
3	ДА2-9-6 к=5	При зміні товщини на кожен 1 см додавати або виключати за нормами 2-9-1 та 2-9-3 кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>23249,39</u> -	<u>132,63</u> 15,36	185995	-	<u>1061</u> 123	<u>-</u> 0,715	<u>-</u> 5,72
4	ДА2-2-14	Влаштування нижнього шару покриття товщиною 7 см із гарячої асфальтобетонної суміші асфальтоукладальником VOGELE SUPER 2100, при ширині укладання 3,5 м кількість: 1000х8	1000 м2	8	<u>5789,13</u> 580,96	<u>3046,25</u> 303,46	46313	4648	<u>24370</u> 2428	<u>30,29</u> 9,1692	<u>242,32</u> 73,35
5	ДА2-2-16	Влаштування нижнього шару покриття товщиною 7 см із гарячої асфальтобетонної суміші асфальтоукладальником VOGELE SUPER 2100, при ширині укладання 4,5 м кількість: 1000х8	1000 м2	8	<u>5005,78</u> 451,88	<u>2391,98</u> 238,72	40046	3615	<u>19136</u> 1910	<u>23,56</u> 7,254	<u>188,48</u> 58,03
6	ДА2-2-22 К=2	Влаштування нижнього шару покриття товщиною 7 см із гарячої асфальтобетонної суміші асфальтоукладальником VOGELE SUPER 2100, при зміні товщини на кожні 0,5 см додавати або виключати кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>1,15</u> 1,15	<u>-</u> -	9	9	<u>-</u> -	<u>0,06</u> -	<u>0,48</u> -

Продовження таблиці К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	C1421-9851	Суміші асфальтобетонні гарячі і теплі [асфальтобетон щільний] (дорожні)(аеродромні), що застосовуються у нижніх шарах покриттів, крупнозернисті, тип Б, марка 2 кількість: 8х(162,1+23,2х2)	т	1668	<u>707,69</u> -	<u>-</u> -	1180427	-	<u>-</u> -	<u>-</u> -	<u>-</u> -
8	ДА2-4-11	Ущільнення асфальтобетонного шару котками гладковальцевими НАММ HD 110, масою 10,6 т за чотири проходи котка по одному сліду кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>738,70</u> -	<u>738,70</u> 57,02	5910	-	<u>5910</u> 456	<u>-</u> 2,0664	<u>-</u> 16,53
9	ДА2-4-19	Ущільнення асфальтобетонного шару котками гладковальцевими НАММ HD 130, масою 14,2 т за шість проходів котка по одному сліду кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>502,65</u> -	<u>502,65</u> 51,86	4021	-	<u>4021</u> 415	<u>-</u> 1,6492	<u>-</u> 13,19
10	ДА2-4-23	Ущільнення асфальтобетонного шару котками на пневмоколісному ходу НАММ HD 150 ТТ, масою 14,33 т за чотири проходи котка по одному сліду кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>530,95</u> -	<u>530,95</u> 57,68	4248	-	<u>4248</u> 461	<u>-</u> 1,612	<u>-</u> 12,9
11	ДА2-4-24 К=2	Додавати або виключати на кожний прохід при зміні кількості проходів до норми 2-4-23 кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>261,39</u> -	<u>261,39</u> 28,40	2091	-	<u>2091</u> 227	<u>-</u> 0,7936	<u>-</u> 6,35

Продовження таблиці К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12	ДА2-4-31	Ущільнення асфальтобетонного шару котками комбінованої дії HAMM HD 110K, масою 9,3 т за шість проходів котка по одному сліду кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>1620,13</u> -	<u>1620,13</u> 138,83	12961	-	<u>12961</u> 1111	<u>-</u> 4,4157	<u>-</u> 35,33
13	ДА2-1-60	Влаштування верхнього шару покриття товщиною 5 см із гарячої асфальтобетонної суміші асфальтоукладальником VOGELE SUPER 2100, при ширині укладання 9 м кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>3512,57</u> 206,95	<u>1143,70</u> 115,21	28101	1656	<u>9150</u> 922	<u>10,79</u> 3,6	<u>86,32</u> 28,8
14	ДА2-1-62 к=2	Влаштування верхнього шару покриття товщиною 5 см із гарячої асфальтобетонної суміші асфальтоукладальником VOGELE SUPER 2100, при зміні товщини на кожні 0,5 см додавати або виключати кількість: -8х1000	1000 м2	-8	<u>1,15</u> 1,15	<u>-</u> -	-9	-9	<u>-</u> -	<u>0,06</u> -	<u>-0,480</u> -
15	C1421-9837	Суміші асфальтобетонні гарячі і теплі [асфальтобетон щільний] (дорожні)(аеродромні), що застосовуються у верхніх шарах покриттів, дрібнозернисті, тип Б, марка 1 кількість: 8х(121,6-12,1х2)	т	779,2	<u>813,59</u> -	<u>-</u> -	633949	-	<u>-</u> -	<u>-</u> -	<u>-</u> -
16	ДА2-4-11	Ущільнення асфальтобетонного шару котками гладковальцевими HAMM HD 110, масою 10,6 т за чотири проходи котка по одному сліду кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>738,70</u> -	<u>738,70</u> 57,02	5910	-	<u>5910</u> 456	<u>-</u> 2,0664	<u>-</u> 16,53

Продовження таблиці К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17	ДА2-4-12 к=2	Додавати або виключати на кожний прохід при зміні кількості проходів до норми 2-4-11 кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>369,35</u> -	<u>369,35</u> 28,51	2955	-	<u>2955</u> 228	<u>-</u> 1,0332	<u>-</u> 8,27
18	ДА2-4-19	Ущільнення асфальтобетонного шару котками гладковальцевими НАММ HD 130, масою 14,2 т за шість проходів котка по одному сліду кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>502,65</u> -	<u>502,65</u> 51,86	4021	-	<u>4021</u> 415	<u>-</u> 1,6492	<u>-</u> 13,19
19	ДА2-4-20 к=2	Додавати або виключати на кожний прохід при зміні кількості проходів до норми 2-4-19 кількість: -8х1000	1000 м2	-8	<u>166,29</u> -	<u>166,29</u> 17,16	-1330	-	<u>-1330</u> -137	<u>-</u> 0,5456	<u>-</u> -4,36
20	ДА2-4-23	Ущільнення асфальтобетонного шару котками на пневмоколісному ходу НАММ HD 150 ТТ, масою 14,33 т за чотири проходи котка по одному сліду кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>530,95</u> -	<u>530,95</u> 57,68	4248	-	<u>4248</u> 461	<u>-</u> 1,612	<u>-</u> 12,9
21	ДА2-4-24 К=4	Додавати або виключати на кожний прохід при зміні кількості проходів до норми 2-4-23 кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>522,78</u> -	<u>522,78</u> 56,79	4182	-	<u>4182</u> 454	<u>-</u> 1,5872	<u>-</u> 12,7
УЗБІЧЧЯ											
22	ДА2-55-1	Влаштування підстильного шару основи з піску кількість: ((2,51+3,125)х0,41/2)х1000х2	100 м3	23,1035	<u>30058,23</u> 48,13	<u>2276,85</u> 242,46	694450	1112	<u>52603</u> 5602	<u>2,54</u> 7,74	<u>58,68</u> 178,82

Кінець таблиці К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
23	ДА1-24-1	Укріплення узбіч щебенем товщиною шару 10 см з використанням автогрейдера потужністю 99 кВт [135 к.с.] кількість: 2х1000х2	100 м2	40	<u>6642,07</u> -	<u>230,81</u> 36,56	265683	-	<u>9232</u> 1462	<u>-</u> 1,393	<u>-</u> 55,72
24	ДА1-24-3 к=2	На кожен 1 см зміни товщини шару додавати до норм 1-24-1 та 1-24-2 кількість: 2х1000х2	100 м2	40	<u>1282,25</u> -	<u>-</u> -	51290	-	<u>-</u> -	<u>-</u> -	<u>-</u> -
		Разом прямі витрати по кошторису					4928340	13363	<u>287032</u> 30172	-	<u>698,87</u> 971,2
		Разом будівельні роботи, грн. в тому числі: вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн. всього заробітна плата, грн. Загальновиробничі витрати, грн. трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год. заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн. Всього будівельні роботи, грн. ----- Всього по кошторису					4928340 4627945 43535 25381 90,9 2936 4953721 4953721				
		Кошторисна трудомісткість, люд.год. Кошторисна заробітна плата, грн.					1760,97 46471				

Таблиця К.2 – Локальний кошторис на будівельні роботи (варіант 2)

Форма № 1

Локальний кошторис на будівельні роботи № 2-1-2

на влаштування ДО - варіант 2

Дорожній одяг

Основа:

креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість	5042,819	тис. грн.
Кошторисна трудомісткість	1,35494	тис.люд.-год.
Кошторисна заробітна плата	37,462	тис. грн.
Середній розряд робіт	3,2	розряд

Складений в поточних цінах станом на “9 липня” 2015 р.

№ п/п	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.-год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуванням машин	
					заробітної плати	в тому числі заробітної плати			в тому числі заробітної плати	тих, що обслуговують машини	
										на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ДА2-55-1	Влаштування підстильного шару основи з піску кількість: 8х1000х0,36	100 м3	28,8	<u>30058,23</u> 48,13	<u>2276,85</u> 242,46	865677	1386	<u>65573</u> 6983	<u>2,54</u> 7,74	<u>73,15</u> 222,91

Продовження таблиці К.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	ДА2-9-1	Влаштування одношарової основи зі щебеню фракція 40-70 мм, товщиною 15 см кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>95869,86</u> 94,18	<u>5947,71</u> 653,12	766959	753	<u>47582</u> 5225	<u>4,97</u> 21,6698	<u>39,76</u> 173,36
3	ДА2-9-6 к=5	При зміні товщини на кожен 1 см додавати або виключати за нормами 2-9-1 та 2-9-3 кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>23249,39</u> -	<u>132,63</u> 15,36	185995	-	<u>1061</u> 123	<u>-</u> 0,715	<u>-</u> 5,72
4	ДА2-2-20	Влаштування нижнього шару покриття товщиною 7 см із гарячої асфальтобетонної суміші асфальтоукладальником VOGELE SUPER 2100, при ширині укладання 9 м кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>3626,26</u> 225,94	<u>1238,40</u> 124,58	29010	1808	<u>9907</u> 997	<u>11,78</u> 3,8772	<u>94,24</u> 31,02
5	ДА2-2-22 К=2	Влаштування нижнього шару покриття товщиною 7 см із гарячої асфальтобетонної суміші асфальтоукладальником VOGELE SUPER 2100, при зміні товщини на кожні 0,5 см додавати або виключати кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>1,15</u> 1,15	<u>-</u> -	9	9	<u>-</u> -	<u>0,06</u> -	<u>0,48</u> -
6	С1421-9851	Суміші асфальтобетонні гарячі і теплі [асфальтобетон щільний] (дорожні)(аеродромні), що застосовуються у нижніх шарах покриттів, крупнозернисті, тип Б, марка 2 кількість: 8х(162,1+23,2х2)	т	1668	<u>707,69</u> -	<u>-</u> -	1180427	-	<u>-</u> -	<u>-</u> -	<u>-</u> -

Продовження таблиці К.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	ДА2-4-11	Ущільнення асфальтобетонного шару котками гладковальцевими HAMM HD 110, масою 10,6 т за чотири проходи котка по одному сліду кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>738,70</u> -	<u>738,70</u> 57,02	5910	-	<u>5910</u> 456	<u>-</u> 2,0664	<u>-</u> 16,53
8	ДА2-4-19	Ущільнення асфальтобетонного шару котками гладковальцевими HAMM HD 130, масою 14,2 т за шість проходів котка по одному сліду кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>502,65</u> -	<u>502,65</u> 51,86	4021	-	<u>4021</u> 415	<u>-</u> 1,6492	<u>-</u> 13,19
9	ДА2-4-23	Ущільнення асфальтобетонного шару котками на пневмоколісному ходу HAMM HD 150 TT, масою 14,33 т за чотири проходи котка по одному сліду кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>530,95</u> -	<u>530,95</u> 57,68	4248	-	<u>4248</u> 461	<u>-</u> 1,612	<u>-</u> 12,9
10	ДА2-4-24 К=2	Додавати або виключати на кожний прохід при зміні кількості проходів до норми 2-4-23 кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>261,39</u> -	<u>261,39</u> 28,40	2091	-	<u>2091</u> 227	<u>-</u> 0,7936	<u>-</u> 6,35
11	ДА2-4-31	Ущільнення асфальтобетонного шару котками комбінованої дії HAMM HD 110K, масою 9,3 т за шість проходів котка по одному сліду кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>1620,13</u> -	<u>1620,13</u> 138,83	12961	-	<u>12961</u> 1111	<u>-</u> 4,4157	<u>-</u> 35,33

Продовження таблиці К.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12	ДА2-1-60	Влаштування верхнього шару покриття товщиною 5 см із гарячої асфальтобетонної суміші асфальтоукладальником VOGELE SUPER 2100, при ширині укладання 9 м кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>3512,57</u> 206,95	<u>1143,70</u> 115,21	28101	1656	<u>9150</u> 922	<u>10,79</u> 3,6	<u>86,32</u> 28,8
13	ДА2-1-62 к=2	Влаштування верхнього шару покриття товщиною 5 см із гарячої асфальтобетонної суміші асфальтоукладальником VOGELE SUPER 2100, при зміні товщини на кожні 0,5 см додавати або виключати кількість: -8х1000	1000 м2	-8	<u>1,15</u> 1,15	<u>-</u> -	-9	-9	<u>-</u> -	<u>0,06</u> -	<u>-0,480</u> -
14	C1421-9837	Суміші асфальтобетонні гарячі і теплі [асфальтобетон щільний] (дорожні)(аеродромні), що застосовуються у верхніх шарах покриттів, дрібнозернисті, тип Б, марка 1 кількість: 8х(121,6-12,1х2)	т	779,2	<u>813,59</u> -	<u>-</u> -	633949	-	<u>-</u> -	<u>-</u> -	<u>-</u> -
15	ДА2-4-11	Ущільнення асфальтобетонного шару котками гладковальцевими HAMM HD 110, масою 10,6 т за чотири проходи котка по одному сліду кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>738,70</u> -	<u>738,70</u> 57,02	5910	-	<u>5910</u> 456	<u>-</u> 2,0664	<u>-</u> 16,53
16	ДА2-4-12 к=2	Додавати або виключати на кожний прохід при зміні кількості проходів до норми 2-4-11 кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>369,35</u> -	<u>369,35</u> 28,51	2955	-	<u>2955</u> 228	<u>-</u> 1,0332	<u>-</u> 8,27

Продовження таблиці К.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17	ДА2-4-19	Ущільнення асфальтобетонного шару котками гладковальцевими НАММ HD 130, масою 14,2 т за шість проходів котка по одному сліду кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>502,65</u> -	<u>502,65</u> 51,86	4021	-	<u>4021</u> 415	<u>-</u> 1,6492	<u>-</u> 13,19
18	ДА2-4-20 к=2	Додавати або виключати на кожний прохід при зміні кількості проходів до норми 2-4-19 кількість: -8х1000	1000 м2	-8	<u>166,29</u> -	<u>166,29</u> 17,16	-1330	-	<u>-1330</u> -137	<u>-</u> 0,5456	<u>-</u> -4,36
19	ДА2-4-23	Ущільнення асфальтобетонного шару котками на пневмоколiсному ході НАММ HD 150 ТТ, масою 14,33 т за чотири проходи котка по одному сліду кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>530,95</u> -	<u>530,95</u> 57,68	4248	-	<u>4248</u> 461	<u>-</u> 1,612	<u>-</u> 12,9
20	ДА2-4-24 К=4	Додавати або виключати на кожний прохід при зміні кількості проходів до норми 2-4-23 кількість: 8х1000	1000 м2	8	<u>522,78</u> -	<u>522,78</u> 56,79	4182	-	<u>4182</u> 454	<u>-</u> 1,5872	<u>-</u> 12,7
УЗБІЧЧЯ											
21	ДА2-55-1	Влаштування підстильного шару основи з піску кількість: ((2,51+3,335)х0,55/2)х1000х2	100 м3	32,1475	<u>30058,23</u> 48,13	<u>2276,85</u> 242,46	966297	1547	<u>73195</u> 7794	<u>2,54</u> 7,74	<u>81,65</u> 248,82
22	ДА1-24-1	Укріплення узбіч щебенем товщиною шару 10 см з використанням автогрейдера потужністю 99 кВт [135 к.с.] кількість: 2х1000х2	100 м2	40	<u>6642,07</u> -	<u>230,81</u> 36,56	265683	-	<u>9232</u> 1462	<u>-</u> 1,393	<u>-</u> 55,72

Кінець таблиці К.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
23	ДА1-24-3 к=2	На кожен 1 см зміни товщини шару додавати до норм 1-24-1 та 1-24-2 кількість: 2х1000х2	100 м2	40	<u>1282,25</u> -	<u>-</u> -	51290	-	<u>-</u> -	<u>-</u> -	<u>-</u> -
		Разом прями витрати по кошторису					5022605	7150	<u>264917</u> 28053	-	<u>375,12</u> 909,88
		Разом будівельні роботи, грн.					5022605				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн.					4750538				
		всього заробітна плата, грн.					35203				
		Загальновиробничі витрати, грн.					20214				
		трудоємність в загальновиробничих витратах, люд.год.					69,94				
		заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.					2259				
		Всього будівельні роботи, грн.					5042819				

		Всього по кошторису					5042819				
		Кошторисна трудоємність, люд.год.					1354,94				
		Кошторисна заробітна плата, грн.					37462				

Таблиця К.3 – Об’єктний кошторис

ОБ’ЄКТНИЙ КОШТОРИС № 2-1

Складений в поточних цінах станом на 9 липня 2015 р.

№ п/п	Номери кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.			Кошторисна трудомісткість, тис. люд.-год.	Кошторисна заробітна плата, тис. грн.	Показники одиничної вартості
			будівельних робіт	устаткування, меблів та інвентарю	всього			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Л. кошторис. 2-1-1	на влаштування ДО - варіант 1	4953,721	-	4953,721	1,76097	46,471	-
2	Л. кошторис. 2-1-2	на влаштування ДО - варіант 2	5042,819	-	5042,819	1,35494	37,462	-
		Всього:	9996,54	-	9996,54	3,11591	83,933	-

Таблиця К.4 – Відомість трудомісткості і заробітної плати

ВІДОМІСТЬ ТРУДОМІСТКОСТІ І ЗАРОБІТНОЇ ПЛАТИдо об’єктного кошторису № 2-1

Номери локальних кошторисів	Найменування локальних кошторисів	Робітники-будівельники	Робітники-монтажники	Робітники, зайняті на керуванні та обслуговуванні машин	Роботи по перевезенню ґрунту і будівельного сміття	Пусконаладжувальний персонал	Разом прямі витрати	Загально-виробничі витрати	Разом кошторисні витрати
1	2	3/4	5/6	7/8	9/10	11/12	13/14	15/16	17/18
2-1-1	влаштування ДО - варіант 1	<u>0,69887</u>	<u>-</u>	<u>0,97120</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>1,67007</u>	<u>0,09090</u>	<u>1,76097</u>
		13,363	-	30,172	-	-	43,535	2,936	46,471
2-1-2	влаштування ДО - варіант 2	<u>0,37512</u>	<u>-</u>	<u>0,90988</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>1,28500</u>	<u>0,06994</u>	<u>1,35494</u>
		7,15	-	28,053	-	-	35,203	2,259	37,462
	Разом :	<u>1,07399</u>	<u>-</u>	<u>1,88108</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>2,95507</u>	<u>0,16084</u>	<u>3,11591</u>
-	-	20,513	-	58,225	-	-	78,738	5,195	83,933

ДОДАТОК Л

ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ
УКРАЇНИ
(УКРАВТОДОР)**

03680, вул. Фізкультури 9, м. Київ, 03150
Тел. 287-24-05, 287-24-49, факс 287-42-18
www.ukravtodor.gov.ua
E-mail: kae@ukravtodor.gov.ua



**THE STATE ROAD
ADMINISTRATION OF
UKRAINE
(UKRAVTODOR)**

03680, Kyiv, 9 Fizkultury str., 03150
Tel. 287-24-05, 287-24-49, fax 287-42-18
www.ukravtodor.gov.ua
E-mail: kae@ukravtodor.gov.ua

08.08.2011 № 4/11-8А-2440

На № _____ від _____

ДОВІДКА

про використання результатів науково-дослідної роботи

Результати науково-дослідної роботи аспіранта, асистента кафедри будівництва та експлуатації доріг Національного транспортного університету Стьожки В.В. у вигляді «Методики визначення пропускної здатності дренажної конструкції мілкого залягання з урахуванням річного циклу роботи» (М 218-02070915-684:2011) використовуються у практиці при проектуванні автомобільних доріг загального користування проектними організаціями, які підпорядковані Державній службі автомобільних доріг України (Укравтодор).

086756

Заступник Голови Державної
служби автомобільних доріг України

Є.Д. Прусенко

ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ



ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО –
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ІНСТИТУТ
З ПРОЕКТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ
ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРДІПРОДОР



03680, м. Київ, Повітрофлотський пр-кт, 39/1
тел./факс: (044) 249-84-83
e-mail: okt@diprodor.com

“ 02 ” 04 2015р.

№ 633-08

на № _____ від _____

ДОВІДКА

про використання результатів науково-дослідної роботи

Результати досліджень, які відображені в науково-дослідній роботі аспіранта кафедри будівництва та експлуатації доріг Національного транспортного університету Стюжки Віталія Володимировича «Удосконалення методу розрахунку дренажних систем мілкового закладення», використані при виконанні розрахунків параметрів труб поздовжнього траншейного дренажу мілкового закладення у проекті капітального ремонту автомобільної дороги державного значення М-05 Київ – Одеса на ділянці км 402+500 – км 405+000.

Виконані розрахунки дали можливість на стадії проектування системи осушення земляного полотна та дорожнього одягу виконати гідравлічне обґрунтування призначення поперечного перетину перфорованих дренажних труб на основі визначеного загального притоку вологи у розрахунковий період, що сприятиме підвищенню надійності дорожньої конструкції.

Економічний ефект від впровадження складає 70 (Сімдесят) тис. грн.

Директор



С.А. Гладун



МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
УПРАВЛІННЯ ВЗАЄМОДІЇ З ВЕРХОВНОЮ РАДОЮ УКРАЇНИ,
ОРГАНАМИ ДЕРЖАВНОЇ ВЛАДИ ТА НАУКИ

Київ, 01135, проспект Перемоги 14, тел.. (044) 351-48-36 email: rmy@mtu.gov.ua

« 03 » 09 2015 р.

№ 50/ 99 - 15

ДОВІДКА

**про впровадження результатів наукових досліджень в умовах
Міністерства інфраструктури України
аспіранта кафедри управління виробництвом і майном
Національного транспортного університету
Стьожки Віталія Володимировича**

Даною довідкою засвідчується, що результати наукових досліджень Стьожки В.В. щодо закономірностей зміни водно-теплогового режиму та розрахунку дренажних систем робочої зони земляного полотна отримали практичне застосування при проектуванні та виконанні робіт з ремонтів автомобільних доріг загального користування державного значення України.

Стьожка В.В. є співавтором методики М 218-02070915-684:2011 Методика визначення пропускної здатності дренажної конструкції мілкового залягання з урахуванням річного циклу роботи та науковим керівником розробки рекомендацій Р В.3.1-21476215-816:2013 Рекомендації щодо оптимізації заходів з сезонного утримання доріг та підвищення якості їх виконання.

Зазначені документи знайшли практичне застосування при виконанні робіт із ремонтів автомобільних доріг у Київській, Тернопільській та Чернігівській областях, які виконувались протягом 2012-2014 років.

Начальник Управління
взаємодії з Верховною Радою України,
органами державної влади та науки

Д.В. Ламський



УКРАВТОДОР

СЛУЖБА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ У ТЕРНОПІЛЬСЬКІЙ ОБЛАСТІ

вул. О. Кульчицької, 8 м. Тернопіль, 46000,

тел. (0352) 52-41-50, факс (0352) 52-54-43

E-mail: teletayp@ukr.net

ЗКПО 25887079

ДОВІДКА

про впровадження результатів роботи

Даною довідкою засвідчується, що результати досліджень, відображені в науково-дослідній роботі «Удосконалення методу розрахунку дренажних систем мілкового закладення» та в методиці М 218-02070915-684:2011 «Методика визначення пропускної здатності дренажної конструкції мілкового залягання з урахуванням річного циклу роботи», використані при розробці заходів з регулювання водно-теплогового режиму шляхом влаштування дренажу в робочій зоні земляного полотна автомобільної дороги М-19 Доманове-Ковель-Чернівці-Тереблече на ділянці км 340+000 – км 341+800.

Проведені розрахунки дозволили спроектувати оптимальну конструкцію, призначену для осушення дорожнього одягу та робочої зони земляного полотна, і тим самим зменшити витрати на ремонти та експлуатаційне утримання ділянки дороги в подальшому.

Начальник



Б.І. Юлик

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ
(УКРАВТОДОР)
Національний транспортний університет**

ЗАТВЕРДЖЕНО

Заступник Голови Державної служби
автомобільних доріг України

Є.Д. Прусенко
«16» 06 2011 р.



Методика

**визначення пропускної здатності дренажної конструкції мілкового залягання
з урахуванням річного циклу роботи**

М 218-02070915-684:2011

ПОГОДЖЕНО

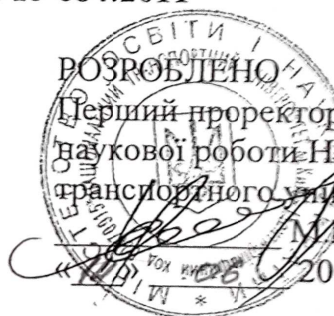
Начальник Управління
науково-технічної політики
Укравтодору

О.Є. Крижанівський
«16» 06 2011

РОЗРОБЛЕНО

Перший проректор-проректор з
наукової роботи Національного
транспортного університету

М.М. Дмитрієв
«16» 06 2011



ПОГОДЖЕНО

Директор Департаменту
автомобільних доріг Укравтодору

О.В. Сухоносів
«16» 06 2011

Керівник НДР, головний
науковий співробітник

В.Я. Савенко
«14» 06 2011

ПОГОДЖЕНО

Начальник відділу стандартизації та
метрології ДерждорНДІ

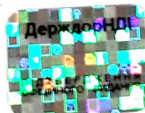
О.В. Мозговий
«14» 06 2011

Головний науковий співробітник

О.С. Славінська
«14» 06 2011 року

Молодший науковий співробітник

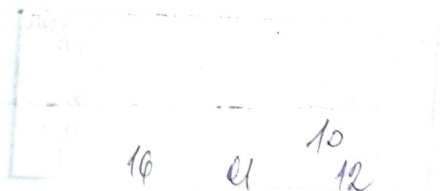
В.В. Стюжка
«14» 06 2011 року



Київ
2011

**УКРАВТОДОР
ФОНД**

НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ
КОНТРОЛЬНИЙ ПРИМІРНИК



**ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ
(УКРАВТОДОР)**

**Державне підприємство «Центр науково-технічного супроводу дорожніх
робіт та сертифікації дорожньої продукції» (ДП «Дорцентр»)**

РЕКОМЕНДОВАНО

Науково-технічною радою Державного
агентства автомобільних доріг України
(Укравтодор)

Протокол від " " _____
№ _____

РЕКОМЕНДОВАНО

Науково-технічною радою ДП «ДерждорНДІ»
Протокол від 16 травня 2013 р.

№ 3

РЕКОМЕНДАЦІЇ

**щодо оптимізації заходів з сезонного утримання
доріг та підвищення якості їх виконання**

Р В.3.1-21476215 - 816 :2013

ПОГОДЖЕНО

Начальник Управління
експлуатаційного утримання доріг
та безпеки руху Укравтодору

" " _____ О.В. Сухоносів
2013 р.

ПОГОДЖЕНО

Начальник Відділу інноваційного
розвитку Укравтодору

" " _____ А.О. Цинка
2013 р.

ПОГОДЖЕНО

Начальник відділу
стандартизації та метрології
ДП «ДерждорНДІ»

" " _____ М.М. Стулій
2013 р.

РОЗРОБЛЕНО

Директор ДП «Дорцентр»

" " _____ А.М. Герасименко
2013 р.

Заступник директора
ДП «Дорцентр»

" " _____ В.В. Стьожка
2013 р.

Завідувач відділу нагляду за
експлуатаційним станом доріг і
безпеки руху ДП «Дорцентр»

" " _____ А.О. Копинець
2013 р.

Київ
2013

В.Я. Савенко, О.С. Славінська,
О.Ю. Усиченко, В.В. Стьожа



ПРОЕКТУВАННЯ, БУДІВНИЦТВО
ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ПОЗДОВЖНІХ ДРЕНАЖІВ
МІЛКОГО ЗАЛЯГАННЯ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**«БУДІВНИЦТВО ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ
ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ»
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО
ТА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТІВ**

з дисципліни

для студентів денної форми навчання
за напрямом 6.060101 «Будівництво»
спеціальностей 7.06010105 та 8.06010105
«Автомобільні дороги і аеродроми»

Київ НТУ 2012



ДОВІДКА

про впровадження результатів науково-дослідної роботи

Результати дисертаційної роботи Стьожки В.В. за темою «Удосконалення методу розрахунку дренажних систем мілкого закладення» впроваджено у навчальний процес, а саме при викладанні дисципліни «Будівництво та експлуатація інженерних мереж» для студентів напряму підготовки 6.060101 «Будівництво», спеціальності 7.06010105; 8.06010105 «Автомобільні дороги і аеродроми».

Проректор з навчальної роботи

професор НТУ



О.К. Грищук

Завідувач кафедри будівництва та

експлуатації доріг, професор НТУ

В.Я. Савенко