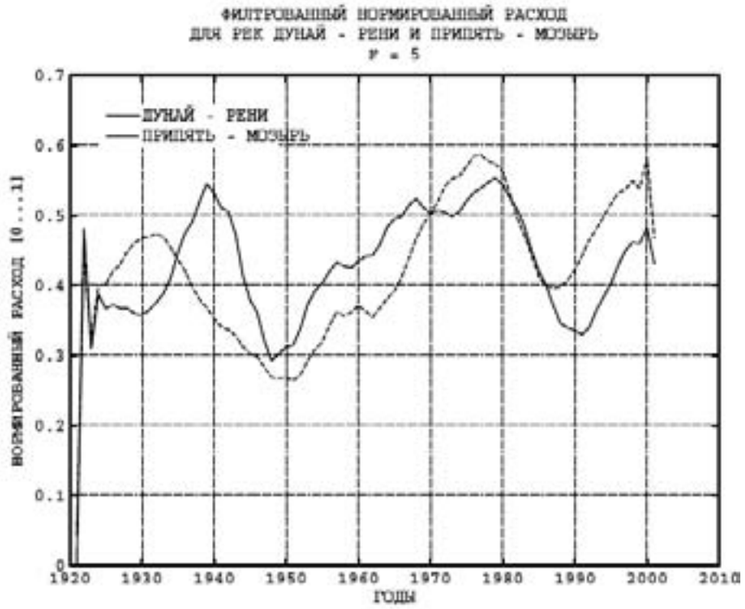
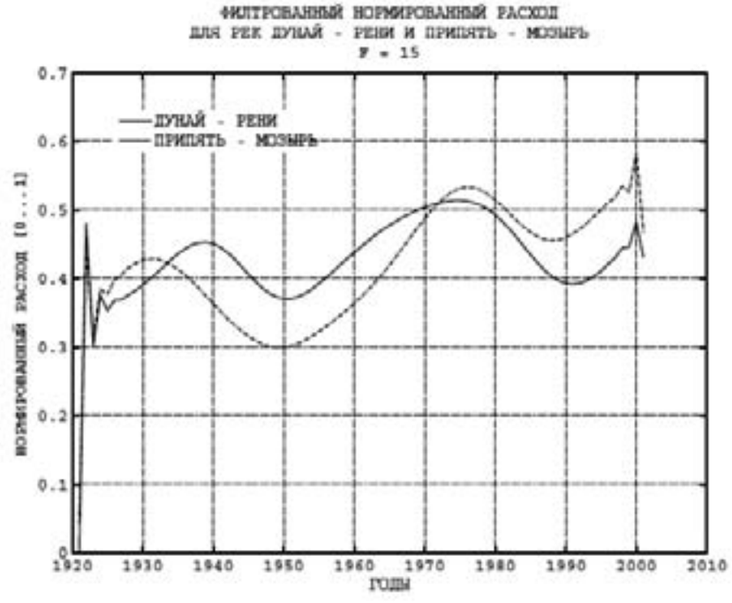
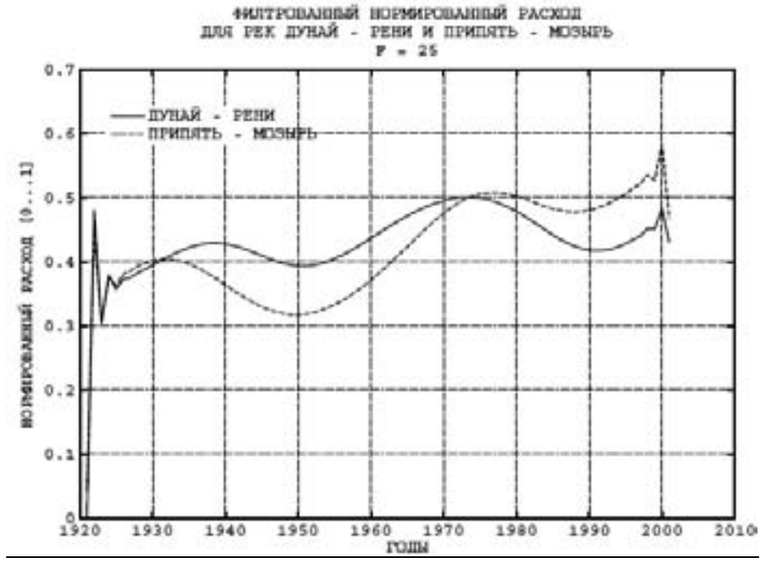
У даному випадку “час усереднення” зростає із зростанням величини F.



На рис.12 наведеній результат фільтрації, що одержаний при значенні F=5. Спостерігається схожа поведінка гідрологічних рядів на часовому інтервалі 1950….2000 роки.



При 15-кратному застосуванні процедури фільтрування (F=15) до вихідних нормованих рядів спостерігаємо схожість у поведінці рядів вже на часовому інтервалі приблизно 1940….2001 роки (див. рис. 13).



При значенні F=25 (рис.14) виявляємо значну схожість у поведінці рядів практично на всьому часовому інтервалі 1921….2001 роки.

Таким чином, застосування методів “усереднення” гідрологічних рядів за часом (у деякому часовому діапазоні) дозволяє виявляти певну узгодженість (синхронність) у поведінці таких рядів.

Результати застосування запропонованих методів також добре погоджуються між собою, що свідчить про надійність таких методів аналізу синхронності коливань стоку.

Проведені дослідження дозволять розширити рамки оцінки синхронності коливань річкового стоку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Андреев О.В., Журавлев М.М., Рассказов О.А. Вопросы мостовой гидравлики и гидрологию – М.: “Транспорт”. – 1967.-200с.
2. Кузин П.С., Бабкин В.И. географические закономерности гидрологического режима рек.-Л.: Гидрометеоиздат. 1979.-200с.
3. Пространственно-временные колебания стока рек СССР // Под ред. А.В.Рождественского. – Л. : Гидрометеоиздат. – 1988.-376с.
4. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоиздпт. – 1984.-448с
5. Смирнов Н.П., Скляренко В.Л. Методы многомерного статистического анализа в гидрологических исследованиях. – Л.: Изд-во ЛГУ. – 1986.-192с.
6. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния. – Одесса, “Экология”. – 2005.-207с.
7. Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. – К.: “Ніка-Центр”. – 2003-324с.
8. Павлов А.Н. Методы анализа сложных сигналов. – Саратов: “Научная книга”. – 2008.-120с.

УДК 625.731

Савенко В.Я., д-р техн.наук, **Славінська О.С.**, д-р техн.наук, **Усиченко О.Ю** канд.техн.наук, **Стьожка В.В.**

ОСОБЛИВОСТІ УРАХУВАННЯ НАДХОДЖЕННЯ КІЛЬКОСТІ ВОЛОГИ В ДРЕНАЖНІ КОНСТРУКЦІЇ ПРИ ВІДТАВАННІ ГРУНТУ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Анотація.У статті наведено результати розрахунків наджодження вологи у дренажну конструкцію при відтаванні грунту земляного полотна для вибраної дорожньої конструкції для кліматичних умов м. Києва, проаналізовано відповідність отриманих результатів вимогам нормативних документів.

Ключові слова: автомобільна дорога, вологість ґрунту, дренаж, питомий надлишок води.

Анотация. В статье приведены результаты расчетов наджодження влаги в дренажную конструкцию при оттаивании грунта земляного полотна для выбранной дорожной конструкции для климатических условий г. Киева, проанализированы соответствие полученных результатов требованиям нормативных документов.
Ключевые слова: автомобильная дорога, влажность почвы, дренаж, удельный избыток воды.

Anotattion. The results of calculations nadzhodzhennya moisture drainage design in thawing soil subgrade for the selected road construction for the climatic conditions of Kyiv, analyzed the results match the requirements of regulations.
Keywords: road, soil moisture, drainage, specific excess water.

Земляне полотно автомобільної дороги є основою для проїзної частини автомобільної дороги. Земляне полотно повинне бути стійким в різні періоди року і впродовж всього терміну служби. Причиною виникнення деформацій дорожніх одягів у більшості випадків є зниження міцності ґрунту земляного полотна. Основною причиною зниження міцності грунту є його перезволоження. З перевищенням реальною вологістю оптимальної знижується міцність ґрунту до 2 разів. Досить поширеним і простим способом регулювання водно-теплового режиму верхньої частини земляного полотна та дорожнього одягу є влаштування дренажної конструкції мілкого закладання.

Іноді вартість дорожніх одягів з незадовільним дренажем може у 2-3 рази перевищити вартість їх будівництва з правильно розрахованою, ефективно працюючою впродовж багатьох років дренажною конструкцією.

Ефективність осушення земляного полотна залежить від природних умов місцевості, поперечного та поздовжнього профілів автомобільної дороги, якості піску і конструкції самого дренажу.

Дренажі мілкого закладання 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 відтаювання. Їх застосовують для просушування дренажного прошарку, який забезпечує фільтрацію води в капілярному вигляді. Дренажі мілкого закладання (рис.1) необхідно передбачати у випадку, коли кількість води, яка надходить в основу проїзної частини в окремі періоди, більша, ніж може розміститися в порах нижніх шарів одягу та підстилаючому ґрунті без значного зниження їх опору автомобільним навантаженням [1].

Ці дренажі мають такі переваги:

- виключають необхідність видалення полоїв (намерзлого льоду);
- мають порівняно невелику будівельну вартість;
- влаштовуються з високим рівнем механізації робіт;
- мають тривалий термін служби;
- ефективно осушують робочу зону земляного полотна.

Проектування дренажів взагалі та, зокрема, дренажів мілкого закладання в більшості випадків передбачає використання типових проектів, які були розроблені десятиріччя тому. В найбільш поширених методиках для розрахунку дренажних систем мало уваги приділено зниженню пропускної здатності піщаного шару з часом внаслідок доущільнення та проникнення пилуватих часток; врахуванню інфільтраційної вологи від атмосферних опадів при визначенні питомого надлишку води, яка проникає до активної зони земляного полотна. Тому товщина дренуючого шару, визначена такими розрахунками може бути дещо заниженою, що в майбутньому призведе до передчасного виходу з ладу дренажної системи

Одним із суттєвих і небезпечних джерел зволоження верхньої частини земляного полотна та шарів дорожнього одягу є вода, яка звільняється при відтаванні ґрунту активної зони земляного полотна [1-4].

Відповідно до [1] об'єм води ($м^3$/доба на 1 $м^2$ проїзної частини), що звільняється при відтаванні ґрунту під проїзною частиною та узбіччями, визначається за формулою:

$$Q_1 = h_1 \times \left(W_{вес} \times \rho_{вес} - \beta \times W_T \times \rho_d\right) \times K_П \times K_Г, \quad (1)$$

де h_1 - товщина шару ґрунту, в якому розтає лід за одну добу в активній зоні земляного полотна, м (формула 2);

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

$\rho_{вес}$ – щільність скелету ґрунту при розрахунковій вологості, г/$см^3$;

ρ_d – те саме при вологості, що дорівнює βW_T, г/$см^3$;

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;

$K_П$ – коефіцієнт, що враховує неусталений режим припливу води через нерівномірне розтавання та випадання атмосферних опадів згідно з табл. 5.3 [5];

$K_Г$ – коефіцієнт гідрологічного запасу, що враховує пониження фільтруючої спроможності дренуючого шару в процесі експлуатації дороги згідно з табл. 5.3 [5].

Надходження води в дренуючий шар при відтаванні ґрунту узбіччя визначається також по наведеній вище формулі, але із введенням в неї множника $2l/b$ (l – ширина узбіччя, b – ширина проїзної частини). Надходження води при цьому також, як і для ґрунту під проїзною частиною, отримують в $м^3$ за добу з 1 $м^2$ проїзної частини.

$$h_1 = \sqrt{\frac{\lambda \times T \times \left(t_В - t_Л\right)}{\rho \times W \times \delta_1} + 0{,}25 \times \left(R_П + R_0\right)^2 \times \lambda^2} - 0{,}5 \times \left(R_П + R_0\right) \times \lambda, \quad (2)$$

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

T – тривалість відтавання ґрунту, год;

$t_В$ – температура повітря, °С;

$t_Л$ – температура льодоутворення, °С;

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

W – вологість ґрунту, у долях одиниці;

δ_1 – щільність ґрунту, кг/$м^3$;

$R_П$ – величина, яка залежить від швидкості вітру, град·$м^2$·г/ккал;

R_0 – тепловий опір дорожнього одягу, град·$м^2$·г/ккал, визначається за формулою:

$$R_0 = \frac{h_1}{\lambda_1} + \frac{h_2}{\lambda_2} + \ldots + \frac{h_n}{\lambda_n}, \quad (3)$$

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

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

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 розмерзання.

Порівняємо, як змінювалася ця величина, починаючи з 1981 року. Скористаємося статистичними даними Українського гідрометеорологічного центру за 1981, 1991, 2001 та 2011 роки для м. Києва.

Для розрахунку приймемо такі вихідні дані:

- ґрунт земляного полотна – важкий суглинок;
- середня за розрахунковий період вологість ґрунту (W) – 27 %;
- щільність ґрунту в розрахунковий період (δ_1) – 1400 кг/$м^3$;
- конструкція дорожнього одягу: а/б дрібнозернистий, h_1 = 4 см; а/б крупнозернистий, h_2 = 8 см; шар гранітного щебеню, h_3 = 20 см; підстильний шар основи з піску, h_4 = 25 см.

Зрозуміло, що ґрунт буде віддавати вологу до тих пір, поки не розмерзнеться повністю. Значення нормативної глибини промерзання можна отримати з діючої нормативної бази [5]. Для Київської області воно складає 90-95 см.

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.

Визначаємо 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.

Зобразимо графічно процес розтавання ґрунту в часі (рис. 1-4).

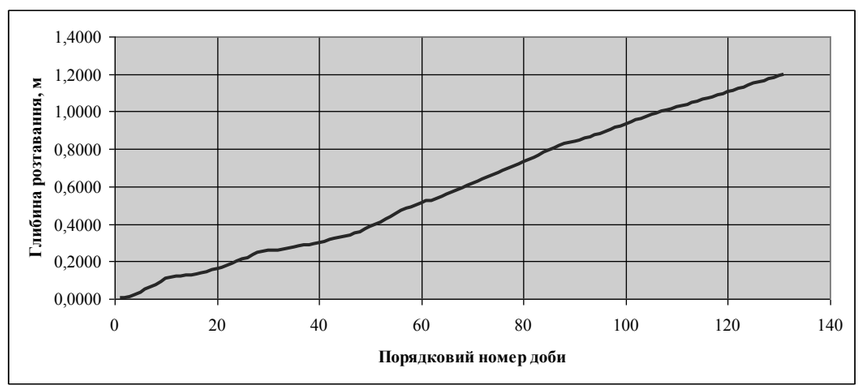


Рисунок 1 – Графік розтавання шару ґрунту протягом розрахункового періоду в 1981 році

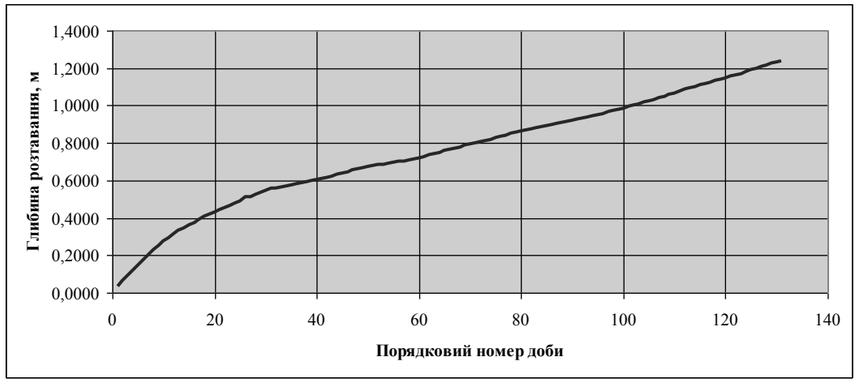


Рисунок 2 – Графік розтавання шару ґрунту протягом розрахункового періоду в 1991 році

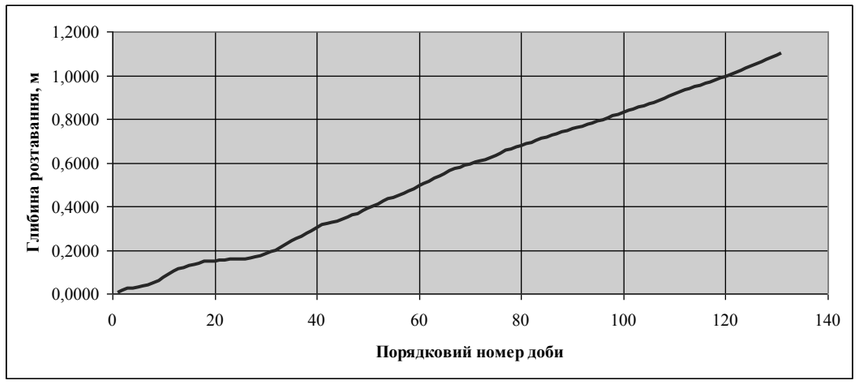


Рисунок 3 – Графік розтавання шару ґрунту протягом розрахункового періоду в 2001 році

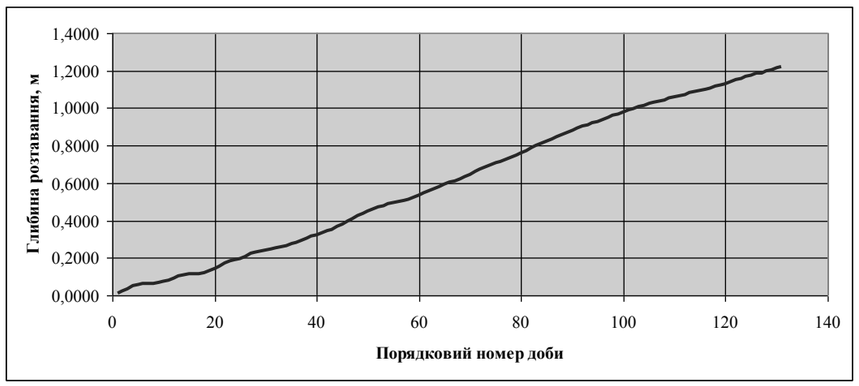


Рисунок 4 – Графік розтавання шару ґрунту протягом розрахункового періоду в 2011 році

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

Як бачимо на прикладі 1991 року, бувають періоди стрімкого вивільнення вологи за незначний проміжок часу, що небезпечно з точки зору забезпечення достатньої міцності дорожньої конструкції.

Розрахуємо об’єм води ($м^3$/доба на 1 $м^2$ проїзної частини), що звільняється при відтаванні ґрунту під проїзною частиною за залежністю [6]:

$$Q_1 = h_1 \times \left(W_{вес} \times \rho_{вес} - \beta \times W_T \times \rho_d\right) \times K_П \times K_Г, \quad (3)$$

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

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

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;

$\rho_{вес}$ – щільність скелету ґрунту при розрахунковій вологості, г/$см^3$;

ρ_d – те саме при вологості, що дорівнює βW_T, г/$см^3$;

$K_П$ – коефіцієнт, що враховує неусталений режим припливу води через нерівномірне розтавання та випадання атмосферних опадів згідно з [5];

$K_Г$ – коефіцієнт гідрологічного запасу, що враховує пониження фільтруючої спроможності дренуючого шару в процесі експлуатації дороги згідно з [5].

Оскільки розрахунки проводимо з використанням фактичних даних погодних показників, коефіцієнти $K_П$ та $K_Г$ з формули 3 не враховуємо.

Для зручності порівняння результатів побудуємо діаграми (рис. 5-8)

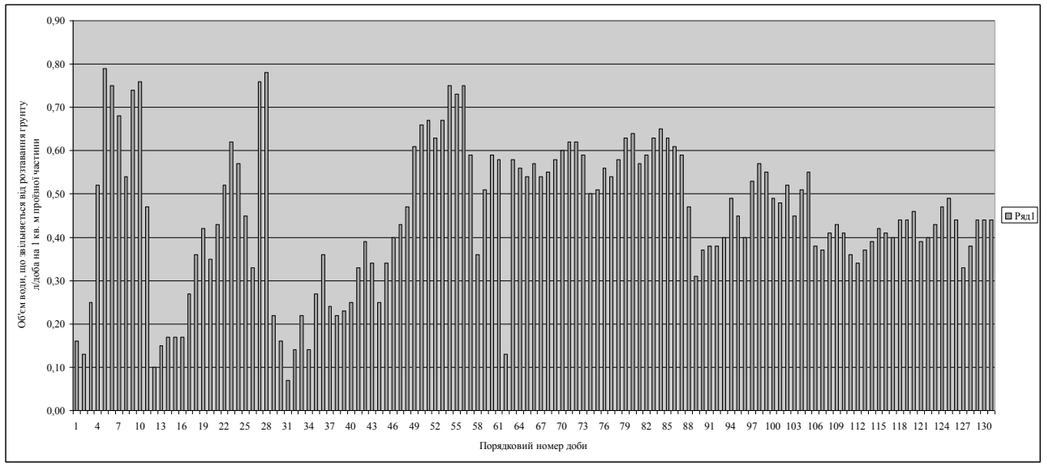


Рисунок 5 – Об’єм води, що звільняється при відтаванні ґрунту під проїзною частиною у 1981 році

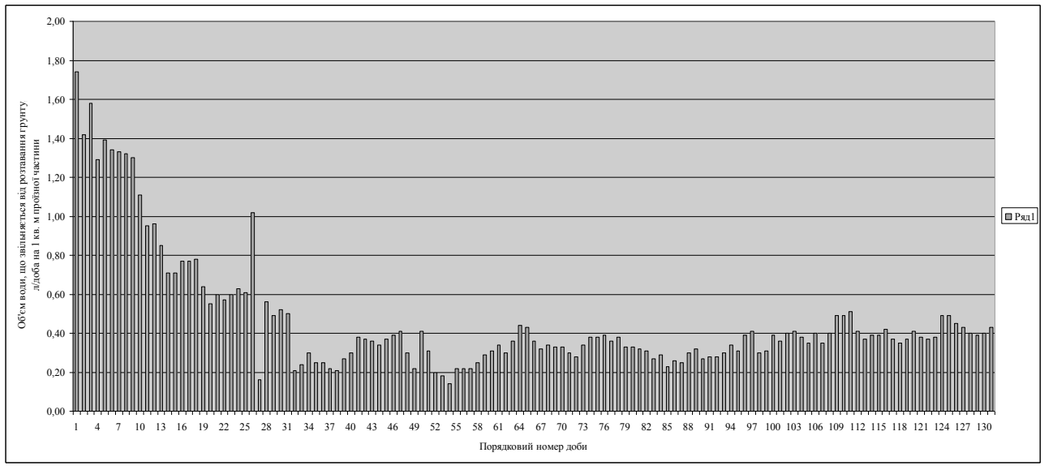


Рисунок 6 – Об’єм води, що звільняється при відтаванні ґрунту під проїзною частиною у 1991 році

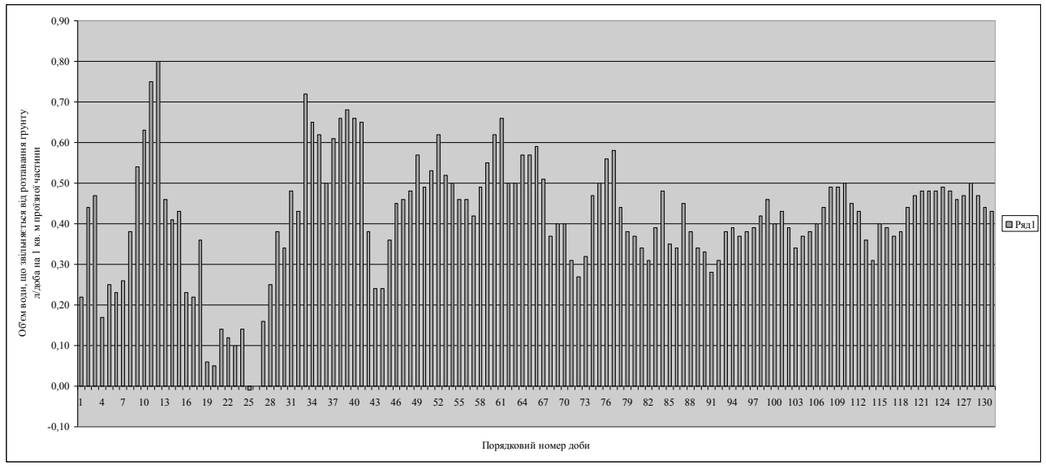


Рисунок 7 – Об’єм води, що звільняється при відтаванні ґрунту під проїзною частиною у 2001 році

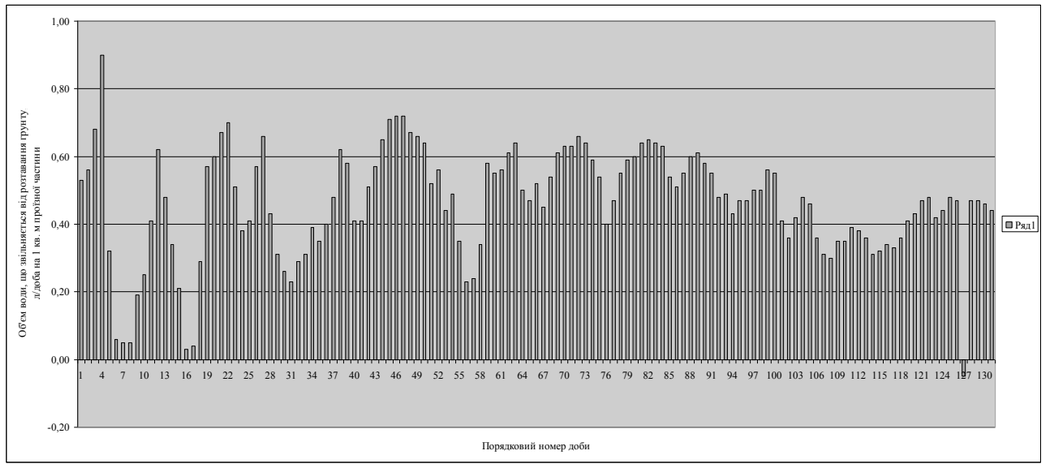


Рисунок 8 – Об’єм води, що звільняється при відтаванні ґрунту під проїзною частиною у 2011 році

ВИСНОВОК

Відповідно до нормативного документу, в якому регламентується величина загального припливу води в основу традиційної конструкції, що припадає на 1 м^2 проїзної частини за добу [5], цей показник для Північної дорожньо-кліматичної зони становить від 2,0 до 5,0 л/м^2 за добу.

Як показав розрахунок, фактична величина надходження води, що звільняється при відтаванні 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 л/м^2 за добу.

З проведених розрахунків можна зробити висновок, що волога, яка звільняється при відтаванні ґрунту під проїзною частиною не є визначальною при формуванні несприятливого водно-теплового режиму земляного полотна, або ж розрахункові значення, які сьогодні використовуються у проектуванні є значно завищеними.

Для перевірки сказаного вище слід виконати розрахунок кількості вологи, 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.

Якщо величина надходження інфільтраційної вологи перевищить кількість води, що звільняється при відтаванні ґрунту під проїзною частиною, постане питання перегляду традиційно приянятих розрахункових періодів у залежності від сучасного режиму дощів.

ЛІТЕРАТУРА

1. М 218-02070915-684:2011 Методика визначення пропускної здатності дренажної конструкції мілкого залягання з урахуванням річного циклу роботи.
2. Тулаев А.Я. Конструкция и расчет дренажных устройств. – М.: Транспорт, 1980. – 191 с.
3. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / Н.А.Пузаков, И.А. Золотарь, В.М. Сиденко, А.Я. Тулаев и др.; Под. ред. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко / М.: Транспорт, 1971. – 413 с.
4. Славінська О.С., Стьожка В.В. Дослідження процесів вологонакопичення в дорожніх конструкціях з дренажними прошарками // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – Рівне, 2009. – Ч. 1. – Вип. 3 (47). – с. 488 – 495.
5. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу.
6. Методические рекомендации по осушению земляного полотна и оснований дорожных одежд в районах избыточного увлажнения и сезонного промерзания грунтов / Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт (Союздорнии). М

УДК 625.7/.8

Савенко В. Я., д-р техн. наук, **Славінська О. С.**, д-р техн. наук, **Козарчук І. А.**

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗГАЛУЖЕНОГО ПОТОКУ В ЗОНІ ВПЛИВУ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДУ З ГРУПОВИМИ ОТВОРАМИ

Анотація. В статті проаналізовані проблеми математичного моделювання гідродинаміки відкритих потоків. Авторами запропонована двовимірна модель гідродинаміки розгалужених річкових потоків. Досліджується метод розрахунку вторинних течії поперечної циркуляції в зоні розгалуження на основі двовимірної моделі руху рідини. Пропонується використовувати k–ε модель для замикання рівнянь переносу двовимірної моделі. Робиться висновок про доцільність використання алгебраїчних співвідношень для турбулентних напружень.

Ключові слова: річковий потік, мостовий перехід, біфуркація, поперечна циркуляція, загальний розмив, математична модель турбулентності.

Аннотация. В статье проанализированы проблемы математического моделирования гидродинамики открытых потоков. В статье предложена двумерная модель гидродинамики разветвленных речных потоков. Исследуется метод расчета вторичных течения поперечной циркуляции в зоне разветвления на основе двумерной модели движения жидкости. Предлагается использовать k–ε модель для замыкания уравнений переноса двумерной модели. Делается вывод о целесообразности использования алгебраических соотношений для турбулентных напряжений.

Ключевые слова: речной поток, мостовой переход, бифуркация, поперечная циркуляция, общий размыв, математическая модель турбулентности.

Annotation. The mathematical modeling problems of open streams hydrodynamics are analyzed in the article. A two-dimensional model of branched river flows hydrodynamics is proposed by the authors in the article. The calculation method of the secondary flow transverse circulation in the branching area is researched based on the two-dimensional model of the fluid motion. It is suggested to use the k – ε model to close transfer equations of the two-dimensional model. The conclusion about the reasonability of using algebraic relations for the turbulent stresses is made.

Keywords: river stream, bridge, bifurcation, transverse circulation, general scour, mathematical model of turbulence.

Постановка проблеми. Річковий потік може розгалужуватися під дією тих чи інших топографічних і геологічних чинників. Наприклад, ділянки біфуркації утворюються в зоні впливу мостових переходів з груповими отворами, при обтіканні течією мостових опор і струменеспрямовуючих дамб тощо. Одним з важливих питань при гідравлічних розрахунках інженерних споруд є питання розділення і з’єднання потоків в зонах впливу мостових переходів з груповими отворами.

Використовуючи математичну модель, можливо визначити гідродинамічне поле швидкостей і тисків водотоку, що, в свою чергу, дозволить правильно розрахувати розподіл витрат і розмив при біфуркації потоку. Однак, незважаючи на значний досвід накопичений в галузі моделювання безнапірних потоків, дослідження ускладнюються тим, що досі не сформульована загальна замкнута система рівнянь турбулентного руху.

Основою для розробки математичної моделі руху річкового потоку в зоні впливу мостового переходу повинні бути рівняння динаміки реальної рідини в «напруженнях», тобто рівняння Нав’є-Стокса. Однак існуючі

аналітичні і чисельні методи вирішення цих рівнянь розроблені лише для найпростіших задач, які мають обмежене практичне застосування, – для ламінарного руху рідини [13].

Проте течія в зоні впливу мостового переходу – це випадок турбулентного режиму руху рідини, який характеризується тим, що при заданих граничних умовах швидкості і тиски в потоці є не визначеними, а випадковими функціями координат і часу. Визначеними функціями є тільки математичні очікування. Випадкові функції, які виражають миттєві швидкості і тиски, а також їх математичні очікування (які зазвичай називаються осередненими швидкостями і тисками) неможливо знайти з рівнянь Нав'є-Стокса за сучасних методів вирішення цих рівнянь [4, 6].

Система рівнянь турбулентного руху, які описують гідродинамічні поля швидкостей і тисків у водотоках, є незамкнутою. Це значить, що її інтегрування викликає значні труднощі, пов'язані з нелінійністю рівнянь руху, а також складністю апроксимації в кінцевих різницях на досить дрібній сітці з великою кількістю вузлів. Тому для вирішення прикладних задач гідродинаміки використовують наближені математичні моделі течій, в яких не враховують тільки головні фактори, а другорядними нехтують [13].

Таким чином, **мета роботи** полягає в розробці математичної моделі розгалуження річкового потоку в зоні впливу мостового переходу з груповими отворами.

Аналіз досліджень і публікацій. В результаті поділу і злиття потоків різко змінюється гідродинамічна структура і транспортуюча здатність потоків, яка обумовлена: помітним викривленням планових струменів; утворенням значних (по відношенню до планових розмірів взаємодіючих потоків) рециркуляційних зон; появою значних швидкостей вторинних течій поперечної циркуляції; відповідно трансформацією епюр розподілу швидкостей як по глибині, так і по ширині потоку; наявністю відривних течій аперіодичного характеру, які призводять до істотного підвищенням пульсаційних складових швидкостей та виникнення розмивів і намивів в руслі.

Дослідження проблем гідродинаміки ґрунтується на використанні рівнянь руху, енергії, нерозривності і переносу рідкого середовища. Ці рівняння виражають фундаментальні закони механіки і встановлюють співвідношення між кінематичними і динамічними характеристиками течії рідини та її фізичними властивостями.

Однак вирішення гідродинамічних задач пов'язане не тільки з подоланням математичних труднощів, а, головним чином, з проблемою турбулентності. Рух рідини в реальних водотоках характеризується безперервною пульсацією швидкостей і тисків.

Тому найбільш перспективним шляхом вирішення даної проблеми є використання диференційних рівнянь осередненого руху, які мають практичне застосування. Ці рівняння отримані Рейнольдсом з рівнянь Нав'є-Стокса на основі прийнятого ним припущення, що дійсний (актуальний) рух, незважаючи його нерегулярний і випадковий характер, все ж описується цими рівняннями.

Система рівнянь Рейнольдса є незамкнутою, внаслідок чого її інтегрування викликає значні труднощі. Тому для вирішення прикладних задач використовують наближені математичні моделі, в яких враховують тільки головні фактори.

Рівняння двовимірної моделі також повинні виражати фундаментальні закони механіки з урахуванням наближень, обумовлених тим, що реальні тривимірні течії розглядаються в двовимірній плановій ідеалізації. Припущення при використанні планової ідеалізації тривимірних течії в руслах можна аналізувати, якщо рівняння двовимірної моделі отримати внаслідок осереднення по глибині загальних рівнянь тривимірного турбулентного руху рідини [17].

Основна частина дослідження. Задачі розрахунку гідродинамічних полів швидкостей і тисків в природних і штучно стиснутих руслах відносяться до задач теорії мілкої води, тобто коли глибина потоку значно менша за горизонтальні планові розміри. Це дозволяє розраховувати розподіл середніх за глибиною швидкостей в плані.

У зв'язку з цим авторами [12, 13, 14, 17] пропонується виведення рівнянь двовимірної моделі гідравліки з рівнянь осередненого тривимірного турбулентного руху в декартових координатах. Рівняння двовимірної моделі при цьому отримуються шляхом інтегрування тривимірних рівнянь Рейнольдса по вертикалі від відмітки дна до вільної поверхні, тобто по глибині потоку.

Під час інтегрування приймаються наступні припущення:

- рух приймається усталеним;
- нехтують складовими, які враховують вклад вторинних течій поперечної циркуляції;
- проекція об'ємної сили на вертикальну вісь z дорівнює $X_z = -g$, а на горизонтальні осі x та y $X_x = X_y = 0$;
- при оцінці порядку складових нехтують складовими вищого порядку малості порівняно з основними складовими;
- значення тиску на вільній поверхні потоку P_H приймається постійним, тобто не розглядаються бароклінні течії;
- при інтегруванні нелінійних конвективних складових нерівномірність розподілу швидкостей по вертикалі враховується за допомогою коефіцієнта α.

Таким чином після інтегрування загальні рівняння руху двовимірної моделі матимуть вигляд:

$$\frac{\partial U_x}{\partial t} + \alpha_h\left(\frac{\partial U_x^2}{\partial x} + \frac{\partial U_x U_y}{\partial y}\right) = -g\frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x}\left(\langle\bar{V}_x'^2\rangle - \langle\bar{V}_z'^2\rangle\right) - \frac{\partial}{\partial y}\langle\bar{V}_x'\bar{V}_y'\rangle + \frac{1}{\rho h}\left(\tau_{x_H} - \tau_{x_{z_0}}\right); \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_y}{\partial t} + \alpha_h\left(\frac{\partial U_x U_y}{\partial x} + \frac{\partial U_y^2}{\partial y}\right) = -g\frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial y}\left(\langle\bar{V}_y'^2\rangle - \langle\bar{V}_z'^2\rangle\right) - \frac{\partial}{\partial x}\langle\bar{V}_x'\bar{V}_y'\rangle + \frac{1}{\rho h}\left(\tau_{y_H} - \tau_{y_{z_0}}\right); \quad (2)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial U_x h}{\partial x} + \frac{\partial U_y h}{\partial y} = 0. \quad (3)$$

При русі річкового потоку виникають вторинні течії поперечної циркуляції двох видів [4, 9, 13, 14, 16]: вторинні течії першого виду, обумовлені відцентровими силами на повороті русла, і вторинні течії другого виду, що виникають як у скривленому, так і в прямолінійному потоці, обумовлені нерівномірністю розподілу турбулентних напружень по живому перерізу русла, а саме нестійкістю основного осередненого руху потоку. Перший вид циркуляцій виникає не тільки на ділянках природних заокруглень потоку, а й у штучно стиснутих руслах, біля голови струмененапрямних дамб, а другий – при різнорідній шорсткості і при різких змінах форми русла в поперечному перерізі. Роль вторинних течій у формуванні русла, перенесенні наносів в природних і штучно стиснутих руслах досить суттєва, що підтверджується теоретичними і експериментальними дослідженнями [1, 2, 3, 5, 7, 19, 20]. Ці течії також здійснюють поперечне перенесення імпульсу в плані і при інтенсивній поперечній циркуляції, яка відбувається в зоні впливу мостових переходів та інших гідротехнічних об'єктів, цей ефект необхідно враховувати при вирішенні рівнянь двовимірної моделі [13].

Внаслідок викривлення потоку, що відділяється, в ньому розвивається поперечна циркуляція, що відхиляє поверхневі струмені від входу у відвідне русло і направляє донні струмені у відвід.

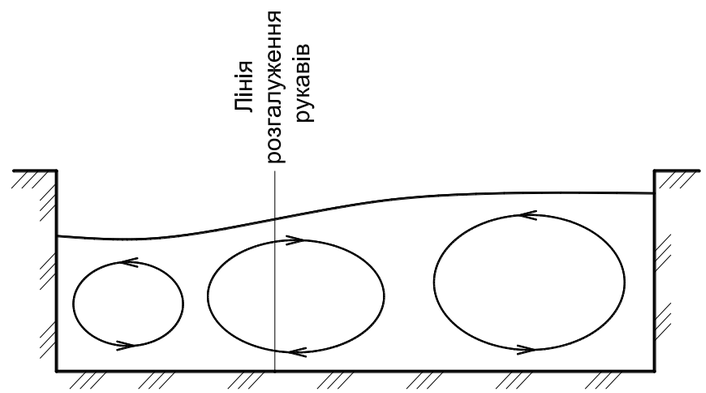


Рисунок 1 – Схема поперечної циркуляції при розгалуженні відкритого потоку

На рис. 1 зображений тип поперечної циркуляції, властивий річкам, які мають тенденцію до розпадання на рукави. При цьому типі потік розпадається на дві чи навіть три частини з утворенням стрижневих ліній у місцях низхідного руху струменів. Тут відбувається розмив наносів і, як наслідок, поглиблення дна. І, навпаки, в місцях з'єднання обох частин потоку, де мають місце висхідні течії води, відбувається часткове відкладення донних наносів [18].

При розрахунку поперечної циркуляції в природних і штучно стиснутих руслах необхідно брати до уваги, що кривизна потоку в плані непостійна і змінює свій знак. Тобто буде відбуватися накладення поперечної циркуляції, яка «надходить» з вище розташованої ділянки, на поперечну циркуляцію, яка виникає на ділянці, що розглядається. В роботі [17] запропоновано математичний опис механізму поперечної циркуляції, який враховує «передісторію» осередненого руху в руслі, в тому числі і поперечну циркуляцію вище за течією.

Для визначення вкладу поперечної циркуляції [12, 13] при інтегруванні по глибині нелінійних складових рівнянь Рейнольдса виду $\frac{\partial}{\partial i}\overline{V_i V_j}$ в локальній поперечній швидкості виділяють складові вторинних течії поперечної циркуляції u_y та u_z, тобто $\overline{V_y}$ і $\overline{V_z}$ представлені у вигляді:

$$\bar{V}_y = U_y + u_y; \quad \bar{V}_z = u_z \tag{4}$$

При інтегруванні по глибині з виконанням умов:

$$\langle u_y \rangle \equiv 0; \quad u_z\big|_{z=H} = u_z\big|_{z=z_0} = 0 \tag{5}$$

складові виду $\frac{\partial}{\partial z}\overline{V_i V_z}$ ($i = x, y$) перетворюються на нуль.

Отже, рівняння двовимірної моделі з урахуванням впливу поперечної циркуляції:

$$\frac{\partial U_x}{\partial t} + \alpha_h\left(\frac{\partial U_x^2}{\partial x} + \frac{\partial U_x U_y}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\langle \bar{V}_x u_y \rangle = \\ = -g\frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x}\left(\langle \bar{V}_x'^2 \rangle - \langle \bar{V}_z'^2 \rangle\right) - \frac{\partial}{\partial y}\langle \bar{V}_x' \bar{V}_y' \rangle + \frac{1}{\rho h}\left(\tau_{x_H} - \tau_{x_{z_0}}\right); \tag{6}$$

$$\frac{\partial U_y}{\partial t} + \alpha_h\left(\frac{\partial U_x U_y}{\partial x} + \frac{\partial U_y^2}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\langle \bar{V}_x u_y \rangle + \frac{\partial}{\partial y}\langle u_y^2 \rangle = \\ = -g\frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial y}\left(\langle \bar{V}_y'^2 \rangle - \langle \bar{V}_z'^2 \rangle\right) - \frac{\partial}{\partial x}\langle \bar{V}_x' \bar{V}_y' \rangle + \frac{1}{\rho h}\left(\tau_{y_H} - \tau_{y_{z_0}}\right); \tag{7}$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial U_x h}{\partial x} + \frac{\partial U_y h}{\partial y} = 0. \tag{8}$$

де $\frac{\partial}{\partial y}\langle \bar{V}_x u_y \rangle, \frac{\partial}{\partial x}\langle \bar{V}_x u_y \rangle, \frac{\partial}{\partial y}\langle u_y^2 \rangle$ – складові, які враховують вплив поперечної циркуляції.

$\langle \bar{V}_x u_y \rangle$ характеризує конвективне перенесення імпульсу вторинними течіями, може бути представлений у вигляді:

$$\langle \bar{V}_x u_y \rangle = \frac{U_x}{h}\int_{z_0}^{H} u_y dz \quad \text{і} \quad \langle u_y^2 \rangle = \int_{z_0}^{H} u_y^2 dz \tag{9}$$

При цьому також повинна виконуватися умова (5).

Система рівнянь двовимірної моделі (1)-(3) незамкнута, тобто в рівняннях руху присутні дотичні і нормальні турбулентні напруження. Наявність в рівняннях цих напружень призводить до необхідності апроксимації членів турбулентного перенесення за допомогою певної моделі турбулентності. Виділяється два основних методи описання моделей турбулентності: інтегральні і диференційні. Для відповідності моделі турбулентності рівнянням двовимірної моделі для замикання цієї системи необхідно використовувати моделі, які займають проміжне положення між вищеназваними двома моделями [13].

Згідно з даними численних досліджень [11, 13, 21, 22] для обчислення осереднених по глибині величин доцільно використовувати модифіковану *k–ε* модель турбулентності. Використовуючи підхід, запропонований А. Растоджі та В. Роді [22], зміну осередненої за глибиною кінетичної енергії турбулентності і швидкості її дисипації можна описати наступними рівняннями перенесення [15]:

$$\frac{\partial \tilde{k}}{\partial t} + \bar{U}_x\frac{\partial \tilde{k}}{\partial x} + \bar{U}_y\frac{\partial \tilde{k}}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\bar{v}_t}{\sigma_k}\frac{\partial \tilde{k}}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\bar{v}_t}{\sigma_k}\frac{\partial \tilde{k}}{\partial y}\right) + P_{2d} - \tilde{\varepsilon}, \tag{10}$$

$$\frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial t} + \bar{U}_x\frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial x} + \bar{U}_y\frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\bar{v}_t}{\sigma_\varepsilon}\frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\bar{v}_t}{\sigma_\varepsilon}\frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial y}\right) + c_{\varepsilon_1}\frac{\tilde{\varepsilon}}{\tilde{k}}P_{2d} - c_{\varepsilon_2}\frac{\tilde{\varepsilon}^2}{\tilde{k}}. \tag{11}$$

Запропонована *k–ε* модель ґрунтується на понятті коефіцієнта турбулентної в'язкості v_t. Складність аналізу турбулентності призвела до дослідження з простішою схемою руху, а саме до прийняття коефіцієнта турбулентної в'язкості скалярною величиною, тобто ізотропною. Введення поняття однорідної й ізотропної турбулентності, як окремого випадку турбулентних течій, спростило математичний аналіз рівнянь турбулентного руху. Але модель однорідної й ізотропної турбулентності не може описати реальні турбулентні течії, зокрема внутрішні течії. Згідно з рядом незалежних експериментальних досліджень турбулентного потоку було встановлено, що турбулентна в'язкість є анізотропною характеристикою [10], а саме: уздовж вторинної течії вона менша, ніж в напрямку основної течії, приблизно на 30-40 %.

Анізотропна природа турбулентної в'язкості більш повно розкрита в моделях рейнольдсових напружень, де відсутнє обмеження, що накладається прийняттям гіпотези Буссінеска про зв'язок турбулентних напружень з середньою швидкістю деформації. Але моделі рейнольдсових напружень в модельній формі містять найбільшу кількість рівнянь і констант, що незручно використовувати як засіб вирішення інженерних задач. Проте ці рівняння є основою, з якої були отримані алгебраїчні вирази для перенесення компонентів турбулентних напружень.

Алгебраїчні вирази широко апробовані при використанні модельних апроксимацій, які дозволяють виключити похідну за часом і спростити дифузійний та дисипативний члени і член кореляції пульсацій тиску зі швидкостями деформацій. Такий підхід спрощення до алгебраїчної форми дає можливість не вирішувати диференційні рівняння для рейнольдсових напружень, а використовувати їх в якості коригуючих співвідношень, що дозволяють зняти деякі обмеження, властиві простішим моделям. При використанні алгебраїчних співвідношень зберігаються фундаментальні властивості рівнянь для рейнольдсових напружень і, відповідно, коефіцієнт турбулентної в'язкості розглядається як неізотропна величина, чому сприяє також наявність зміни гідравлічних опорів на стінках у розрахунковій області. Тобто скалярний коефіцієнт в'язкості замінюється турбулентної в'язкістю, в якій враховується анізотропія турбулентності [14].

Внаслідок того, що впливом архімедових сил в даній задачі можна знехтувати, алгебраїчні співвідношення, які описують перенесення турбулентних напружень величини $\overline{V_x' V_y'}$, $\overline{V_x' V_x'}$, $\overline{V_y' V_y'}$, для випадку двовимірної ідеалізації можна привести до вигляду:

$$\langle \overline{V_x' V_y'} \rangle = \tilde{k}\left[\frac{(1-\gamma)\left(\frac{P_{xy}}{\tilde{\varepsilon}}\right)}{c_1 + \frac{P_{2d}}{\tilde{\varepsilon}} - 1}\right]$$

$$\langle \overline{V_x' V_x'} \rangle = \tilde{k}\left[\frac{2}{3} + \frac{(1-\gamma)\left(\frac{P_{xx}}{\tilde{\varepsilon}} - \frac{2}{3}\frac{P_{2d}}{\tilde{\varepsilon}}\right)}{c_1 + \frac{P_{2d}}{\tilde{\varepsilon}} - 1}\right]$$

$$\langle \overline{V_y' V_y'} \rangle = \tilde{k}\left[\frac{2}{3} + \frac{(1-\gamma)\left(\frac{P_{yy}}{\tilde{\varepsilon}} - \frac{2}{3}\frac{P_{2d}}{\tilde{\varepsilon}}\right)}{c_1 + \frac{P_{2d}}{\tilde{\varepsilon}} - 1}\right]. \tag{12}$$

де $\tilde{k}$ – турбулентна кінетична енергія;

$\tilde{\varepsilon}$ – дисипація кінетичної енергії;

γ – параметр релаксації;

$P_{\tilde{i}}$ – члени генерації турбулентності;

$c_{\tilde{i}}$ – емпіричні константи.

standartpark®

www.standartpark.ua

ВИСНОВКИ

Для широкого кола практичних задач доцільним є застосування двовимірної моделі руху розгалуженого річкового потоку, що враховує головні фактори, які впливають на формування поля швидкостей і тисків потоку. При розрахунку природних і штучно стиснутих русел необхідно також враховувати вплив вторинних течій поперечної циркуляції, оскільки вони відіграють важливу роль у формуванні русла і транспортуванні наносів.

Для замикання двовимірних рівнянь руху турбулентного потоку доцільно використовувати k–ε модель, яка є досить популярною завдяки своїй універсальності і відносній простоті. За допомогою цієї моделі було розраховано велику кількість різноманітних течій, в тому числі течії з рециркуляційними зонами. Алгебраїчні співвідношення для рейнольдсових напружень дозволяють спростити модель, не вирішуючи диференційні рівняння для цих напружень, і в той же час вони дають змогу врахувати анізотропний стан турбулентного потоку при розгалуженні в зонах впливу мостових переходів з груповими отворами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Андреев О. В. Регулирование рек затапливаемыми сооружениями: Сообщение №11. – М.: Трансжелдориздат, 1950. – 20 с.
2. Болдаков Е. В. Переходы через водотоки. – М.: Транспорт, 1965. – 422 с.
3. Караушев А. В. Речная гидравлика. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – 416 с.
4. Картвелишвили Н. А. Потоки в недеформируемых руслах. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – 280 с.
5. Курганович А. А., Товбич О. В. Поперечная циркуляция и деформация русла у струенаправляющих дамб мостовых переходов // Гидротехн.стр-во., 1990. - №5. – С. 45-46.
6. Ламли Дж. Модели второго порядка для турбулентных течений // Методы расчета турбулентных течений. – М.: Мир, 1984. – С. 7-34.
7. Латышенков А.М. Струенаправляющие дамбы. – М.: ВНИИВОДГЕО, 1956. – 196 с.
8. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1987. – 840 с.
9. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. – М.: ИЛ, 1951. – 576 с.
10. Риминг И. Л., Фаннелоп Т. К. Закон стенки для трехмерных течений, учитывающий влияние скоса и шероховатости. // Трехмерные турбулентные пограничные слои. – М.: Мир, 1985. – С. 316-330.
11. Роди В. Модели турбулентности окружающей среды // Методы расчета турбулентных течений. – М.: Мир, 1984. – С. 227-322.
12. Рутковская И. А. Двумерная математическая модель и метод расчета течения жидкости в узлах разветвления открытых потоков. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – К.: 2000.
13. Савенко В. Я. Математичні моделі і методи розрахунку квазітрьохмірних безнапірних потоків. – К.: Техніка, 1995. – 188 с. Мова рос.
14. Савенко В. Я, Славинская Е. С. Моделирование процессов развития внутренних течений с учетом анизотропии открытых турбулентных потоков. – К.: НТУ, 2004. – 176 с.
15. Савенко В. Я., Славінська О. С., Козарчук І. А. Математичне моделювання течії в зонах розгалуження річкового потоку // Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов. – Х.: ХНАДУ, 2012. – С. 275-284.
16. Фидман Б. А. Гидродинамика речных течений // Динамика и термика речных потоков. – М.: Наука, 1972. – С. 5-15.
17. Шеренков И. А. Прикладные плановые задачи гидравлики спокойных потоков. – М. Энергия, 1978. – 240 с.
18. Щукин И. С. Общая геоморфология. Том 1. – М.: Издательство Московского университета, 1960. – 616 с.
19. Fisher H. B. Longitudional dispersion and turbulent mixing in open channel flow // Ann.Rev.Fluid Mech., 1973 – Vol.5. – P. 59-78.
20. Fukuoka S., Sayre W. W. Longitudional dispersion in sinuous channels // J.Hydr.Div.Proc.ASCE, 1973. – Nr, HY1. – P. 195-217.
21. Li Fu-tian, Ni Hao-ging. Application and development of turbulence model for engineering practice // Journal of hydraulic engineering, 2001. – N5. – P. 22-31.
22. Rastogi A. K., Rodi W. Predictions of heat and mass transfer in open channels // J.Hydr.Div., ASCE, 1978. – №HY3. – P. 397-420.

УДК 625.7/8

Сліпець О.В.

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОТЕКСТИЛЮ В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ ЗА ДОПОМОГОЮ РОЗПОДІЛУ ДІРІХЛЕ.

Анотація. У статті розглянуто основні методи обробки статистичних даних характеристик геотекстильного матеріалу та запропоновано метод, який оснований на використанні багатопараметричного розподілу Діріхле.

Ключові слова: геотекстиль, ефективність, нормальний розподіл, розподіл Стюдента, розподіл Діріхле, гамма- розподіл.

Аннотация. В статье рассмотрены основные методы обработки статистических данных характеристик геотекстильного материала и предложен метод, основанный на использовании многопараметрического распределения Дирихле.

Ключевые слова: геотекстиль, эффективность, нормальное распределение, распределение Стюдента, распределение Дирихле, гамма- распределение.

Abstract. The article discusses the basic methods of statistical data processing geotextile material characteristics and proposed method based of the using of multivariate Dirichlet distribution.

Keywords: geotextile, efficiency, normal distribution, the distribution Styudenta, Dirichlet distribution, gamma distribution.

Постановка проблеми. В дорожньому господарстві за останні роки свого існування геотекстиль набув неабиякого попиту. Таке впровадження новітнього матеріалу передбачає вивчення інноваційних механізмів планування та організації, удосконалення та створення технологій застосування, за якими використання геотекстилю мало б найбільшу ефективність та значущість в галузі .

Сутність проблеми. Проблема визначення ефективності використання геотекстилю пов'язана з визначенням відповідного критерію ефективності і формуванням системи показників. Визначення загальної ефективності вимагає врахування багатьох чинників та параметрів, а головне – їх оцінки, що дозволить обрати найкращий варіант матеріалу в окремих умовах експлуатації.

Мета статті. Розглянути існуючі методи оцінки розрахункових характеристик геотекстилю та запропонувати новий метод, який би визначив ефективність використання матеріалу з точки зору його багатопараметричності.

Виклад основного матеріалу. Ринок будівельних матеріалів безперервно поповнюється різного роду новинками. Встежити за розвитком матеріалів, застосовуваних у тій чи іншій сфері, дуже складно, тим більше в наш час, коли інновації впроваджуються досить-таки швидко. Геотекстиль - порівняно новий матеріал, і на сучасному ринку геосинтетичні дорожньо-будівельні матеріали представлені досить широким вибором типів і марок, здатних значно збільшити експлуатаційні можливості навіть найслабших і неякісних грунтів в складних експлуатаційних умовах.

Для проектування дорожніх конструкцій з використанням геосинтетичних матеріалів (ГМ) виникає проблема вибору ГМ. Для цього, першу чергу, потрібні достовірні дані про значення характеристик фізико - механічних властивостей з різною забезпеченістю для конкретних випадків експлуатації; потрібні дані щодо якості матеріалу, яка має відповідати договірним вимогам, та немало важливі дані щодо вартості матеріалу. Враховуючи, що укладання геотекстилю пов'язана з додатковими капітальними вкладеннями, необхідно провести також оцінку ефективності цих вкладень.

Для здійснення вибору матеріалу для подальшого розвитку впровадження не завжди є достатньо даних, які б були обгрунтованими і формалізованими. Тому для контролю і управління параметрами інноваційного матеріалу необхідна модифікація існуючих методів і розробка нових. В наш час основними методами оцінки впровадження матеріалу є методи кваліметрії, які дозволяють дослідити його якість. Дослідження характеристик геотекстилю, таких як: фізичних, механічних, гідравлічних, технологічних, експлуатаційних - спрямоване на вирішення задачі вибору конкретної марки ГМ залежно від цілей, сфери застосування і призначення обгрунтованих конструктивно-технологічних рішень[1].

Вибір технічного рішення із застосуванням ГМ виконують, як правило, на основі техніко-економічного зіставлення варіантів. При цьому слід враховувати виникаючий в зіставленні з традиційними рішеннями технічний ефект, пов'язаний з підвищенням надійності дорожніх конструкцій, якості будівництва, що не завжди може бути оцінений кількісно.

Для встановлення розрахункових характеристик на сьогоднішній день використовують два методи з використанням різних законів розподілу випадкових величин: 1.нормального; 2. закону Стюдента[2].

Теоретичні щільності розподілу механічних характеристик апроксимуються нормальним зконом [3]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

З параметрами математичного сподівання $\bar{x}$ та дисперсії σ.

Тоді як закон Стюдента описується рівнянням:

$$\gamma(x) = \frac{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\sqrt{\pi}\sqrt{n-1}\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)\left(1+\frac{x^2}{n-1}\right)^{0.5n}}, \quad (2)$$

де n – кількість вимірювань x_i , Г – гамма-функція.

В технічній документації [4], яка супроводжує геотекстиль від виробника, та в проектній документації, яка є основою для вибору геотекстиля, загальні (фізичні), класифікаційні та експлуатаційні характеристики матеріалів приведені як MinARV та MaxARV величини(Рис 1):

- MinARV (*Minimum Average Roll Value*) –мінімальне з середніх значень у серії лабораторних випробувань геотекстиля

$$MinARV = \bar{x} - 2\sigma \quad (3)$$

- MaxARV (*Maximum Average Roll Value*) – максимальне з середніх значень у серії лабораторних випробувань геотекстиля:

$$MaxARV = \bar{x} + 2\sigma \quad (4)$$

де $\bar{x}$ - середнє значення; σ - дисперсія.

Відповідно до формули (1) середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma = \frac{\bar{x} - MinARV}{2} \quad (5)$$

де *MinARV* – мінімальне значення характеристики матеріалу (наприклад, міцність на розрив).

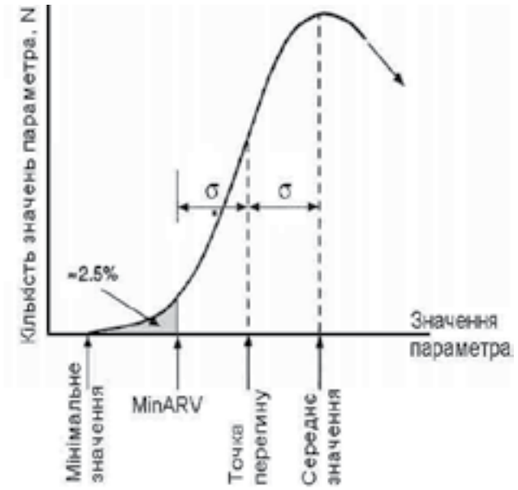


Рис.1 Геометрична інтерпретація номінальної характеристики геотекстилів MinARV

За статистикою значення MinARV вказує на те, що з серії випробувань кількість результатів, які менші за номінальне значення MinARV, становитимуть 2,5 %. Значення MaxARV вказує на межу, яку перевищить не більше ніж 2,5 % випробуваних зразків.

Досліджуючи процеси[7], пов'язані з поступовим пониженням якості параметрів (погіршення властивостей матеріалу в часі, деградація конструкції, процеси старіння, амортизація техніки та ін.), застосовують закон гама розподілу(рис.2):

$$f(x) = \frac{\lambda^\alpha}{\alpha!} x^{\alpha-1} e^{-\lambda x} \quad (6)$$

Де λ, α – параметри. Якщо α=1, гамма – функція перетворюється в показників закон:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad (7)$$

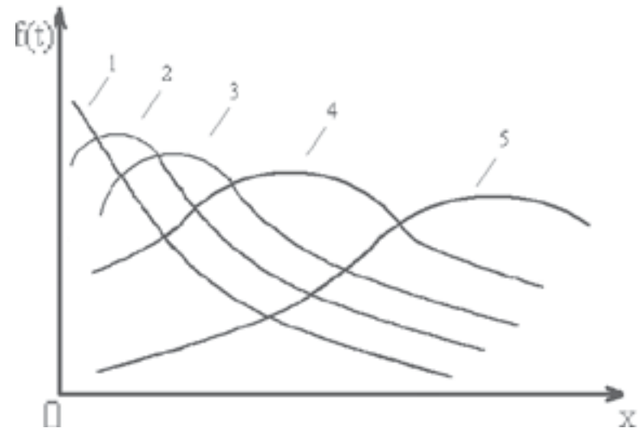


Рис. 2 Загальний вид кривих гамма – розподілу:

$1-\alpha=1;\ \lambda=1;\ 2-\alpha=3;\ \lambda=1;\ 3-\alpha=4;\ \lambda=1{,}5;\ 4-\alpha=5;\ \lambda=2;\ 5-\alpha=6$

Названі вище методи обробки даних властивостей геотектилю орієнтуються в основному тільки на один показник, будь *то* поверхнева щільність, товщина геосинтетичного полотна чи ін. і лише гамма - розподіл розглядає двопараметричний випадок.Тоді як для визначення ефективності використання обраного матеріалу, потрібно оцінити геотекстиль з точки зору різних параметрів.

Щоб охопити повний спектр значень характеристик геотекстилю та оцінити їх взаємодію, потрібно використати такий метод, який би описав наш багатовимірний випадок.

Найбільш перспективним підходом є метод з використанням закону розподілу випадкових величин на багатовимірний випадок, а саме розподіл Дірихле (Dirichlet distribution) .

Цей розподіл часто позначається Dir (α) - це сімейство безперервних багатовимірних імовірнісних розподілів параметрезованих вектором α невід'ємних дійсних чисел[5].

Розподіл Діріхле розмірності $K \geq 2$ з параметрами $\alpha_1, ..., \alpha_K > 0$ має функцію щільності імовірності щодо міри Лебега в евклідовому просторі R^k [6]:

$$f(x_1,\dots x_{k-1};\alpha_1,\dots\alpha_k) = \frac{1}{B(\alpha)}\prod_{i=1}^{k} x_i^{\alpha_i-1} \quad (8)$$

в будь – якій точці симплексу $S_k = \left\{(x_1,\dots x_k): x_i \geq 0,\ i=1,\dots,k, \sum_{i=1}^{k} x_i \leq 1\right\}$ і рівною нулю в інших точках R^k.

$B(\alpha)$ - бета –функція, представлена формулою :

$$B(\alpha) = \frac{\prod_{i=1}^{k}\Gamma(\alpha_i)}{\Gamma\left(\sum_{i=1}^{k}\alpha_i\right)} \quad (9)$$

Де Г – гамма-функція, $\alpha = (\alpha_1,\dots\alpha_k)$.

Підставивши формулу (9), отримаємо, що функція щільності імовірності матиме вигляд:

$$f(x_1,\dots x_{k-1};\alpha_1,\dots\alpha_k) = \frac{\Gamma\left(\sum_{i=1}^{k}\alpha_i\right)}{\prod_{i=1}^{k}\Gamma(\alpha_i)}\prod_{i=1}^{k} x_i^{\alpha_i-1} \quad (10)$$

Далі визначаємо характеристики розподілу ймовірності, а саме математичне сподівання $\mu(x_i)$, дисперсію $\sigma^2(x_i)$ та коваріацію $\sigma(x_i,x_j)$ за формулами :

$$\mu(x_i) = \frac{\alpha_i}{\alpha_1+\dots+\alpha_{k+1}},\quad i=1,\dots k \quad (11)$$

$$\sigma^2(x_i) = \frac{\alpha_i(\alpha_1+\dots+\alpha_{k+1}-\alpha_i)}{(\alpha_1+\dots+\alpha_{k+1})^2(\alpha_1+\dots+\alpha_{k+1}+1)},\ i=1,\dots k \quad (12)$$

$$\sigma(x_i,x_j) = -\frac{\alpha_i\alpha_j}{(\alpha_1+\cdots+\alpha_{k+1})^2(\alpha_1+\cdots+\alpha_{k+1}+1)}, \quad i \neq j = 1,\ldots k \qquad (13)$$

Застосування розподілу Діріхле дозволяє повноцінно проаналізувати багатопараметричність характеристик геотекстилю, знайти такі значення даних, за яких використання цього матеріалу мало б найбільшу ефективність та значущість для дорожнього будівництва.

ВИСНОВОК

Використання багатовимірної оцінки,а саме розподілу Діріхле, становить багате джерело інформації про досліджуваний об'єкт. По суті, за допомогою великої кількості даних, що описують геотекстиль, можна подати класифікацію, виділяючи найкращий тип чи марку, або визначити ті, які для конкретних умов використання та експлуатації мали б найбільший ефект.

Багатопараметричний розподіл використовується для оцінки ступеня реалізації концепції розвитку в досліджуваних об'єктах та як інструмент оцінки показників, що описують процес впровадження геотекстилю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Головань Д.М. Моделі методи контролю якості в проектах розробки інноваційної продукції: дис.канд. тех..наук: 05.13.22/ Національний аерокосмічний ун-т ім..М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний ін-т» - Х., 2006 -168 с.
2. Гамеляк І.П., Журба Г.В., Шикунов Є.В. Встановлення розрахункових характеристик геосинтетичних матеріалів. - Науково – виробничий журнал «Автошляховик України» №2 (220) березень – квітень 2011р.
3. СиденкоВ.М., Рокас С.Ю Управление качеством в дорожном строительстве. – М.: Транспорт, 1981. – 256с.
4. СОУ 45.2-00018112-025:2007. Метеріали геосинтетичні. Методи випробувань.
5. Жук С.Н., Евстратчик С.В. Приминение байэсовской модели для оценивания вероятностей альтернатив в условиях неопределенности с использованием нечисловой, неточной и неполной экпертной информации. - Журнал «Труды СПИИРАН» №2(21), 2012г.
6. Уилкс С. Математическая статистика. - М.: Наука, 1967 - 632 с.
7. Грушко И.М., Сиденко В.М. Основы научных исследований. 3-е изд. – Х: Вища школа. Изд-во при Харьк.ун-те,1983.- 224с.

УДК 625.72

Сорочук Н.И.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД З ПОВЕРХНІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ В ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУДАХ

Анотація. У статті розглянуті механічні, хімічні, фізико-хімічні та біохімічні методи очищення стічних вод з поверхні автомобільних доріг, які широко застосовуються в даний час в Україні та зарубіжних країнах. Проаналізовано переваги та недоліки методів очищення поверхневих стоків, взаємодія споруд для очищення стічних вод з навколишнім природним середовищем, з природним ландшафтом. Пропонуються заходи, які забезпечують екологічну безпеку та експлуатаційну надійність автомобільних доріг в умовах утворення поверхневих стічних вод.

Ключові слова: автомобільні дороги, поверхневий стік, очисні споруди, екологічний баланс, механічна очистка, фізико-хімічні методи очищення, біохімічні методи очищення.

Аннотация. В статье рассмотрены механические, химические, физико-химические и биохимические методы очистки сточных вод с поверхности автомобильных дорог, которые широко применяются в настоящее время в Украине и зарубежных странах. Проанализированы преимущества и недостатки методов очистки поверхностных стоков, взаимодействие сооружений для очистки сточных вод с окружающей природной средой, с естественным ландшафтом. Предлагаются мероприятия, которые обеспечивают экологическую безопасность и эксплуатационную надежность автомобильных дорог в условиях образования поверхностных сточных вод.

Ключевые слова: автомобильные дороги, поверхностный сток, очистные сооружения, экологический баланс, механическая очистка, физико-химические методы очистки, биохимические методы очистки.

Abstract. The paper deals withmechanical, chemical, physical and biochemical methods of sewage treatment on the surface of highways.The methods are widely applied in Ukraine and abroad. The advantages and disadvantages of the methods of superficial drainpurification, interactionbetween sewage treatment facilities and environment, and natural landscape are analyzed. The activities which can ensure ecological safety and operational reliability of highways in the conditions of road of surface sewage are offered.

Keywords: highway, sewage treatment, environment, mechanical treatment, physical and chemical methods of treatment, biochemical method of treatment, drainpurification.

В настоящее время на территории Украины и зарубежных стран существуют следующие мероприятия по очистке стоков с поверхности автомобильных дорог: механическая очистка, химическая очистка, физико-химические и биохимические методы очистки. При выборе очистного сооружения необходимо руководствоваться экологическими требованиями по степени очистки поверхностных стоков, учитывать надежность сооружения, степень его апробации, а также природно-климатические, гидрологические и грунтовые условия территории строительства. Вопрос о применении очистных сооружений необходимо решать с учетом целого комплекса показателей условий строительства, а также выбранной системы водоотвода, надежности сопряжения с ней очистных сооружений и эффективности функционирования как водоотводных, так и очистных конструкций[1].

Механическая очистка сточных вод предполагает удаление нерастворимых крупных примесей, а также загрязнений, находящихся в коллоидном состоянии, из поверхностных стоков. К сооружениям механической очистки относятся решетки, сита, песколовки, отстойники, нефтеловушки, фильтры, гидроциклоны, растительные полосы и др.

Решетки применяются для удаления крупных взвешенных частиц и устанавливаются на пути движения сточных вод. Для удаления более мелких взвешенных частиц применяют сита, отверстия которых зависят от улавливаемых примесей и составляют 0,5 - 1 мм. Решетки подразделяются по способу их очистки от осевших на них загрязнений на простейшие, которые очищаются ручным способом, и механические, очистка которых производится с помощью механических приспособлений.

Песколовки или песчаные фильтры, принцип действия которых основан на изменении скорости движения твердых тяжелых частиц в потоке жидкости, предназначены для удаления из сточных вод механических примесей размером более 0,25 мм (песка, окалины). Песчаные фильтры устраиваются на поверхности и под землей, при этом обязательным является устройство конструкции для предварительной очистки поверхностных стоков от взвешенных частиц и нефтяных пленок. Песколовки или песчаные фильтры могут быть горизонтальными, с прямолинейным и круговым движением воды, вертикальными и с винтовым движением воды (тангенциальные и аэрируемые). В настоящее время в Украине и странах СНГ чаще всего применяются горизонтальные песколовки. Как показывает опыт применения, песколовки способны задерживать 65-75% всех минеральных загрязняющих веществ, содержащихся в сточных водах [2]. Аэрируемые песчаные фильтры, в которых возникает винтовое движение жидкости, а в качестве аэраторов применяются перфорированные трубы с отверстиями 3-5 мм или фильтрующие пластины, широко применяются в Европе и США. На рис. 1 представлена песколовка, удачно вписывающаяся в любой природный ландшафт и применяемая на автомобильных дорогах США.

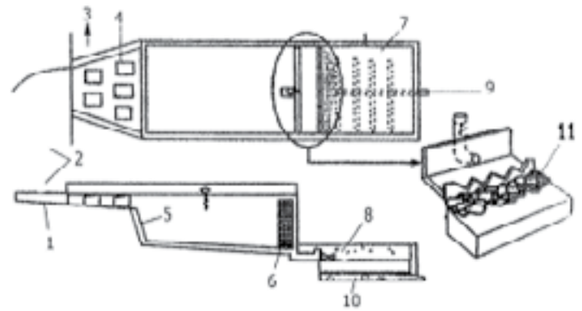


Рисунок 1- Песколовка, применяемая в США: 1 - канал для пропуска стока; 2 - канал для стока; 3 - сток в испарительный бассейн; 4 - рассеиватели потока; 5 - входное отверстие; 6 - перфорированный коллектор с решеткой для задержания мусора; 7 - фильтрационный бассейн; 8 - песок; 9 - выходное отверстие; 10 – подземный дренаж с применением труб; 11 - каменная наброска

Отстойники или аккумулирующие резервуары, которые устраиваются как самостоятельные сооружения (рис. 2), заполняются стоками в период выпадения осадков и применяются для сбора поверхностных стоков на определенный промежуток времени (не менее суток), в течение которого отдельные загрязняющие вещества выпадают в осадок. Степень очистки поверхностных стоков в таких отстойниках низкая, из-за этого их чаще всего применяют для сброса непредвиденных объемов воды во избежание избыточного затопления территории.

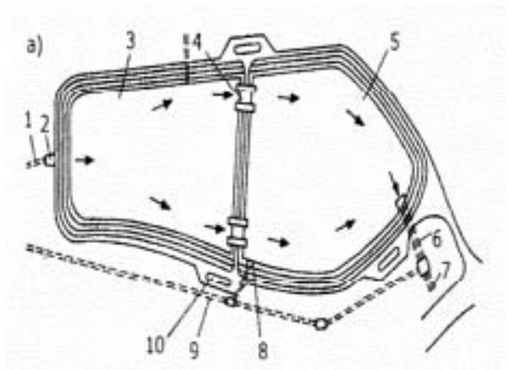


Рисунок 2 - Использование отстаивания для очистки поверхностного стока с автомобильной дороги
а - пруд-отстойник произвольной формы; 1 - подводящий коллектор; 2 - вход в первую секцию; 3 - первая секция; 4 - водосброс; 5 - вторая секция; 6 – выход из второй секции; 7 - отводящий коллектор; 8 - вход во вторую секцию; 9 - обгонный коллектор; 10 – маслонефтесборники

Своевременное осушение отстойников крайне затруднительно, поэтому часто во время выпадения дождевых осадков, загрязняющие вещества от стоков, образовавшихся во время предыдущих дождей, просто вымываются и разливаются по прилегающей территории, приводя к ее дополнительному загрязнению. Существуют также отстойники, применяемые для предварительной очистки сточных вод в случае, если требуется дальнейшая биологическая очистка стоков.

По назначению отстойники данного типа подразделяются на первичные, устанавливаемые до сооружения биологической очистки, и вторичные, которые устанавливаются после сооружений биологической очистки.По конструктивным особенностям отстойники делятся на горизонтальные (сток движется вдоль отстойника, почти горизонтально), вертикальные (сток движется снизу вверх) и радиальные (сток движется от центра к периферии).

Нефтеловушки предназначаются для удаления пленок нефтяных продуктов и смазочных материалов из поверхностных стоков. Скорость движения сточных вод в нефтеловушке составляет 0,005 - 0,01 м/с, при этом всплывает 96 - 98% частиц размером 80 - 100 мкм.

Нефтеловушки представляют собой устройство для сбора всплывающих на поверхности воды нефтяных и масляных пленок. Они применяются на участках выпуска стоков из отстойников. На рис. 3 представлена конструкция нефтеловушки, действующей по следующему принципу: стоки, проходя через щелевую перегородку, поступают в отстойную камеру, в которой нефтепродукты всплывают на поверхность; нефтепродукты собираются в начале и в конце секции щелевыми поворотными трубами.

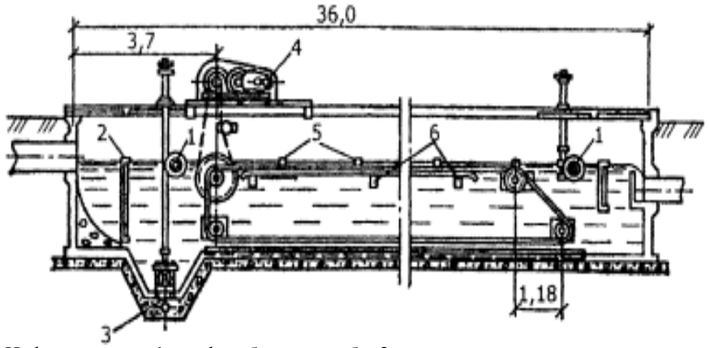


Рисунок 3 - Нефтеловушка: 1 - нефтесборная труба; 2 - щелевая распределительная перегородка; 3 - донный клапан; 4 - механизм передвижения скребков; 5 - скребки;6 – кронштейны

К способам механической очистки сточных вод также относятся фильтрование и пропуск стоков через гидроциклоны.

Фильтрование применяется для выделения из сточных вод тонкодисперсных твердых и жидких частиц, которые не обладают способностью выпадать в осадок. В качестве фильтрующих материалов используются металлические сетки, тканевые фильтры (хлопчатобумажные, из стекловолокна), керамические, иногда используются зернистые материалы - песок, гравий, торф, уголь и др. (рис.4). Нетканые материалы, благодаря своей структуре, являются хорошей основой как для создания фильтрующих элементов, так и для использования в качестве сорбентов, при этом сорбционный способ позволяет предотвратить попадание

нефтепродуктов в ливневые стоки с автомобильных дорог, стоянок автомобилей и автозаправочных комплексов [3]. Объемно-пористая структура нетканого фильтра позволяет снизить концентрацию взвешенных веществ в сточных водах на три порядка и нефтепродуктов на один порядок по сравнению с исходной.

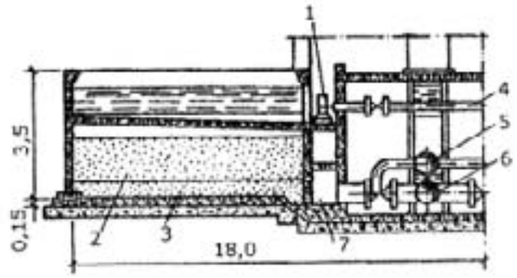


Рисунок 4 - Двухслойный фильтр: 1 - донный клапан; 2 - антрацитовая крошка; 3 - песок; 4 - подача воды на фильтрование; 5 - отвод профильтрованной воды; 6 - подача воды на промывку; 7 - переливные желоба

Гидроциклоны используются для очистки сточных вод от взвешенных частиц под действием центробежной силы. Принцип действия гидроциклона состоит в том, что вода с высокой скоростью по касательной подается в гидроциклон, при вращении в котором на частицы действуют центробежные силы, отбрасывающие тяжелые частицы к периферии потока, при этом, чем больше разность плотностей частиц, тем лучше разделение. которые очищают стоки от взвешенных веществ, органических материалов и примесей металлов. Построенные надлежащим образом растительные полосы способны удалять более 60% взвешенных частиц

С целью очистки стоков укрепление растительностью чаще всего производится на разделительной полосе (рис. 5) и в боковых резервах. Для предотвращения преждевременного разрушения растительной полосы на разделительной полосе необходимо устраивать укрепление вдоль ее кромки. [3].

Исследования эффективности действия боковых резервов как локальных очистных сооружений, проведенные в зарубежных странах, показали, что они способны на 30 - 90% снижать содержание твердых частиц и на 5-40% содержание фосфора в поверхностных стоках с автомобильных дорог.

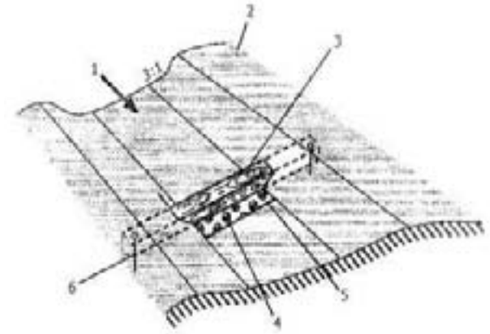


Рисунок 5 - Очистка стоков на разделительной полосе: 1 - направление потока; 2 - растительный слой повышенной плотности; 3 – задерживающая дамба из дерева; 4 - каменная наброска; 5 - геотекстиль; 6 - арматурный стержень

На степень очистки поверхностных стоков непосредственно влияет высота растительного покрова резерва, уклон дна резерва и показатели фильтрации грунтов, слагающих дно резерва. Боковые резервы, укрепленные растительностью, способны вызывать загрязнение грунтовых вод, поэтому в отдельных случаях их применение в качестве очистных сооружений не допускается. Для повышения очистной способности растительных полос необходимо своевременно убирать мусор, крупные каменные материалы с поверхности разделительных полос и из резервов окашивать растительность, а также засевать новой растительностью поврежденные участки резервов.

Химические методы очистки применяются главным образом для локальной очистки промышленных сточных вод. Их применение требует высоких эксплуатационных расходов и высоких трудозатрат, поэтому они крайне ограничено могут использоваться для обработки стоков с автомобильных дорог.

Физико-химические методы очистки стоков включают флотацию, адсорбцию, ионный обмен, экстракцию и др. Для обработки стоков с автомобильных дорог эти методы применяют довольно ограниченно.

Адсорбция. Одним из видов сооружений физико-химической очистки (используемых для очистки смывов с автодорог), действие которых основано на принципе фильтрации стоков через адсорбирующие материалы, являются инфильтрационные бассейны (рис. 6), инфильтрационные траншеи (рис. 7) и дренажные колодцы [4]. Инфильтрационные сооружения предназначены также для сброса больших объемов воды во время ливневого паводка; недопущения подтопления различных объектов, расположенных в нижнем бьефе; пополнения бассейна подземных вод, подземного питания близлежащих водоемов.

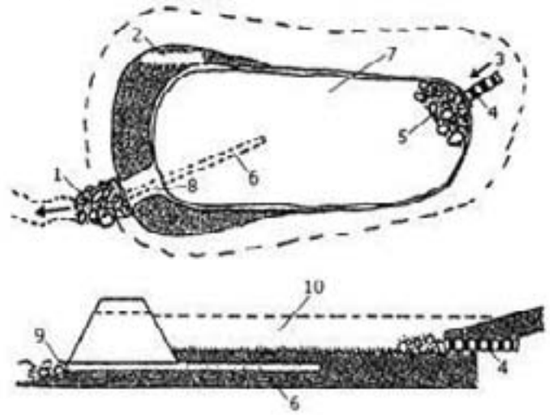


Рисунок 6 - Типовой инфильтрационный бассейн, применяемый в зарубежных странах: 1 - каменная наброска; 2 - вал; 3 - предварительно очищенный сток; 4 – входное отверстие; 5 - каменная наброска, через которую фильтруется сток при входе в инфильтрационное сооружение; 6 - резервная дренажная труба; 7 – горизонтальная поверхность с густой растительностью; 8 - аварийный водоспуск; 9 - задвижка; 10 - водохранилище избыточного стока

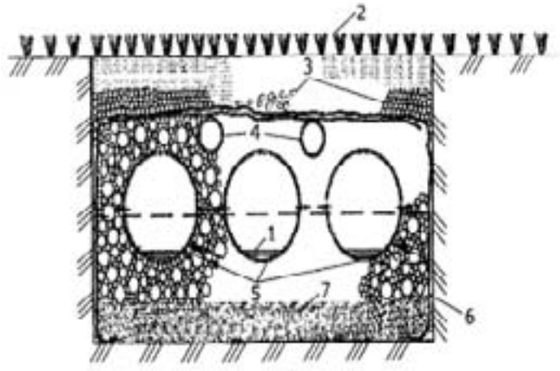


Рисунок 7- Инфильтрационная траншея: 1 - осадок; 2 - растительность; 3 - гравий; 4 - перфорированные трубы; 5 – гофрированные трубы; 6 - геотекстиль; 7 – песок

В инфильтрационные сооружения не допускается сброс поверхностных стоков с большим содержанием крупных взвешенных частиц во избежание их засорения. Одним из обязательных требований, обеспечивающих нормальное функционирование инфильтрационных сооружений, является использование грунтов и материалов с высоким показателем фильтрации, что, однако, делает конструкцию в целом неустойчивой и может привести к загрязнению грунтовых вод. Кроме того, осадок, образующийся на дне сооружения, необходимо своевременно удалять, а при засорении инфильтрационного сооружения его необходимо устраивать заново.

Альтернативным способом отведения поверхностных вод с покрытия автомобильной дороги и их последующей очистки являются дренирующие водопроницаемые покрытия, которые устраиваются из пористой асфальтобетонной или цементобетонной смеси. Дренирующие покрытия применяются во многих зарубежных странах и обладают определенными преимуществами, однако их применение на территории Украины ограничено [4].

Биохимические методы очистки сточных вод основаны на способности микроорганизмов использовать загрязняющие вещества в качестве питательного субстрата. Эти методы очистки могут проводиться в

естественных условиях (поля фильтрации, биологические пруды, испарительные бассейны и т.д.) и искусственным путем (биофильтры, аэротенки и т.д.).

Поля фильтрации представляют собой специально подготовленные земельные участки, предназначенные только для биологической очистки, без выращивания на них сельскохозяйственных культур. Лучшими для устройства полей фильтрации являются песчаные и супесчаные грунты. Подавать на поля фильтрации необходимо предварительно осветленные и освобожденные от взвешенных частиц стоки, что позволит повысить уровень очистки.

Биологические пруды или искусственные запруды представляют собой обычно 3-5-ступенчатый каскад прудов с естественной аэрацией (глубиной 0,5 - 1 м и заселенные водными организмами) и искусственной аэрацией (с механическим перемешиванием или продуванием воздуха), через которые движутся предварительно очищенные стоки. Очистка в биологических прудах основана на процессах, происходящих при самоочищении водоемов. Биологические пруды рассчитываются на нагрузку, зависящую от концентрации загрязнения стоков и температурных условий района расположения. На эффективность работы биологических прудов в качестве очистных сооружений влияет их местоположение. На рис. 8 представлена схема биологического пруда, имеющего форму траншеи [4].

Биологические пруды способны не только обеспечивать высокий уровень очистки сточных вод, но и пополнять бассейн подземных вод, питать водоносный горизонт и удачно вписываться практически в любой ландшафт. Недостатком биологических прудов является то, что они способны вызывать термальное загрязнение в водоемах, расположенных ниже по течению.

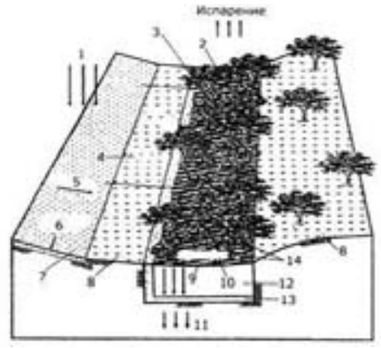


Рисунок 8- Биологический пруд: 1 - дождевые осадки; 2 - территория биологической очистки; 3 - слой стока; 4 - территория с густой растительностью; 5 - направление стока; 6 - избыточный сток; 7 - покрытие; 8 - торф; 9 - слой почвы; 10 - биологический пруд; 11 - инфильтрация; 12 - грунты; 13 - песчаный слой; 14 - территория пруда

Испарительные бассейны, наполняемые во время дождей (рис. 9), представляют собой еще один способ очистки поверхностных стоков от загрязнения. Наиболее предпочтительными являются длинные узкие испарительные бассейны или бассейны клиновидной формы, которые, кроме снижения влияния ветра и недопущения взбалтывания загрязненного осадка дна, позволяют контролировать преждевременные сбросы неочищенных вод во время интенсивных дождевых осадков.

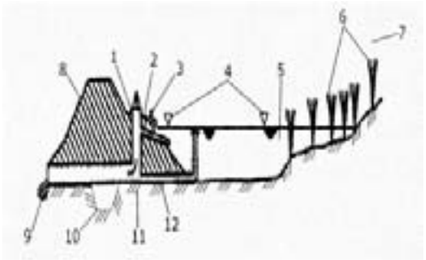


Рисунок 9 - Испарительный бассейн, устраиваемый на территории, прилегающей к автомобильной дороге: 1 - вертикальный стояк с решеткой для сбора мусора; 2 - труба с обратным уклоном для предотвращения заиливания; 3 - каменная наброска для защиты берега; 4 - уровень воды в бассейне; 5 - зона оседания загрязняющих веществ; 6 – водные растения; 7 - входное отверстие; 8 - аварийный водоспуск; 9 - каменная наброска; 10 – траншея под зуб плотины; 11 - цементобетон; 12 - труба для проверки состояния пруда и его технического обслуживания

Процесс очистки стоков в испарительных бассейнах включает оседание взвешенных частиц на дне бассейна; всплывание веществ с плотностью ниже, чем у воды, поглощение загрязняющих веществ микроорганизмами, растениями, водорослями; распад некоторых загрязнителей. Испарительные бассейны также обладают способностью аккумулировать растворенные в воде углерод, кислород, азот, калий, фосфор, что является важной характеристикой для защиты озер, рек и их устий от загрязнения бурно развивающимися планктоном и водорослями. Испарительные бассейны требуют регулярного осмотра, очистки, ремонта входных и выходных отверстий, а также контроля за насекомыми.

Недостатком таких бассейнов является то, что они так же, как и биологические пруды, способны вызывать термальное загрязнение в водоемах, расположенных ниже по течению, что значительно ограничивает их применение вблизи особо охраняемых водоемов с чувствительной водной флорой и фауной.

ВЫВОДЫ

Для очистки поверхностных сточных вод с автомобильных дорог в настоящее время используют, главным образом, механические, физико-химические и биохимические методы;

1. сооружения для обработки сточных вод с поверхности проезжей части автомобильных дорог и разделительных полос легко вписывается в окружающую обстановку и становится элементом ландшафта;
2. экологическую безопасность и эксплуатационную надежность автомобильных дорог в условиях образования поверхностных сточных вод можно обеспечить только в результате взаимодействия различных мероприятий:

- своевременного сбора и отведения загрязненного стока с поверхности автомобильной дороги и мостового полотна на очистные сооружения;
- эффективной очистке;
- защите откосов земляного полотна и склонов прилегающей территории;
- сухой очистке поверхности дорог, мостов, путепроводов;
- ограничению количества стоянок автомобилей на дорогах и мостах;
- регулярной очистке дорожных поверхностей поливомоечными машинами;
- удаления бензоколонок от участков дорог, мостов и путепроводов,
- исключения загрязнения поверхностными стоками водоемов и подземных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильина А.А. Влияние автомобильного транспорта на загрязнение поверхностных стоков с автомобильных дорог и мостов - М, 2004.
2. Ильина А.А. Экологические аспекты очистки поверхностных стоков с автомобильных дорог. - М., 2004.- (Сб. науч.-метод. работ по повышению уровня обоснованности проектов автомоб. дорог и сооружений на них / Союздорпроект; Вып. 7)
3. Есенкова Н.П., Бачерникова С.Г., Михалькова А.И. Нетканые материалы -против загрязнения. Нетканые превентивные средства - новый подход к обеспечению экологической безопасности при эксплуатации дорог и автосервисных комплексов // СтройПРОФИль. - 2002. - № 5.

Ильина А.А. Дренирующий асфальтобетон и его работоспособность в системе поверхностного водоотвода автомобильных дорог // Автомоб. дороги: Информ. сб. / Информавтодор. - М., 2002. - Вып. 3.

УДК 625.745

Ткачук С.Г., докт. техн. наук, **Башкевич І.В.**

КРИТЕРІАЛЬНЕ РІВНЯННЯ ЗАЛИШКОВОГО РОЗМИВУ

Анотація. В даній роботі представлені рекомендації щодо визначення довжини зони стиснення у верхньому б'єфі мостового переходу та коефіцієнту стиснення потоку під мостом для залишкового розмиву.

Ключові слова: мостовий перехід, залишковий розмив, довжина зони стиснення, коефіцієнт стиснення потоку під мостом.

Аннотация. В данной работе представлены рекомендации по определению длины зоны сжатия в верхнем бьефе мостового перехода и коэффициента сжатия потока под мостом для остаточного размыва.

Ключевые слова: мостовой переход, остаточный размыв, длина зоны сжатия, коэффициент сжатия потока под мостом.

Abstract. This work provides guidelines for determining the length of the compression zone in the upstream of the bridge and the compression ratio of flow under the bridge for the residual washout.

Keywords: bridge, residual washout, the length of the compression zone, the compression ratio of flow under the bridge.

Постановка проблеми

Процес загального розмиву на мостових переходах починається з виходом паводкового потоку на заплави і досягає свого максимуму не на піку, а на спаді паводку. Коли річка знову входить в брівки русла, відмітки дна під мостом зазвичай не відновлюються і залишаються меншими за природні. Різниця між цими відмітками являє собою залишковий розмив, який тим більший, чим більша висота паводку і коефіцієнт стиснення потоку під мостом при розрахунковому рівні високої води (РРВВ).

Увага до залишкового розмиву виникла з появою в будівельних нормах (СНиП 2.05.03.-84 (Мосты и трубы) та ДБН В.2.3-14:2006 Мости та труби. Правила проектування) зобов'язання щодо прогнозування загального розмиву за багаторічний період. В цьому разі, пропускаючи кожний черговий паводок, треба знати величину загальних руслових деформацій, залишених попередніми паводками.

За явною залежністю [1] можна обчислити загальний розмив під мостом і в будь-якому створі зони впливу мостового переходу $l_{з.в}$ при рівнях води вище середньої відмітки заплав:

$$h_j = h_{j-1}\left[0{,}5 + \sqrt{0{,}25 + \frac{20 A\Gamma \beta_M^4 (\beta_M - 1)}{\ell_c B_p^4 h_{j-1}^5}}\right]^{0{,}2} \qquad (1)$$

де h_{j-1} – залишкова глибина в руслі, яка для першого паводку дорівнює природній глибині в брівках русла $h_{рп}$, а для наступних паводків обчислюється за написаною вище формулою (1); A – коефіцієнт залежний від крупності наносів; B_p – ширина русла; $\Gamma = \int (Q_{рп})^4 dt$ – інтегральна функція гідрографа природної руслової витрати ; $\beta_м$ – коефіцієнт стиснення потоку під мостом; ℓ_c – довжина зони стиснення.

Проблема залишкового розмиву полягає в обгрунтуванні його критеріїв, тобто у визначенні коефіцієнта стиснення $\beta_м$ і довжини зони стиснення ℓ_c на момент звільнення заплав від води, коли $\beta_м = 1$, а $\ell_c = 0$. Але при таких критеріях залишкового розмиву формула (1) стає невизначеною. Тому для здійснення довгострокового прогнозування загального розмиву значення цих величин повинні бути щонайменшими, але більшими за граничні, які виводяться з таких міркувань.

Коефіцієнт стиснення потоку під мостом обмежується точністю вимірювання витрати води гідрометричним методом, яка становить 2 – 3% . Отже значення коефіцієнта стиснення потоку під мостом не повинно бути меншим $\beta_м \geq 1{,}02$.

З коефіцієнтом стиснення $\beta_м$ пов'язана довжина зони стиснення ℓ_c і протяжність загалом всієї зони впливу мостового переходу $l_{з.в}$. Теоретична залежність між цими величинами така [1]:

$$\frac{\ell_c I_0}{\xi h_{р.з}} = \frac{\left(\frac{\beta_м^2}{2\beta_м - 1}\right)^{0{,}3} - 1}{(\beta_м - 1)} \qquad (2)$$

де I_0 – поздовжній похил вільної поверхні потоку; $h_{р.з}$ – глибина русла в брівках; $\xi = \ell_c / l_{з.в}$ – відносна довжина зони стиснення. На момент залишкового розмиву залежність (2) набуває сенсу критеріальної, бо визначає критерії його реалізації. Права частина цієї залежності є функція тільки коефіцієнта стиснення $F(\beta_м)$, величина якої легко обчислюється, або знаходиться по графіку, рис.1.

Для обчислення лівої частини залежності (2) треба задатись довжиною зони стиснення ℓ_c та її відносною величиною ξ. Решта величин, що входять до лівої частини I_0 та $h_{р.з}$, становлять вихідну інформацію.

З огляду на обставини формування залишкового розмиву, найменшою довжиною стиснення може бути тільки довжина верхових струменапрямних дамб $\ell_c = \ell_{в.д.}$ На мостових переходах без струменапрямних дамб, що свідчить про малопотужні заплави і малі стиснення потоку, залишковими розмивами можна знехтувати.

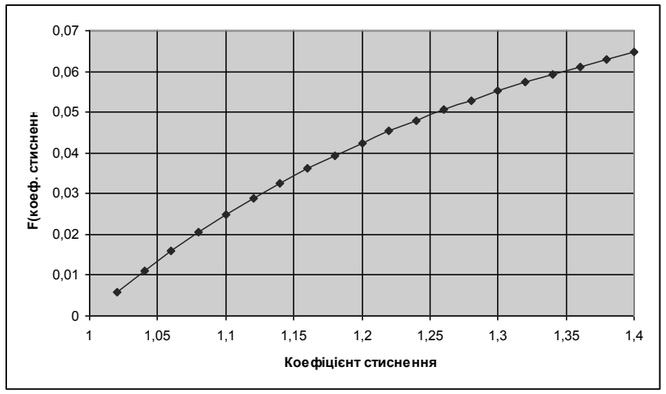


Рис. 1. Графік функції $F(\beta_м)$

Значення відносної довжини зони стиснення ξ, посилаючись на натурні спостереження М.В.Михайлова [4] становлять 0,33, тобто $l_{з.в} = 3\ \ell_c$. Наші теоретичні дослідження показали, що величина ξ при значеннях $\beta_м \geq 1,4$ практично не залежать від коефіцієнта стиснення, але виявляє чітку залежність від числа Фруда *Fr* (параметра кінетичності), рис.2

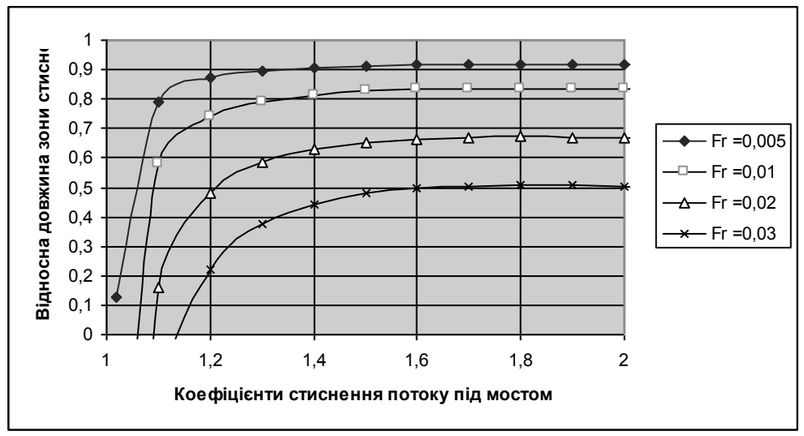


Рис. 2. Залежність ξ від $\beta_м$ та Fr

Із зменшенням $\beta_м < 1,4$ відносна довжина зони стиснення ξ стрімко зменшується і навіть стає від'ємною, що безумовно суперечить природі протікання потоку на мостовому переході. Причина такого явища криється в динамічній не лінійності, яку неможливо врахувати методами одновимірної гідравліки. Тому для визначення ξ при різних числах *Fr* наводиться графік їх залежності при сталому значенні $\beta_м = 1,4$, рис.3,

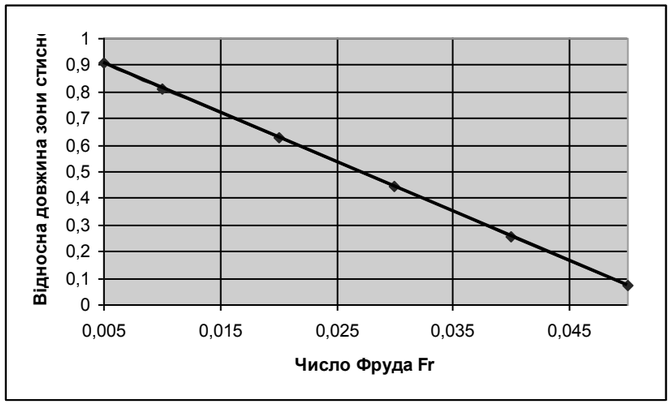


Рис. 3. Залежність відносної довжини зони стиснення ξ від *Fr*

Апроксимація графіку на рис. 3 виразиться емпіричною залежністю

$$\xi = 1 - 18{,}5Fr \qquad (3)$$

ВИСНОВКИ

Розв'язання критеріального рівняння залишкового розмиву (2) пропонується здійснювати в такий спосіб. Починати треба з обчислення лівої частини рівняння. Для цього, при відомих I_0 та $h_{р.з}$, необхідно підставити замість ℓ_c довжину верхових струменанапрямних дамб і в залежності від числа *Fr* знайти відносну довжину зони стиснення ξ. Тоді по графіку (див. рис. 1), або безпосередньо з рівняння (2) знаходиться коефіцієнт стиснення потоку під мостом на момент залишкового розмиву. Далі, користуючись формулою (1), визначається розрахункова величина залишкового розмиву.

ЛІТЕРАТУРА

1.Ткачук С.Г. Теорія розмивів на мостових переходах. - Донецьк: АТЗТ «Видавництво «Донеччина», 2009.-200 с.

2. Михайлов М.В. Подпор и поперечные уклоны воды в районе мостового перехода. Бюллетень Союзтранспроекта, 1940, № 3,4.

УДК 624.15

ТКАЧУК С.Г., докт. техн. наук, **ЄВСЕЙЧИК Ю.Б.,** канд. ф.-м. наук,
МЕДВЕДЄВ К.В., канд. ф.-м. наук

ОСОБЛИВОСТІ ВРАХУВАННЯ ГІДРОСТАТИЧНОГО ТИСКУ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ФУНДАМЕНТІВ МОСТОВИХ ОПОР

В роботі на основі двофазної моделі грунту К.Терцагі показано, що при розрахунку фундаменту мостових опор, які стоять на водо насичених грунтах вплив виштовхувальної сили води (сили Архімеда) , що діє на підошву фундаменту опори враховувати слід тільки при певних умовах, наведених у статті.

Ключові слова: опори мостів, виштовхувальна сила води, врахування сили Архімеда, розрахунок фундаменту мостових опор, двофазна модель ґрунту К.Терцагі.

В работе на основе двухфазной модели грунта К.Терцагі показано, что при расчете фундаментов мостовых опор, которые стоят на водонасыщенных грунтах влияние выталкивающей силы воды (силы Архимеда), действующей на подошву фундамента опоры учитывать следует только при определенных условиях, приведенных в статье.

Ключевые слова: опоры мостов, выталкивающая сила воды, учет силы Архимеда, расчет фундамента мостовых опор, двухфазная модель грунта К.Терцагі.

On the basis of two-phase soil model K.Tertsagi shown that the calculation of foundation piers that stand in the saturated soil water effects buoyancy (Archimedes force), acting on the foundation base of support should be taken into account only under certain conditions specified in the article.

Keywords: supports of bridges, up thrust of water, account of force of Archimedes, calculation of foundation of bridge supports, diphasic model of ground K.Tertsagy.

В переліку навантажень і дій впродовж щонайменше півстоліття переходить із норм в норми настанова щодо врахування при розрахунку фундаментів мостових опор «гідростатичного тиску води». Через відсутність докладних пояснень як це треба робити виникає багато дошкульних непорозумінь. Головне питання, довкола якого і досі точаться дискусії, полягає в доведенні необхідності врахування виштовхувальної сили, якщо під підошвою фундаменту залягає водонасичений грунт, вода в порах якого становить єдиний масив з акваторіальною. Варто наголосити, що сила гідростатичного тиску при вертикальних гранях опори і фундаменту може діяти тільки на підошву фундаменту та на верхній і нижній обрізи плити ростверку, тому що на їх бічних поверхнях гідростатичний тиск само врівноважується. Різниця сил гідростатичного тиску, що діють на обрізи плити ростверку, може створювати виштовхувальну силу Архімеда, але вона не може бути значною, внаслідок малих площ змочених водою рис.1.

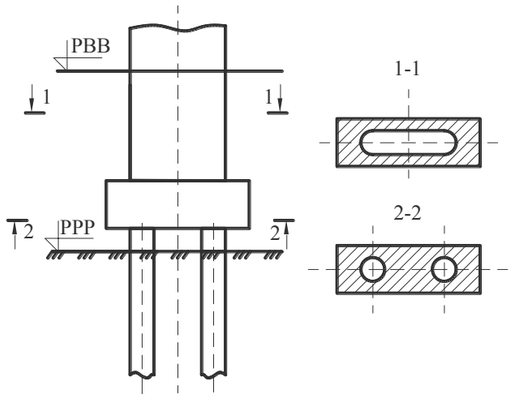


Рис. 1. Площі обрізів ростверку (заштриховані), на які діє сила гідростатичного тиску

Якщо опора нециліндрична (рис. 2), то на її нахилені поверхні буде діяти виштовхувальна сила, що дорівнює:

$$P = \rho g \int_0^{h_1} (\omega_2 - \omega_1) dh \qquad (1)$$

де ω_2 - повна площа поперечного перерізу опори, яка змінюється по висоті опори, ω_1 - частина площі поперечного перерізу опори, яка обмежена вертикальною площиною, постійна по висоті опори.

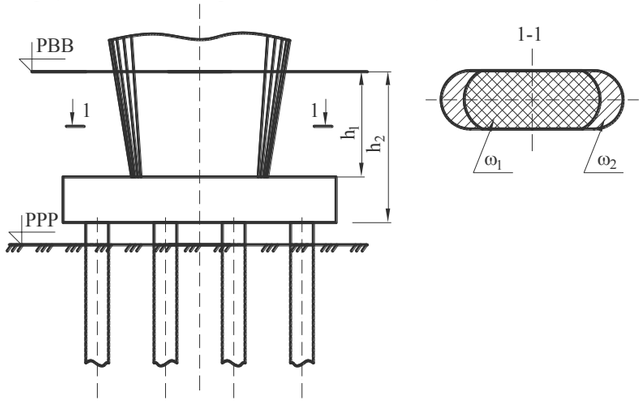


Рис. 2. Нециліндрична опора, на яку діє виштовхувальна сила

Коли опора звужується від ростверку до ригеля (рис. 3), то на неї буде діяти сила гідростатичного тиску обчислювана за формулою (1), але в цьому випадку вона направлена вертикально вниз і буде привантажувати опору.

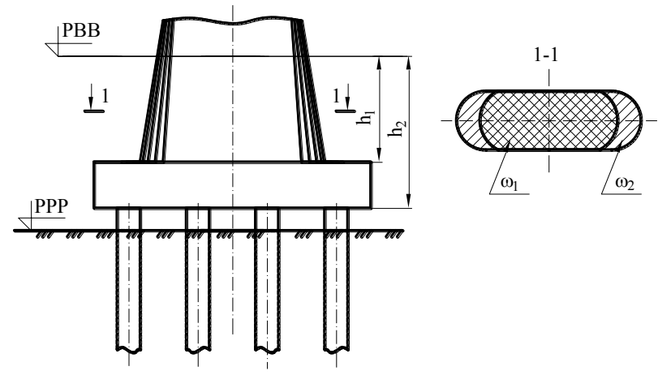


Рис. 3. Нециліндрична опора, яка сприймає гідростатичний тиск

Для з'ясування наявності гідростатичного тиску на фундамент у водонасичених грунтах застосовується фазова модель грунту, яка була запропонована К.Терцагі ще у 1925 році [1]. Він прийняв кістяк грунту і воду в його порах такими, що не стискаються. Отже зміни об'єму грунту можуть відбуватися тільки внаслідок зміни в ньому обєму кількості фаз. При стисненні об'єм пор зменшується і на стільки ж збільшується об'єм кістяка (на одиницю об'єму грунту). Якщо пори грунту заповнені водою, то ущільнення супроводжується витисканням з пор відповідної її кількості. Отже зміна об'єму грунту дорівнює зміні об'єму рідкої фази.
Задля наочності М.Н.Гольдштейн [2] запропонував розглянути такий дослід. В ємність, на дно якої насипано шар піску, заливається вода, рис. 4.

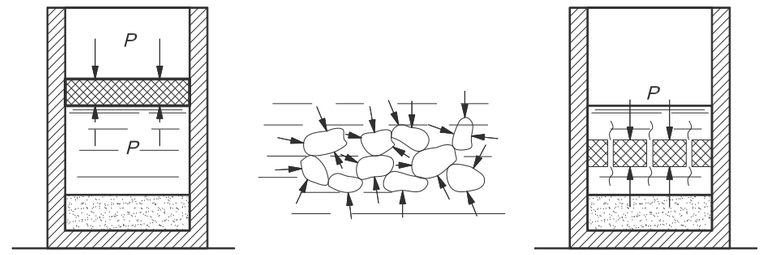


Рис. 4. Схема досліду М.Н.Гольдштейна

Через поршень на воду прикладається тиск p. Цей тиск замість поршня з навантаженням можна відтворити також додатковою кількістю води з висотою стовпа, що становить:

$$h = \frac{p}{\rho g}, \qquad (2)$$

де: ρ – густина води; g – прискорення вільного падіння.
До речі, останній варіант ближчий до природних умов на акваторії мостового переходу.
Додатковий тиск p в рідині від навантаження на поршень буде діяти і в рідині, що знаходиться в порах піску. При цьому кожна піщинка отримає додатковий всебічний рівномірний тиск p, але це не призведе до їх деформацій, тому що у фазовій моделі грунту вони приймаються абсолютно жорсткими.
Якщо уявити, що в поршні є малі отвори, через які буде протискуватися вода і він зможе поступово опускатися, поки не торкнеться піщаного шару. Впродовж всього часу руху поршня напружений стан піску не буде змінюватися, і деформації його будуть відсутні, хоча у воді буде існувати деякий тиск, який можна прийняти як і раніше p. Коли поршень опуститься на піщаний шар, почнеться його обтиснення, супроводжене зменшенням пористості і вичавлюванням з нього води (явище консолідації грунту).
Для наочного представлення явищ, що відбуваються в двофазній системі, К.Терцагі запропонував механічну модель, зображену на рис. 5.

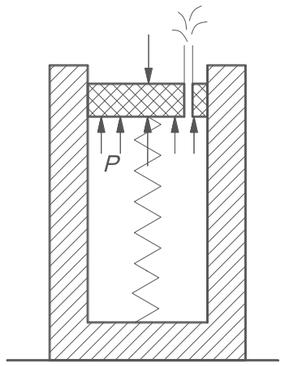


Рис. 5. Модель Терцагі

В ній роль шару грунту на дні ємності грає сталева пружина, а роль води в порах – вода, що оточує пружину, причому остання може стискатися лише при зменшенні об'єму води в циліндрі.
При стисненні пружини буде збільшуватися її реакція і відповідно зменшуватися тиск на воду. Тиск у воді p дорівнюватиме тиску на поршень за винятком реакції пружини, яка моделює реакцію кістяка грунту. Коли пружина стиснеться на стільки, що її реакція повністю врівноважить тиск на поршень, тиск у воді p дорівнюватиме нулю. Таким чином, в процесі деформації моделі відбувається безперервний перерозподіл зусиль між водою і пружиною. В начальній стадії все навантаження сприймається водою, а в кінцевій – пружиною. Аналогічно до цієї моделі у двофазному середовищі (грунт насичений водою) в перший момент після навантаження весь тиск сприймається водою в порах, в кінці – кістяком грунта.
Якщо позначити напруження в кістяку через R, напруження в рідині через p, а загальне напруження через σ, то для двофазної моделі К.Терцагі має виконуватися умова:

$$\sigma = R + p \qquad (3)$$

Причому в першу мить після прикладення навантаження ($t = 0$) $\sigma = p$, а на прикінці процесу деформування ($t = \infty$) $\sigma = R$.
Подібний процес відбувається і під підошвою фундаменту у водонасичених грунтах. Тому можна стверджувати, що у випадках, коли розрахунковий опір грунту R під підошвою більший за гідростатичний тиск p, виштовхувальна сила Архімеда дорівнює нулю і не має жодних підстав для її врахування.
В сучасній методиці визначення розрахункового опору грунту останній розглядається як пружна основа типу Фусса-Вінклера, що характеризується величиною коефіцієнта постілі C_n. Переміщення кожної точки такої пружної основи пов'язано з інтенсивністю розподілених по її поверхні навантажень, які прикладено до цієї точки і не залежать від навантажень, що діють на інші точки поверхні. Це означає, що за межами завантаженої ділянки переміщення точок поверхні пружної основи дорівнюють нулю.
Таким чином, реакція основи типу Фусса-Вінклера на переміщення w точок її поверхні дорівнює

$$R = C_n w, \qquad (4)$$

де C_n – коефіцієнт постелі пружної основи, що дорівнює тиску, який призводить до переміщення точок на її поверхні по нормалі на одиницю.
Коефіцієнт C_n під підошвою оболонки або стовпа визначається за формулою

$$C_n = \frac{5K_n h_1}{d_n}, \qquad (5)$$

де: K_n – коефіцієнт пропорційності, наведений в табл. 1; h_1 – глибина закладення фундаменту від розрахункового рівня розмиву (РРР); d_n – діаметр підошви оболонки чи стовпа, а при поширенні – найбільший діаметр поширення.

Таблиця 1 Значення коефіцієнтів пропорційності [3]

Грунти	K_n для паль, кН/м^4	K_n для оболонок і бурових паль кН/м^4
Текучопластичні глини і суглинки (0,75< J_L ≤1)	650-2500	500-2000
М'якопластичні глини і суглинки(0,5< J_L ≤0,75); пластичні супіски (0< J_L ≤1); пилуваті піски (0,6< J_L ≤0,8)	2500-5000	2000-4000
Тугопластичні і напівтверді глини і суглинки (0< J_L ≤0,5); тверді супіски (J_L ≤0); піски дрібні (0,6< e ≤0,75) і середньої крупності (0,55< e ≤0,7)	5000-8000	4000-6000
Тверді глини і суглинки (J_L≤0); піски крупні (0,55< e ≤0,7)	8000-13000	5000-10000
Піски гравелисті (0,55< e ≤0,7) і галька з піщаним заповненням		10000-20000

Отже, якщо розглянути відношення розрахункового опору грунту до гідростатичного тиску на рівні підошви фундаменту

$$\frac{R}{p} = \frac{5K_n}{\rho g d_n}\frac{1}{1+\eta}, \qquad (6)$$

де $\eta = h/h_1$ а h – глибина води біля опори;
На підставі викладеного вище, при $R/p \geq 1$ гідростатичний тиск під опорою і як наслідок виштовхувальна сила будуть відсутні.
На рис. 6 по[illegible]дошви d_n = 1,2 м.

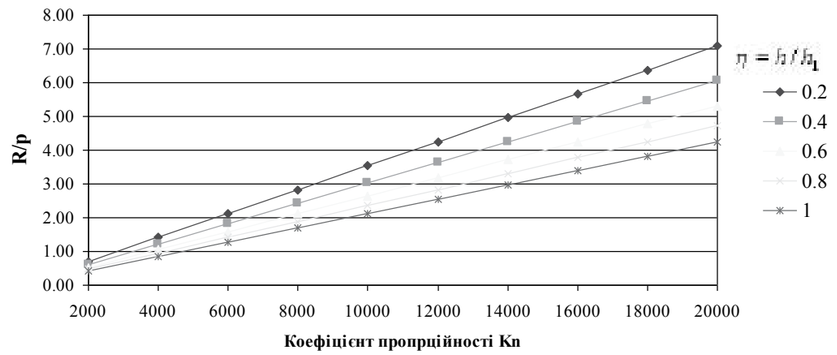


Рис. 6. Відношення опору грунту до гідростатичного тиску під підошвою фундаменту.

Для оболонок і стовпів d_n = 1,2 м відношення $R/p < 1$ зосереджені в дуже малій області зміни відносних глибин η і типів грунтів, представлених на графіках коефіцієнтами пропорційності. Врахування гідростатичного тиску під підошвою таких фундаментів може бути доцільним лише при відносних глибинах η > 0,4 і для грунтів з K_n < 4000. При цьому виштовхувальна сила A визначатиметься за формулою

$$A = (p - R)\omega_n, \qquad (7)$$

де ω_n – площа підошви фундаменту.
Подібні графіки отримані також для фундаментів глибокого закладення (оболонок, стовпів, бурових паль) з діаметрами підошви d_n = 1,6 м (рис. 7) та для d_n = 3 м (рис. 8).

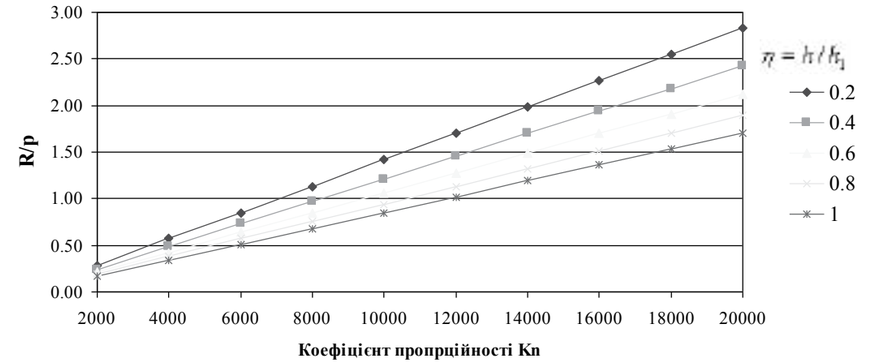


Рис. 8. Відношення опору грунту до гідростатичного тиску
під підошвою фундаменту d_n = 3 м.

Зіставлення графіків для різних діаметрів дозволяє зробити висновок, що при збільшенні діаметра паль розширює область відносних глибин і грунтів, коли може виявитись доцільним врахування гідростатичного тиску і виштовхувальної сили за формулою (7).

Список посилань:
1. Terzaghi K. Tffect jf Vinor Geologic Details jn the Safety of Dams. “Amer. Inst. Min. and Metal. Eng.”, TP 215? 1929.
2. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов – М.: Стройиздат, 1971. – 366 с.
3. Глотов Н.М., Соловьев Г.П., Файнштейн И.С. Основания и фундаменты мостов: Справочник/ Под ред. К.С.Силина. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.

УДК 624.2

Ткачук С.Г., д-р техн. наук, **Матвєєва К.Ю.**

ВИДИ ХВИЛЬ І ПОБУДОВА КРИВОЇ ВІЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ ПРОРИВІ ГРЕБЛІ

Анотація. В даній статті розглядаються різні види хвиль, їх відмінні особливості та характер розповсюдження, і наведено приклади випадків, коли можуть виникати деякі з них. Запропоновано метод побудови графіку кривої вільної поверхні при прориві греблі та наведено приклад.
Ключові слова: крива вільної поверхні, прорив греблі, створ збурення.

Аннотация. В данной статье рассматриваются разные виды волн, их отличительные особенности и характер распространения, также приведены примеры случаев, когда некоторые из них могут возникать. Предложен метод построения графика кривой свободной поверхности при прорыве дамбы и приведён пример.
Ключевые слова: кривая свободной поверхности, прорыв дамбы, створ возмущения.

Annotation. This article discusses the various types of waves, their distinctive features and nature of the distribution, and are examples of cases that may arise some of them. A method of constructing graph the curve of the free surface during the breakthrough of the dam and the example is given.
Keywords: the curve of the free surface, the breakthrough of the dam, the area of disturbance.

В деяких випадках варіант траси автомобільної дороги може перетинати водотік в нижньому б’єфі водосховища.

При руйнуванні гребель та спорожненні водосховищ формується хвиля прориву, яка має значну руйнівну силу. Рух великих мас води з високою швидкістю призводить до утворення значних розмивів, що викликає необхідність виконання прогнозу руслових деформацій під мостом за умов руйнування і прориву греблі.

Для здійснення розрахунків стосовно визначення загального розмиву треба знати не тільки вихідні гідравлічні параметри водотоку, але ще параметри хвилі прориву, а саме: водомірний графік, криву витрат, гідрограф, інтегральну функцію гідрографу, криву вільної поверхні.

Порушення природно усталеного руху на водотоці може відбутися в результаті зміни витрати в деякому створі, який називається створом збурення.

Створ збурення є джерелом хвилі або цілого ряду хвиль, тому неусталений рух часто називають *хвильовим рухом*.

Відмінною особливістю таких хвиль є їх здатність переносити значні об’єми води за напрямком руху хвилі, тому ці хвилі називають *хвилями переміщення*.

Хвилі переміщення поділяються на *безперервні* (довгі) та *переривчасті* (короткі), а сам неусталений рух ділиться відповідно на *повільно змінний* та *швидко змінний*.

Неусталений рух, за якого спостерігається просте підвищення рівня (без подальшого зниження) або просте зниження рівня (без подальшого підвищення), наживається хвилею одного напрямку.

Якщо хвиля, яка виникла, поширюється вниз за течією, то вона називається *прямою* (низхідна хвиля); в протилежному випадку хвиля називається *зворотною* (висхідна хвиля). При збільшенні рівня хвилю прийнято називати *додатною* (хвиля підвищення), при зменшенні рівня — *від’ємною* (хвиля зниження). Як додатна, так і від’ємна хвилі можуть бути прямою та зворотною.

Комбінація двох напрямків та двох знаків хвиль дозволяють виділити декілька типів хвиль.

Типи хвиль, що розглядалися раніше можна віднести до простих хвиль. Хвилі, які спостерігаються на річках (паводки, попуски, повені, нагони, приливи), як правило, є складними, тобто складаються з двох хвиль одного напрямку — додатної та від’ємної. Наприклад, *хвиля попуску* в найпростішому випадку складається з хвилі наповнення та хвилі відливу. Такий же характер мають так звані *паводкові хвилі*.

Неусталена течія в низинах річок являє собою хвилі підпору та виливу, які чергуються між собою, причиною виникнення яких є періодичні зміни рівня води (*приливи* та *відливи*) в морі чи океані, куди впадає ріка. «Лоб» хвилі підпору при сильних приливах може сягати висотою декількох метрів та розповсюджуватися вверх за течією з великою швидкістю. При розповсюдженні хвилі виливу відбувається зниження рівнів води у водотоці, збільшення похилів водної поверхні та швидкостей течії.

Зазначимо ще один характерний вид хвиль переміщення — *хвилі прориву*. Ці хвилі переривчасті і характеризуються різкою не стаціонарністю потоку. Вони з’являються на водотоках та суходолі як наслідок руйнування запруд, гребель, штучних та природних перемичок. Для хвилі прориву характерна наявність різкого фронту у вигляді валу, що рухається з великою швидкістю та великою руйнівною силою. Хвиля прориву є різновидом хвиль наповнення.

Границя на вільній поверхні потоку, по якій в даний момент проходить порушення попереднього (усталеного чи неусталеного) режиму хвилею, що розглядається, називається *фронтом хвилі*. Ділянка хвилі BD називається *«лобом»* хвилі. За *гребенем хвилі* (точка В на рис.1) слідує *тіло хвилі* (ділянка АВ), в якому зміни параметрів потоку відбуваються повільніше, ніж у лобовій частині.

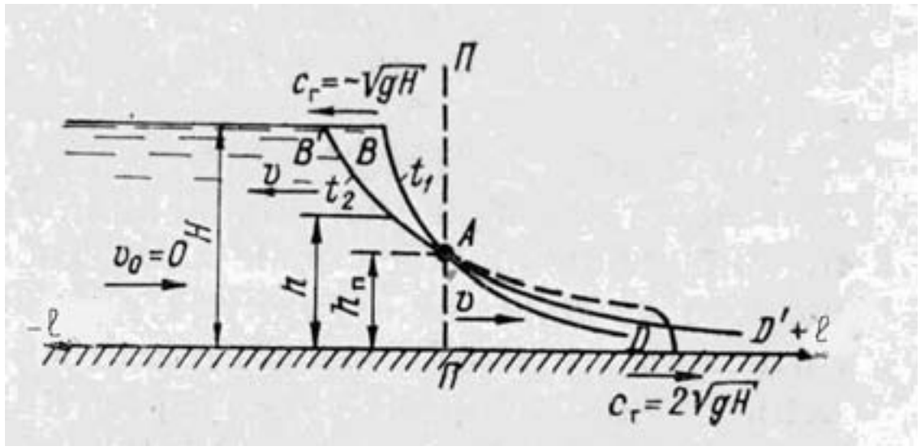


Рисунок 1. Профіль вільної поверхні при руйнуванні греблі.

При пориві греблі (створ П–П, рис.1) із водосховища глибиною Н у верхньому б'єфі з'являється зворотна від'ємна хвиля (хвиля виливу), а у нижньому б'єфі — пряма додатна хвиля (хвиля наповнення).

Для побудови кривої вільної поверхні необхідно виконати наступні розрахунки.

Об'єм водосховища W отримують в організації, що експлуатує греблю, або розраховують за формулою[1]:

$$W = \frac{1}{4} \cdot B_Г \cdot H \cdot L_B \tag{1}$$

де H – напір над рівнем природного паводку, м;

$B_Г$ – ширина греблі, м;

L_B – довжина водосховища, м.

Додаткова витрата прориву обчислюється за наступною формулою[2]:

$$Q_{пр} = B_Г \cdot H^{\frac{3}{2}} \cdot k_{пр} \tag{2}$$

де $B_Г$ – ширина греблі по урізу води у верхньому б'єфі при граничному заповненні водосховища, м;

H – напір (різниця відміток рівнів води у верхньому та нижньому б'єфах до прориву греблі), м;

$k_{пр}$ – коефіцієнт, що враховує відношення можливої ширини прориву до довжини греблі, який приймається[3]:

- для нових земляних гребель V класу, що знаходяться в задовільних умовах експлуатації $k_{пр} = 0{,}50$;
- для старих земляних гребель, що не мають класу (при млинах тощо), а також гребель V класу в незадовільному стані $k_{пр} = 0{,}75$.

Мінімальна відстані, на якій витрата від прориву не перевищуватиме природну паводкову з похибкою не більше 5% становить[4]:

$$x_{\min} = \frac{19 \cdot W}{Q_{пр} \cdot \tau} \tag{3}$$

де τ – множник, що характеризує умови проходження хвилі прориву в нижньому б'єфі, с/м.

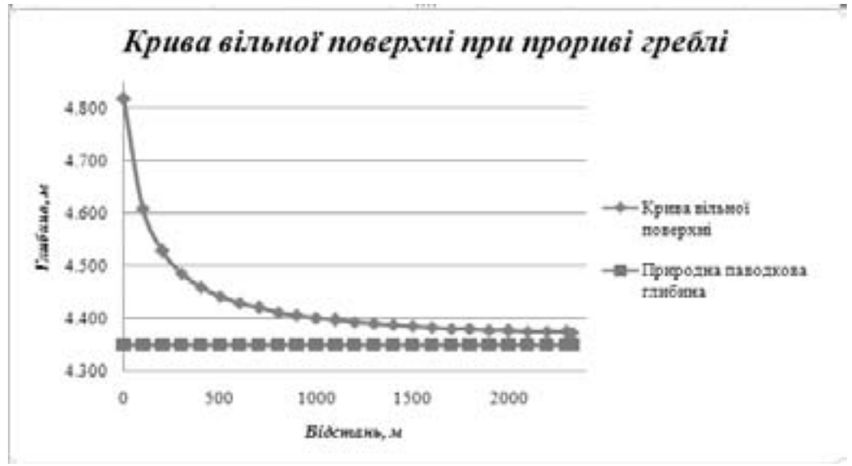


Рисунок 2. Графік кривої вільної поверхні при прориві греблі.

Час за який напір зміниться від напору прориву $H_{пр}$ до напору рівня паводку $H_{рп}$ дорівнюватиме :

$$t = \frac{2 \cdot W}{k_{пр} \cdot B_Г} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{H_{рп}}} - \frac{1}{\sqrt{(H + H_{рп})}} \right) \tag{4}$$

На відстані x додаткова витрата становитиме:

$$Q = \frac{W \cdot Q_{пр}}{W + Q_{пр} \cdot x \cdot \tau} \tag{5}$$

де x – відстань розрахункового створу від греблі, м.

Висота хвилі дорівнюватиме:

$$\xi = \frac{Q}{B_Г \cdot \sqrt{g \cdot H_{рп}}} \tag{6}$$

Загальна глибина на даній відстані становитиме:

$$h = H_{рп} + \xi \tag{7}$$

Для побудови кривої вільної поверхні хвилі прориву у нижньому б'єфі водосховища відстань $x_{\min}$ розбивається на ріні проміжки і для кожного з них обчислюється додаткова витрата прориву, висота хвилі і загальна глибина.

Графік кривої вільної поверхні при прориві греблі (рис.2) було побудовано на прикладі річки Сукіль, що протікає у Івано-Франківській області.

ЛІТЕРАТУРА

1. Спицын И.П., Соколова В.А. Общая и речная гидравлика. — Ленинград: Гидрометеоиздат, 1990. — 359с.
2. Ивановская К.М., Плешкова Т.М. Наставления по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки. ЦНИИС— Главтранспроект Министерства транспортного строительства СССР: Транспорт,1972. — 280с.
3. Пособие к СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы» по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожніх мостових переходов через водотоки. — ГУПиКС Минтрансстроя СССР: Москва,1992. — 111с.
4. Андреев О.В. Проектирование мостовых переходов.— М.: Транспорт, 1980. — 215с.

УДК 625.745.2

Чечуга О.С., канд. техн. наук, **Каськів В.І.,** канд. техн. наук, **Каськів С.В.**

РЕЗУЛЬТАТИ МАТЕМАТИЧНОГО ТА ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ НА КРУГЛІ ВОДОПРОПУСКНІ ТРУБИ В ЗЕМЛЯНОМУ ПОЛОТНІ

Анотація. Виконано моделювання роботи залізобетонної водопропускної труби в тілі насипу за допомогою математичного і числового моделювання. Встановлено раціональні конструкції труб (на жорсткій чи нежорсткій основі) залежно від висоти насипу і виду ґрунту, запропоновано способи покращення напружено-деформованого стану конструкції «насип – труба – основа» для високих насипів автомобільних доріг.

Ключові слова: автомобільна дорога; насип; кругла залізобетонна водопропускна труба.

Аннотация. Выполнено моделирование работы железобетонной водопропускной трубы в теле насыпи при помощи математического и численного моделирования. Определено рациональные конструкции труб (на жестком и нежестком основании) в зависимости от высоты насыпи и вида грунта, предложены способы улучшения напряженно-деформированного состояния конструкции «насыпь – труба – основание» для высоких насыпей автомобильных дорог.

Ключевые слова: автомобильная дорога; насыпь; круглая железобетонная водопропускная труба.

Annotation. Modeling of concrete culverts into the embankment using mathematical and numerical modeling. Established rational design of culvert (on a rigid or nonrigid basis) depending on the height of the embankment and the type of soil, suggested ways to improve the stress-strain state structures «embankment – culvert – base» for high embankment road.

Key words: road, embankment, culvert.

ВСТУП

Досвід усіх країн з неспростовною переконливістю свідчить, що автомобільні дороги є важливим фактором економічного і соціального розвитку суспільства. Мережа автомобільних шляхів є невід'ємною складовою частиною автомобільно-дорожнього комплексу Від транспортно-експлуатаційного стану доріг в значній мірі залежать витрати на перевезення вантажів та пасажирів, економічні втрати від дорожньо-транспортних пригод. Транспортні витрати збільшують собівартість вітчизняної продукції; зменшують її конкурентоспроможність на внутрішньому та зовнішніх ринках. Цілком зрозуміло, що стан доріг прямо пов'язаний зі станом економіки держави.

Немаловажну роль у забезпеченні надійної роботи автомобільних доріг відіграють штучні споруди на них. Однією з обов'язкових вимог, яка забезпечує безперебійний рух транспорту по дорогах, є їх безаварійна робота, зокрема – водопропускних труб.

Історія дорожнього будівництва і сучасна статистика свідчать, що водопропускні труби під насипами є найбільш масовим видом споруд на автомобільних дорогах і залізницях, що пов'язано не тільки із зростанням транспортної мережі в цілому, але і зі збільшенням їх частки у загальному обсязі малих штучних споруд.

На нашу думку однією із причин деформації водопропускних труб на автомобільних дорогах слід вважати те, що в практиці проектування і будівництва прийнято розглядати насип і трубу в ньому, як різні об’єкти. І хоча ці конструктивні елементи є різнорідними, без сумніву, їх необхідно розглядати тільки у взаємозв’язку, тобто в конструкції “насип – труба – основа”.

Основна трудність, що тут виникає, це створити адекватний механізм відображення і розрахунку цієї системи.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

У роботі [1] розроблена математична модель (1), яка пов’язує компоненти напружень, згинаючі моменти, нормальні сили і переміщення, що виникають при взаємодії автодорожнього насипу, водопропускної труби і основи.

$$
\left.
\begin{aligned}
\sigma_r &= p_{0\nu} + p_1 \cos\theta + p_{2\nu}\cos 2\theta + p_3 \cos 3\theta;\\
\tau_{r\theta} &= -p_1 \sin\theta + t_2 \sin 2\theta + p_3 \sin 3\theta;\\
M &= \frac{R^2}{6}\left[\left(2p_{2\nu} + t_2\right)\cos 2\theta + p_3 \cos 3\theta\right];\\
N &= \frac{R}{6}\left[2\left(p_{2\nu} + 2t_2\right)\cos 2\theta + 3p_3 \cos 3\theta - 6p_{0\nu}\right];\\
u^R &= \frac{p_{0\nu}R^2}{E_0 s} + \frac{R^4\left(1-\nu_0^2\right)}{E_0 s}\left[\frac{4}{3}\left(p_{2\nu} + \frac{t_2}{2}\right)\cos 2\theta + \frac{1}{4}p_3 \cos 3\theta\right];\\
\upsilon^R &= \frac{2R^4\left(1-\nu_0^2\right)}{E_0 s^3}\left[\frac{1}{3}\left(p_{2\nu} - 2t_2\right)\sin 2\theta + 8p_3 \sin 3\theta\right].
\end{aligned}
\right\}. \qquad (1)
$$

де σ_r, $\tau_{r\theta}$ – нормальні радіальні напруження і тангенціальні зусилля по контуру труби;

M, N – згинаючі моменти і нормальні сили;

u^R, υ^R – радіальні і тангенціальні переміщення;

θ – кут між вертикальною віссю труби і вектором;

s – товщина стінки труби.

На основі розроблених залежностей (1) було виконано серію розрахунків з різними вихідними даними, а також виконано числове моделювання роботи конструкції «насип – труба – основа».

Вихідні дані для математичного моделювання:

а) розрахунки велись з врахуванням зовнішнього навантаження – НК-80 і НК-100 та без нього;

б) грунт основи: супісок, суглинок;

в) грунт засипки: пісок, супісок, суглинок та їх варіація;

г) труба із залізобетонним фундаментом та без нього;

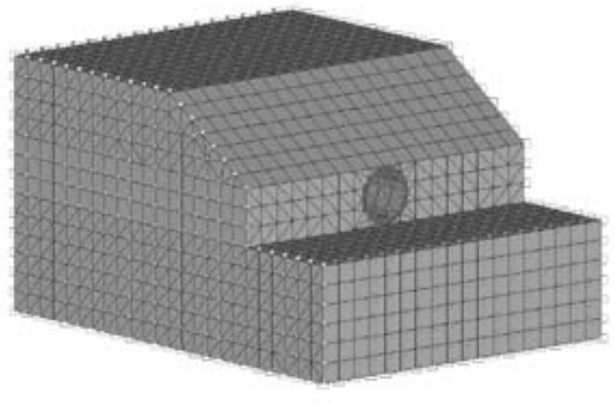
д) діаметр труби, м: 0,75; 1,00; 1,25; 1,50;

е) висота засипки (насипу), м: 0,50; 1,00; 1,50; 1,75; 2,00; 2,50; 5,00; 6,00; 10,00; 12,00.

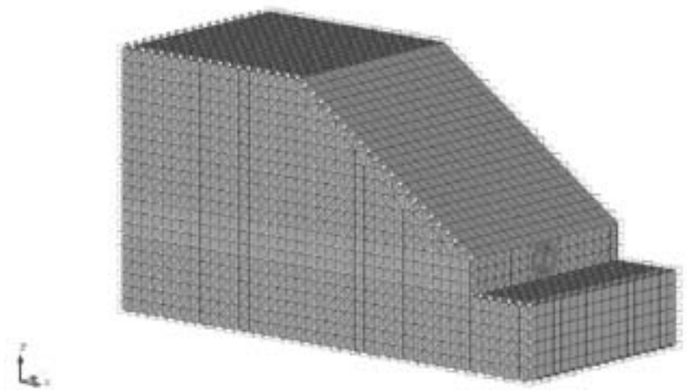
Розрахунки виконували у програмі Mathcad.

Числове моделювання виконували методом скінчених елементів за допомогою програми SCAD.

Дискретизація в об’ємній постановці задачі наведена на рисунку 2.



а)



б)

Рисунок 2 – Схема дискретизації розрахункової моделі для об'ємної моделі: а) низький насип; б) високий насип

Для числового моделювання приймали ті ж вихідні дані, що і для математичного моделювання (див. вище). Проте, зважаючи на більшу можливість числового моделювання та широке зростання, останніх два десятиліття, застосування геосинтетичних матеріалів у дорожньому будівництві, нами було виконано:

а) врахування дорожнього одягу;

б) розрахунки обсипки і засипки труби різними видами ґрунтів;

в) розрахунки обсипки труби піском на висоту від 0,50 м до 1,00 м з кроком 0,10 м при інших ґрунтах насипу і основи;

г) розрахунок армування насипу над трубою геосинтетичними полотнами із середніми показниками: $\gamma_{гм}$ = 14 кН/м^3; $E_{гм}$ = 8800 МПа; $\nu_{гм}$ = 0,4; товщина 0,002 м;

д) розрахунок армування насипу над трубою геосинтетичними обоймами. Розрахункові показники геообойми визначали за залежностями [2, 3].

$$E_{Э1} = \left(E_f F_f + E_m F_m\right) / F_э, \qquad (2)$$

де E_f, E_m – модулі деформації армування і матриці відповідно;

F_f, F_m – площі, заняті армуванням і матрицею в обраному елементі площею $F_э$.

$$E_z = E_f E_m / (E_m V_f + E_f V_m), \qquad (3)$$

де E_m – модуль на стиск ґрунту,

E_f – модуль на розтяг армуючого прошарку,

V_m – вміст в долях одиниці об'єму ґрунту в армованому шарі,

V_f – те ж, армуючого прошарку.

е) врахування зміни товщини обойми в межах від 0,3 м до 0,5 м та її ширини в межах від 3 *d* до 5 *d* (де *d* – діаметр водопропускної труби);

є) розрахунок системи із закладання геосинтетичної обойми на різній висоті над трубою для насипів висотою від 2 м до 12 м;

ж) розрахунок із застосуванням декількох обойм;

з) розрахунок системи із заміною геосинтетичної обойми залізобетонною плитою товщиною.

Деякі результати розрахунку для обємної і плоскої задач наведені на рисунках 3 – 8.

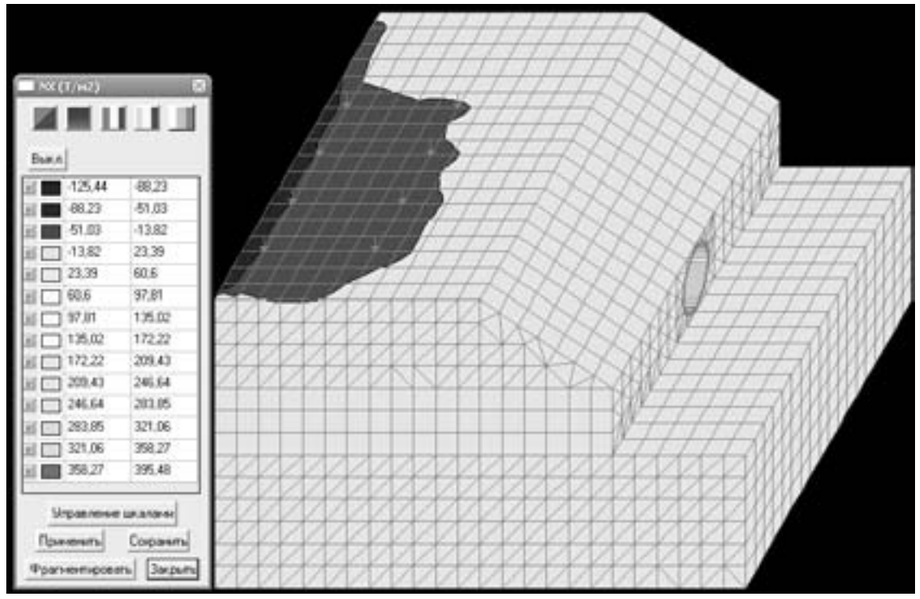


Рисунок 3 – Напруження по осі *Z* від навантаження НК-100, діаметр труби 1,0 м, висота насипу 2,0 м, ґрунт насипу суглинок

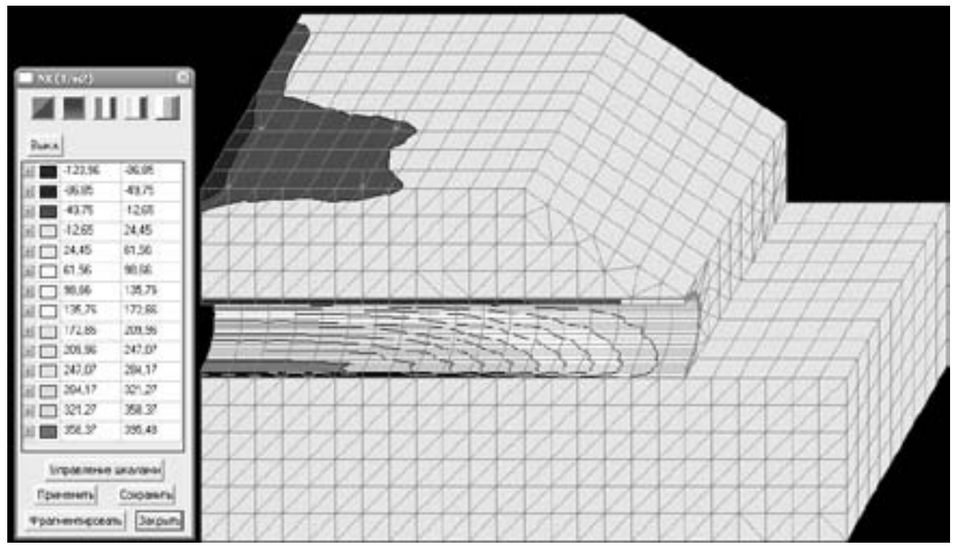


Рисунок 4 – Напруження по осі *Z* від навантаження НК-100 по перерізу труби

Рисунок

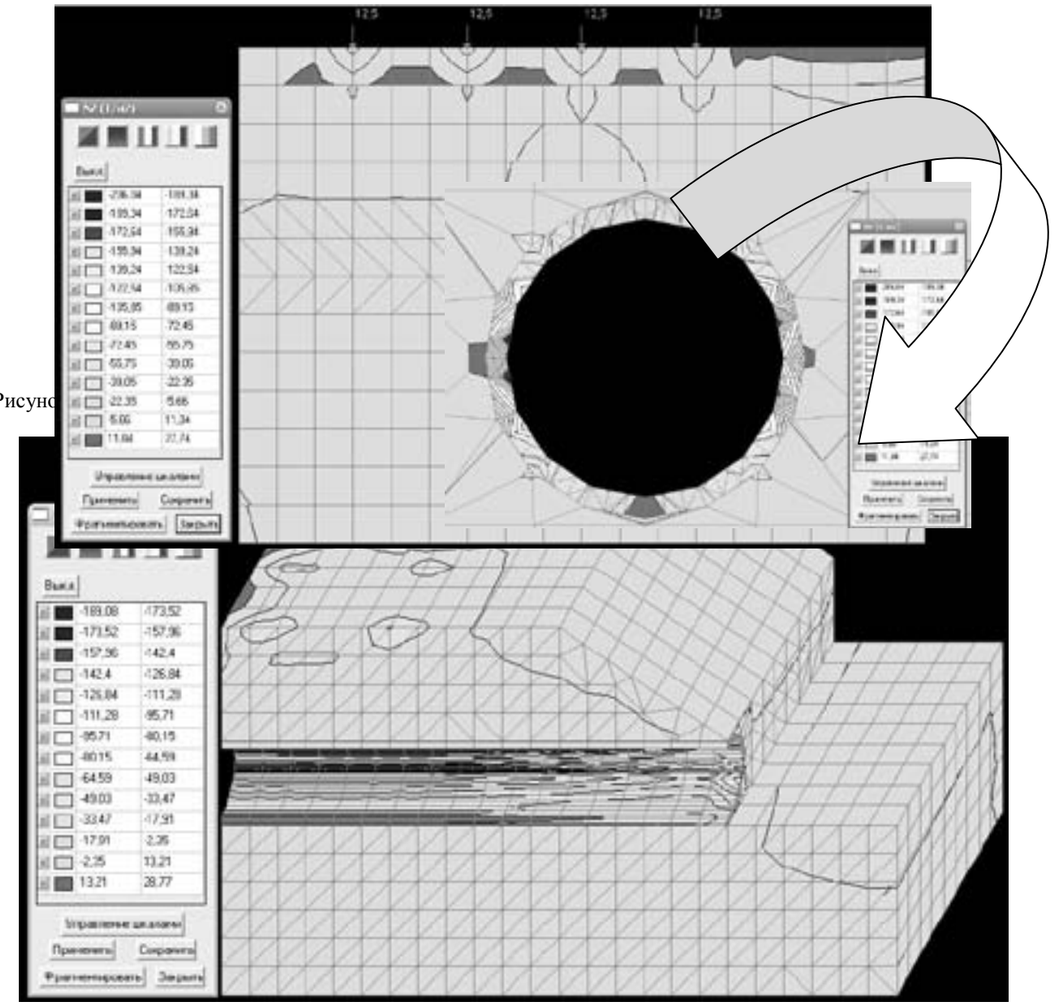


Рисунок 6 – Напруження по осі *Z* від навантаження НК-100, діаметр труби 1,0 м, висота насипу 2,0 м, армований геотекстилем, ґрунт насипу суглинок

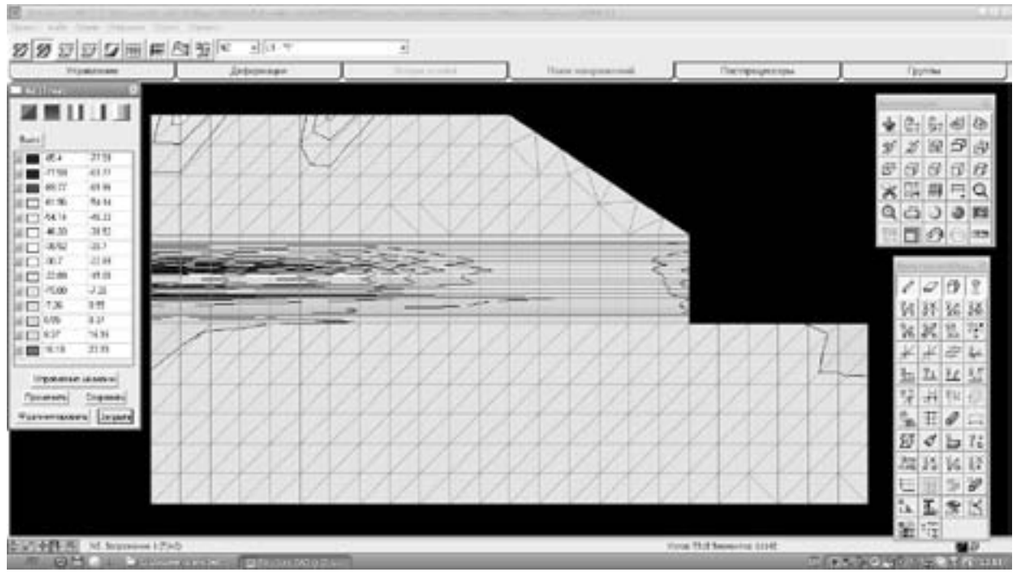


Рисунок 7 – Напруження по осі *Z* від навантаження НК-80, діаметр труби 1,0 м, висота насипу 2,0 м, грунт насипу суглинок (плоска задача)

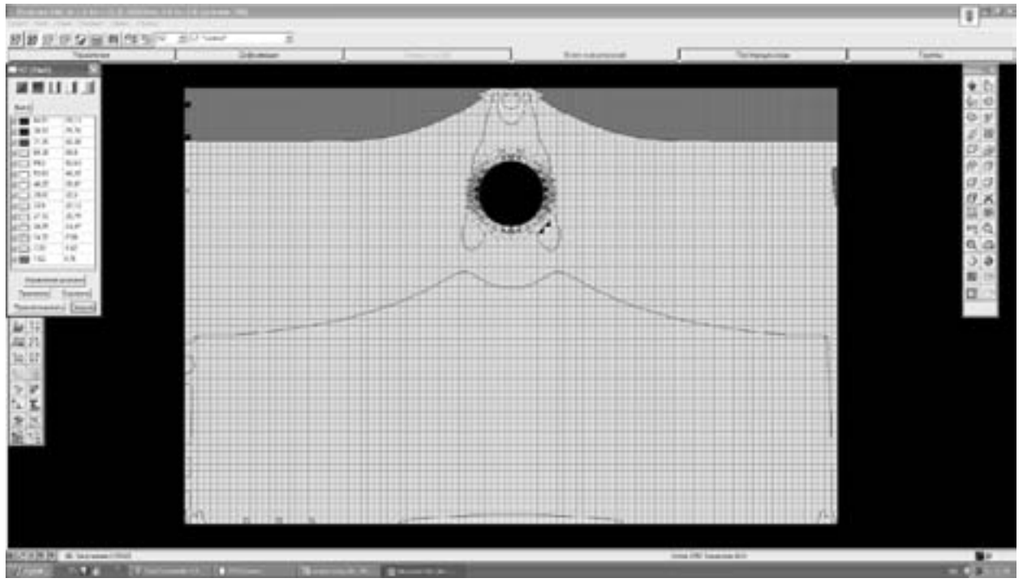


Рисунок 4 – Напруження по осі *Z* від навантаження НК-100, діаметр труби 1,0 м, висота насипу 2,0 м, грунт насипу суглинок (плоска задача)

ВИСНОВКИ

За результатами математичного моделювання та з аналізу отриманих даних можна зробити такі висновки:

1. При зміні висоти засипки (висоти насипу) спостерігається, що природно, збільшення тиску на споруду, причому при збільшені висоти з 0,5 м до 1,0 м всі показники (напруження, моменти в перерізі кільця, поперечні сили тощо) зростають майже у 1,5 рази, а при збільшенні від 1,0 м до 12 м величини цих показників

зростають майже на порядок і сягають для супіску напруження близько 38 тс/м^2; згинаючий момент без врахування зовнішнього навантаження 3,3 тсм, при навантаженні НК-80 і НК-100 – 4,5 тсм при нормованому згідно з [4] – з умови міцності – 6,58 тсм, з умови розкриття тріщин – 8,33 тсм.

2. При одній і тій же висоті засипки труби з меншим діаметром знаходяться у кращому НДС (всі компоненти менші) порівняно із трубами більших діаметрів. Наприклад, для супіску напруження на трубу діаметром 0,75 м без врахування навантаження складає 2,33 тс/м^2, а для діаметра – 1,5 м – 3,29 тс/м^2.

3. При збільшені діаметра труби і висоти засипки напруження навколо труби зростає більш плавно і в меншу кількість разів ніж моменти і нормальні сили.

4. Моменти, що виникають у трубі при 0° і 90°, майже одинакові, але протилежні за знаком. Точка переходу зусиль через нуль лежить в перерізі біля 45°.

5. Напруження і моменти при збільшенні висоти засипки до 1,0 м зменшуються, а потім зростають. Нормальні сили, при збільшені навантаження постійно зростають.

6. Глибина активної зони для навантаження НК (при умові z_{akt}=0,1σ_z) складає близько 4 м, проте уже з глибини 3 м різниця між напруженнями, що створює НК-80 і НК-100 зменшується до 2,5 % і зменшується до нуля при збільшені висоти засипки.

7. При нежорсткій основі зусилля в трубі залежать від її діаметра і зростають з його збільшенням (зростання не пропорційне). При жорсткій основі зусилля змінюються різкіше, але значення їх менші ніж при нежорсткій основі.

8. Нормальні зусилля при низьких насипах майже співрозмірні як при жорсткій, так і нежорсткій основах, а при високих насипах майже у 2 рази менші ніж при жорсткій основі. При невисоких насипах при жорсткій основі моменти, які виникають в трубі більші ніж при нежорсткій основі. При високих насипах вони майже однакові, але зростання при жорсткій основі більш плавніше ніж при нежорсткій. При жорсткій основі моменти при збільшенні насипу у 5 разів збільшуються у 2 рази, при нежорсткій основі – у 6 разів, тому при жорсткій основі труба працює у більш сприятливому напружено-деформованому стані.

9. Раціональним кутом обхвату труби при нежорсткій основі є кут 180^0 в незалежності від висоти насипу і діаметра труби. При жорсткій основі раціональним є кут обхвату близький до 90^0 і при цьому ґрунт засипки немає значення.

10. Для засипки труби краще використовувати ґрунт, що має більші модуль пружності (деформації) і кут внутрішнього тертя (наприклад пісок), про що свідчать менші величини компонентів НДС.

За результатами числового моделювання та з аналізу отриманих даних можна зробити такі висновки:

1. При зміні висоти засипки (висоти насипу) спостерігається таж зміна зусиль, що і при математичному моделюванні.

2. Напруження при однаковій висоті засипки майже однакові для різних діаметрів.

3. При збільшенні висоти насипу, спостерігається таж тенденція, що і при математичному моделюванні, спочатку напруження зменшуються при зміні висоти засипки від 0,5 м до 4,0 м, а потім зростають. Таж тенденція спостерігається і для деформацій.

4. Аналіз трьох видів ґрунтів засипки свідчить (менші компоненти напруження), що раціональним ґрунтом для обсибки є пісок.

5. Армування обсипки одиничним полотнами не покращує напружено-деформований стан системи.

6. Застосування геосинтетичної обойми покращує напружений стан системи, що видно із більш рівномірного розподілу ізоліній напружень і деформацій.

7. Зміна товщини обсипки з 0,3 м до 0,5 м не призводить до суттєвого покращення НДС системи. Так само, як збільшення ширини обойми з трьох діаметрів труби до п’яти діаметрів труби.

8. Наявність геосинтетичної обойми дозволяє покращити розподіл деформацій при зростанні зовнішнього навантаження, у даному випадку від НК-80 до НК-100.

9. Застосування залізобетонної плити (товщиною 0,2 м) над трубою на висоті 0,5 м дозволяє суттєво покращити НДС системи – рівномірні деформації і плавна зміна напружень. Проте, абсолютні значення цих компонентів зросли майже на 30 %. Ця закономірність стосується тільки насипів до 5 м.

10. Застосування двох геосинтетичних обойм товщиною 0,3 м і кроком 0,5 м призводить до однакового розподілу напружень, як і при застосуванні залізобетонної плити, але розподіл напружень гірший, тому їх застосування не є доцільним.

11. Для насипів висотою 5 м і вище не є доцільним застосування геосинтетичних обойм або залізобетонних плит над водопропускними трубами, оскільки вони не призводять до суттєвого покращення НДС системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чечуга О.С. Удосконалення методу проектування круглих водопропускних труб на автомобільних дорогах: дис. … канд. техн. наук: 05.22.11 / Чечуга Олександр Сергійович. – К., 2010. – 225 с.
2. Тимофеева Л.М. Армирование грунтов (теория и практика применения). Ч.1. Армирование основания и армогрунтовые подпорные стены / Тимофеева Л.М. – П.: ППИ. 1991. – 478 с.
3. Рубан О.А. Устойчивость слоистых грунтовых сооружений на деформируемом основании: Монография / Рубан О.А. – Днепропетровск: ПГАСиА, 2005. – 182 с.
4. Звенья железобетонные круглых и прямоугольных водопропускных труб под железные и автомобильные дороги. Технические условия: ОСТ 35-27.0-85. – Введ. 01.07.86 до 01.07.91 Группа Ж33. – М.: Минтранс СССР, 1986. – 32 с.

УДК 622.1 :625.745.2

Шилін І.В., канд. техн. наук, **Грицук Ю.В.**, канд. техн. наук

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПІДБОРУ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ВОДОПРОПУСКНИХ ТРУБ НА ТЕХНОГЕННО-ДЕФОРМОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ

Анотація. В статті розглянуто актуальну проблему підбору конструктивних елементів водопропускних труб при проектуванні автомобільних доріг на техногенно-деформованих територіях. Запропоновано алгоритм аналізу лінійних переміщень при розрахунку елементів системи «навантаження – насип – труба - основа»

Ключові слова: автомобільна дорога, водопропускна труба, зрушення земної поверхні, техногенно-деформовані території, метод скінчених елементів, переміщення, деформація

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема выбора конструктивных элементов водопропускных труб при проектировании автомобильных дорог на техногенно-деформированных территориях. Предложен алгоритм анализа линейных перемещений при расчете элементов системы «нагрузка – насыпь – труба - основание».

Ключевые слова: автомобильная дорога, водопропускная труба, сдвижение земной поверхности, техногенно-деформированные территории, метод конечных элементов, перемещение, деформация.

Abstract. The article deals with the problem of choosing design elements of culverts in the design of roads on techno-deformed areas. The algorithm for the analysis of linear displacement in the calculation of the elements of the system "load - mound - tube - foundation" is shown.

Keywords: road, culvert, land surface displacement, technologically-shaped territory, finite element method, the movement, deformation.

Актуальність питання. Згідно даних Державної служби автомобільних доріг України – Укравтодор, станом на 01.01.2009 року, кількість водопропускних труб на автомобільних дорогах України сягає 129 631 шт, тобто приблизно 0,8 труби на один погонний км автомобільної дороги. Більшість з них розташована на територіях із змінним рельєфом, що є також характерним для східної України.

В місцях розробки корисних копалин підземним способом (Донецька, Луганська обл.) відбувається техногенна деформація земної поверхні, яка призводить до значних змін в формі рельєфу, а відповідно і в умовах функціонування інженерних споруд [1, 2], що, в свою чергу, призводитиме до їх передчасного руйнування. Особливості конструкції водопропускних труб, які розташовані на автомобільних дорогах та підпадають під вплив зрушення товщі гірських порід внаслідок розробок корисних копалин підземним способом, пояснюють значні матеріальні витрати на відновлення робочого стану та досить тривалі терміни виконання цих робіт.

Таким чином, вибір оптимальної конструкції водопропускних труб, що розташовані на автомобільних дорогах на техногенно-деформованих територіях є актуальною задачею, яка потребує вирішення.

Стан питання. Питаннями захисту інженерних споруд натехногенно-деформованих територіях в тій чи іншій мірі займалися багато фахівців суміжних галузей будівництва. Однак, захист інженерних споруд на автомобільних дорогах, в наступний час, практично не має нормативного обґрунтування (виключенням є мостові споруди для яких є методики розрахунку та положення для проектування). Такий стан проблеми характеризується як об’єктивними так і суб’єктивними причинами.

Покращити стан захисту інженерних споруд на автомобільних дорогах, які розташовані на техногенно-деформованих територіях, можливо двома шляхами: методом паралельного переносу методик, які розроблені в суміжних областях будівництва або адаптацією сучасних математичних методів з використанням просторової схеми вирішення інженерних задач.

Таким чином метою статті є розробка алгоритму підбору конструктивних елементів водопропускної труби на автомобільній дорозі, яка підпадає під негативний вплив розробки корисних копалин підземним способом.

Основний матеріал. Форма процесу зрушення земної поверхні внаслідок розробки корисних копалин підземним способом відбувається за фізичними закономірностями, які описуються, з різним ступенем ймовірності, чисельними математичними рівняннями [3, 4]. Таким чином, прогнозування процесу деформації основи, з достатньою для інженерних розрахунків точністю, нормативно обґрунтоване та не визиває труднощів. Але, при проектуванні будівництва нових водопропускних труб на автомобільних дорогах або при реконструкції існуючих ці данні зазвичай не враховуються.

Також слід відзначити, що якимось чином впливати на процес розробки корисних копалин або на збереження охоронних циліків під автомобільними дорогами не має можливості, тому єдиним можливим рішенням є розробка запобіжних мір (в тому числі і підбір конструктивних елементів за оптимальними геометричними розмірами), які б зменшили негативний вплив на працездатність споруд протягом всього терміну експлуатації.

До таких запобіжних засобів можливо віднести: підбір раціональних матеріалів; визначення раціонального розташування споруди; підбір найбільш раціональних за геометричними параметрами конструктивних елементів водопропускних труб (з метою зменшення лінійних параметрів деформацій - вертикального осідання ланок або їх горизонтального переміщення - стискання/розтягання тіла труби чи поворот ланок).

Згідно із вимогами [5] рекомендовано застосовувати фундаментну конструкцію під оголовками та ланками водопропускних труб на автомобільних дорогах.

Розрахункова схема деформації водопропускної труби на автомобільній дорозі, яка розташована на техногенно-деформованих територіях, наведена на рис. 1.

Розв’язання задачіздійснюватиметься в програмного комплексу SCAD з використанням методу скінчених елементів (МСЕ) у просторовому вигляді.

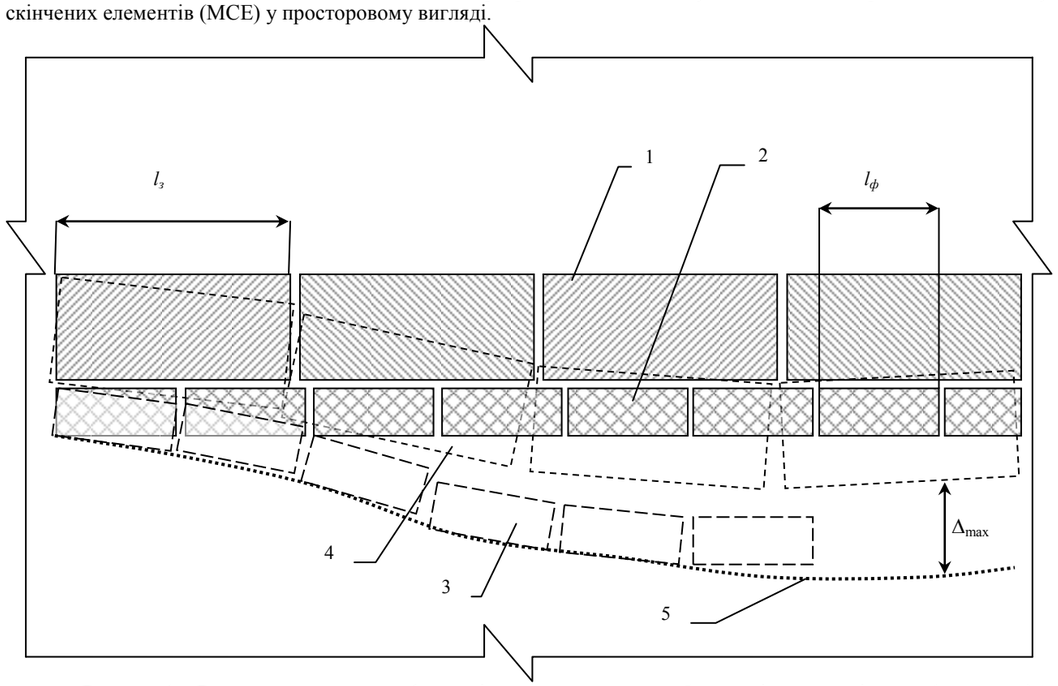


Рисунок 1 – Розрахункова схема деформації водопропускної труби внаслідок переміщення (зрушення) основи: 1 – проектне положення ланки труби; 2 – проектне положення блоку фундаменту; 3 – положення блоку фундаменту після переміщення; 4 – положення ланки труби після переміщення; 5 – очікувана лінія опису переміщення основи; $l_з$ – довжина ланки труби; $l_ф$ – довжина блоку фундаменту; Δ_{max}– максимальне значення вертикального переміщення на ділянці.

Для спрощення розрахунку приймаємо декілька припущень:

- в якості моделі зрушення земної поверхні прийнята симетрична мульда осідання;
- в розрахунках розглядаються деформації, що пов’язані із руйнуванням конструкцій труби та її цілісністю (зміна форми ланок труби, поздовжні та поперечні тріщини в ланках труби, руйнування захисного шару та оголення арматури в тілі труби, деформація або руйнування оголовків, випадки повного руйнування ланок труби, розтягнення ланок труби уздовж осі, просідання тіла труби відносно оголовків, просідання окремих кілець в тілі труби, просідання насипу над трубою);

- в розрахунках розглядаються тільки «жорсткі» труби (залізобетонні) – тобто для яких виконують розрахунки без урахування деформацій конструктивних елементів самої споруди;
- розрахунок виконується за другою групою граничного стану споруди – за деформаціями основ і фундаментів;
- в якості моделі основи прийнята модель реальної ґрунтової споруди або основи – це модель, що базується на чисельних методах, які дозволяють отримувати достатньо близькі до аналітичних рішення розподілу напружень під дією розподілених і зосереджених сил без розробки аналітичної залежності, в нашому випадку за допомогою МСЕ.

Факторами, які будіть піддаватися варіюванню прийняті:

- висота засипки над трубою;
- довжина ланки труби;
- діаметр отвору ланки труби;
- форма оголовків ланки труби;
- довжина лекального блоку фундаменту труби;
- ширина лекального блоку фундаменту труби;
- товщина лекального блоку фундаменту труби;
- товщина щебеневої «подушки» під фундаментом ланок труби та оголовків.

Відомо [6], що розрахункова модель конструкції МСЕ складається з двох частин: розрахункової схеми і набору апроксимуючих функцій. За розрахункову схему можна вважати графічне або зорове представлення конструкції, складене з набору скінченних елементів (СЕ), зв'язків між ними, і граничних умов закріплення.

Напружений і деформований стан розрахункової моделі водопропускної труби розглядається як лінійна комбінація станів окремих елементів системи «навантаження – насип – труба – основа», що задовольняє умовам спільності деформації і рівноваги.

Загальний алгоритм складання розрахункової моделі системи для вирішення запропонованої задачі за допомогою МСЕ складається із конструктивного рішення у вигляді розрахункової схеми, кодування всієї інформації про розрахункову модель і одержання ряду числових масивів, кожен з яких має певний смисловий зміст:

1. загальний опис системи і задачі в цілому;
2. структура системи;
3. геометрія системи;
4. граничні умови;
5. характеристики матеріалів;
6. дані про навантаження;
7. дані для обробки результатів.

Для моделювання роботи підсистеми «основа – труба» застосовується модель пружного напівпростору, тобто, ґрунт є лінійно-деформованим середовищем, а конструктивні елементи водопропускної труби володіють властивостями залізобетону.

Алгоритм задавання лінійних переміщень для розрахунку підсистеми «основа - труба» виконується в наступній послідовності (рис. 2).

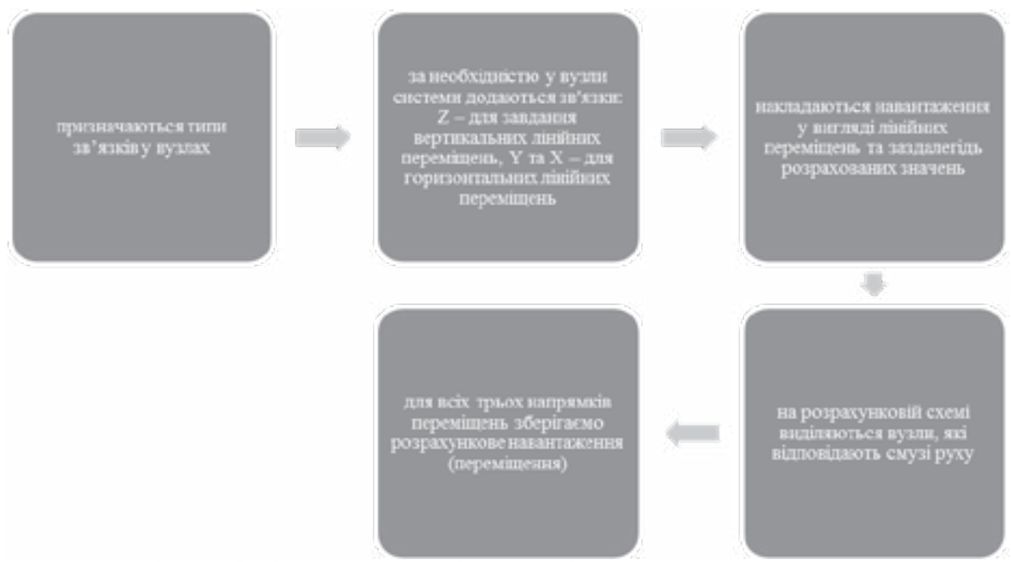


Рисунок 2 – Схема задавання лінійних переміщень для підсистеми «основа-труба».

Класична задача із використанням МСЕ основана на обмежені переміщень та кутів повороту вузлів, тобто забезпечується стабільність основі (її недеформативність). В постановці, що розглядається основною задачею є навпаки, відома деформативність основи (лінійні параметри зрушення в горизонтальній та вертикальній площині), що викликає певні труднощі при накладанні граничних умов при розрахунку ґрунтового напівпростору.

Таким чином, виникла необхідність використання МСЕ за відомими значеннями переміщень вузлів. Для розрахунку на задані зміщення зв'язків в SCAD передбачено використання нуль-елементів. Вони є комбінацією послідовно сполучених один з одним пружин додатної (С) та від'ємної (-С) жорсткості. Оскільки для послідовно сполучених елементів піддатливості 1/С і 1/(-С) підсумовуються, то отриманий елемент сумарної нульової піддатливості є абсолютно жорстким зв'язком по відношенню до взаємного зсуву його крайніх вузлів. Якщо в якості зовнішньої дії на систему необхідно прикласти примусове переміщення пари зовнішніх вузлів на величину Δ, відповідно буде достатньо прикласти до внутрішнього вузла нуль-елемента силу Р = СΔ і зрівноважити її в іншому вузлі.

Отже, розрахунок на задане переміщення еквівалентний розрахунку на силу Р, прикладену у вузлі, за напрямком, співпадаючим з переміщенням Δ.

Ґрунтуючись на результатах досліджень [7] системи «основа-труба» за допомогою МСЕ, для подальшого розрахунку були прийняті прямокутні елементи з розміром сторін 10×10×10 см.

Після виконання наведеного алгоритму з'являється можливість виконання лінійного розрахунку та отримання ізолінії напружень.

В результаті варіантного підбору конструктивних елементів водопропускної труби (з урахуванням варіативних факторів) є можливість отримання оптимальної (за геометричною ознакою) конструкції, яка б враховувала параметри зрушення земної поверхні (деформативність основи) та містила мінімальні вертикальні та горизонтальні деформації.

Висновки. Запропонований алгоритм підбору конструктивних елементів водопропускних труб на автомобільних дорогах, розташованих на техногенно-деформованих територіях дозволить більш раціонально використовувати існуючі типові розміри елементів конструкції для зменшення негативних наслідків зрушення земної поверхні внаслідок підземних гірничих робіт, а в деяких випадках і повністю їх компенсувати.

ЛІТЕРАТУРА

1. Иофис М.А. Сдвижение земной поверхности и охрана сооружений во Львовско-Волынском бассейне/ М.А. Иофис// Уголь Украины.–Л.: 1962. – №12. – С.22-24.
2. Исследование сдвижений и деформаций горных пород и земной поверхности для рекомендаций по проектированию и строительству автомобильных дорог на подрабатываемых территориях.: Отчёт по НИР./ ГФ ДПИ -№ГР 75064881. –г. Горловка, 1980. – 203с.
3. Правила підробки будівель, споруд та природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом: ГСТУ 101.00159226.001-2003. – [Чинний від 2003–11–22] – К. :Мінпаливенерго України, 2003. – 126 с.– табл. – (Національні стандарти Україні). – Текст: рос., укр.
4. Колбенков С.П. Аналитическое выражение типовых кривых сдвижения поверхности / С.П. Колбенков– Л.: сб. трудов ВНИМИ., 1961г. – вып. №43 – С.46-49.
5. Мости та труби. Основні вимоги проектування ДБН В.2.3-22:2009 – [Чинний від 20095-11-11]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 73 с– (Державний стандарт України)
6. Городецкий А.С. Метод конечных элементов в проектировании транспортных сооружений / А.С. Городецкий, В.И. Заворицкий, А.И. Лантух-Лященко, А.О.Рассказов. – М.: Транспорт, 1981. – 144 с.
7. Попов А. Н. Характерні деформації водопропускних труб автомобільних доріг / А.Н.Попов, Б.І. Злочевський, А.Б. Ліневич – тр. СоюздорНДІ, 1972. – Вип. 59. – 180 с.

УДК 628.39

Юрченко В.А., д-р техн. наук, **Михайлова Л.С.**, **Ячник М.В.**

ЗАЩИТА ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЛИВНЕВЫМИ СТОКАМИ С МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ВОДОТОКАХ

Анотація. В експериментальних дослідженнях установили, що під час дощу зливові стоки з мостових споруджень у 2-6,4 рази підвищують концентрацію завислих речовин і нафтопродуктів у річковій воді. Механічна обробка (фільтрування через природні матеріали) не забезпечує очищення поверхневих стоків такого складу до нормативних вимог.

Ключові слова: зливовий стік з мостів, забруднення водотоків, охорона поверхневих вод, механічні методи очищення, фільтруючий патрон.

Аннотация. В экспериментальных исследованиях установили, что во время дождя ливневые стоки с мостовых сооружений в 2-6,4 раза повышают концентрацию взвешенных веществ и нефтепродуктов в речной воде. Механическая обработка (фильтрование через природные материалы) не обеспечивает очистку поверхностных стоков такого состава до нормативных требований.

Ключевые слова: ливневой сток с мостов, загрязнение водотоков, охрана поверхностных вод, механические методы очистки, фильтрующий патрон.

Abstract. It has been found in experimental studies, that storm runoff from bridges increase the concentration of suspended solids and petrochemicals in the river water in 2-6,4 times in the rain. The mechanical processing (filtering through natural materials) does not provide cleaning of the surface runoff of this composition to the regulatory requirements.

Keywords: storm runoff from bridges, polluting of the watercourse, protection of surface water, mechanical cleaning methods, the filter cartridge.

К числу наиболее значимых социально-экономических последствий модернизации и развития сети автомобильных дорог в Украине можно отнести сокращение негативного влияния транспортно-дорожного комплекса на окружающую среду. Проблема очистки ливневых и талых вод с полотна шоссейных дорог вне города довольно мало изучена. Даже в развитых европейских странах вопрос о необходимости очистки поверхностного стока с шоссейных дорог, проходящих вне города, был поставлен на повестку дня только в последние годы. Вместе с тем при строительстве и эксплуатации шоссейных дорог первой категории при интенсивности транспортного потока 80000 – 100000 автомобилей в сутки загрязнение ливневых и талых сточных вод нефтепродуктами, взвешенными веществами, тяжелыми металлами достигает экологически опасных уровней. Особенно остро стоит вопрос по очистке ливневого стока с мостов и эстакад при пересечении рек и водоемов [1].

Основными загрязняющими компонентами поверхностного стока, формирующегося на поверхности автомобильных дорог, являются смываемые с поверхностей пыль, бытовой мусор, вымываемые компоненты дорожных покрытий, продукты истирания шин, а также нефтепродукты. Концентрации загрязняющих веществ в ливневых водах по разным источникам существенно отличается. Так, концентрации взвешенных веществ в поверхностных сточных водах по данным разных источников колеблются от 53 до 20000 мг/дм^3, содержание нефтепродуктов – от 6 до 87,5 мг/дм^3 [1]. Большой диапазон разброса концентраций объясняется большим разнообразием условий загрязнения и отсутствием унифицированных методов измерений. Но при всех приведенных концентрациях сброс неочищенных ливневых вод с дороги в реки согласно «Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами, затверджені постановою Кабінету Міністрів України від 25.03.99 № 465» [2] и «Рекомендацій по запобіганню забруднення довкілля поверхневими стоками з автомобільних доріг РБ 2.2-218-03450778-310-2004» [3] не допустим.

Цель данной работы – экспериментальная оценка загрязнения речных вод после мостовых переходов и прогнозная оценка предлагаемых способов очистки ливневого стока с мостов при пересечении рек и водоемов. Контроль химического состава речных вод выполняли согласно нормативным методикам по анализу поверхностных вод в Украине [4].

В настоящее время именно воздействием транспорта в значительной мере определяется качество вод пересекаемых водотоков [1, 5]. Как показали наши данные контроля состава речных вод (во время дождя) до и после моста в г. Харькове (табл.1), загрязнение воды в р. Харьков после пересечения трассы увеличивается и достигает значений, превышающих ПДК по всем контролируемым показателям (концентрации взвешенных веществ, нефтепродуктов, аммонийного азота и ХПК), что согласуется с данными российских специалистов [1]. Суммируя наши данные и данные [1], можно заключить, что концентрации взвешенных веществ и нефтепродуктов в речной воде после пересечения мостовых переходов повышаются в 2-6,4 раза.

Таблицы 1 – Влияние на состав речных вод пересечения с мостовыми переходами

Водные объекты и документы, нормирующие концентрации загрязнений при сбросе сточных вод в водоемы	Показатели							
	Взвешенные вещества.		Нефтепродук-ты, мг/дм^3		ХПК, мг/дм^3		Азот аммоний-ный, мг/дм^3	
	До моста	После моста	До моста	После моста	До моста	После моста	До моста	После моста
р.Харьков	21	53	0,2	0,4	30	80	0,8	1,4
р.Охта [1]			0,3	1,94				
ПДК для водоемов культурно-бытового назначения	+0,75		0,3		Не нормир.		2,0	

ПДК для водоемов рыбо-хозяйственного назначения	+0,75	0,05	Не нормир.	0,5
ПДК (приказ №451 Минагрополитики и продовольствия Украины) [6]	25 мг/дм^3	Не нормир.	50	0,5-1,0

Одной из задач водоочистки является сокращение сброса загрязненных ливневых стоков с мостов автомобильных дорог. Для решения этой задачи необходимо предусматривать устройство соответствующих очистных сооружений при проектировании автодорожных мостов. Согласно исследованиям, проведенным ФГУП «РОСДОРНИИ», при строительстве и реконструкции мостов на территории РФ в настоящее время применяются несколько типов очистных сооружений (рис. 1).

Рисунок 1 - Сооружения, используемые при очистке ливневых стоков на мостовых переходах [7]

Для обработки смывов с мостовых переходов в первую очередь строятся очистные сооружения индивидуального проектирования из сборного и монолитного железобетона. Это вызвано тем, что в дорожной отрасли отсутствуют конкретные требования к очистным сооружениям, поэтому их проектирование и строительство выполняется по типу, используемому для промышленных предприятий [7].

Из приведенных на рис. 1 очистных сооружений наиболее простыми и экономными в исполнении являются устройства в виде комбинированного фильтрующего патрона. Тем не менее, они должны обеспечивать очистку поверхностных сточных вод с мостов до норм сброса в водоемы рыбохозяйственного значения. Применение фильтрующего патрона осуществляется при невозможности размещения очистного сооружения за пределами конструкции моста, с учетом результатов проведения технико-экономического обоснования. Установка фильтрующего патрона осуществляется, как правило, на опорах моста с двух сторон. Сточные воды по двухскатному поперечному профилю моста собираются на лотках вдоль проезжей части, где они стекают в водоприемные решетки, расположенные выше фильтрующего патрона. По водоприемному коллектору загрязненный сток попадает на подающий лоток, по которому стекает на фильтр очистки от крупных предметов и мусора фильтрующего патрона. Затем в среднюю часть фильтрующего патрона, где в процессе прохождения через синтетический или природный фильтрующий материал, происходит осаждение основной части взвешенных частиц и нефтепродуктов. Далее частично очищенные сточные воды поступают в сорбционный блок на основе угольных фильтров, где происходит более глубокое удаление из воды взвешенных веществ и нефтепродуктов. После прохождения фильтров, очищенные сточные воды через выпускной коллектор сбрасываются в водоем [7].

Очистные устройства в виде фильтрующего патрона устанавливают на мостах в Украине, например в Черкасской области на р. Вильшанка (рис.2). Однако данный фильтрующий патрон содержит только

природные фильтрующие материалы (щебень, гравий, песок) и не содержит сорбционного блока, что снижает эффективность очистки от мелкодисперсных загрязнений.

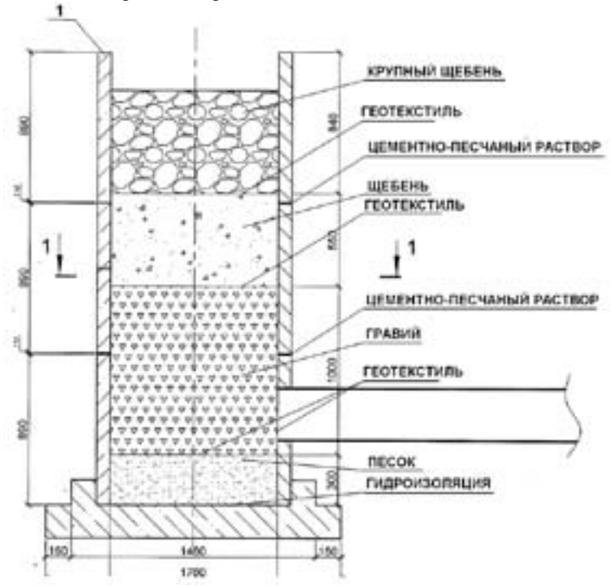


Рисунок 2 - Очистное устройство на мостах

Очистное устройство такого типа является сооружением механической очистки сточных вод, предназначенным для удаления из воды крупнодисперсных суспендированных веществ, в том числе взвешенных веществ и нефтепродуктов. В фильтрах с зернистой загрузкой предусматривается фильтрование сверху вниз, скорость фильтрования достигает 5-10 м/ч. При этом продолжительность использования нерегенерируемого фильтранта составляет не менее 3-4 месяцев. При эксплуатации такого устройства также необходимо предусмотреть решение вопроса утилизации отработанного материала [8]. Загрязнение смывов с автомобильных дорог, принимаемое при расчете и проектировании систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока в Российской Федерации [5], составляет по взвешенным веществам - 1000-3000 мг/дм^3 и по нефтепродуктам – 20-25 мг/дм^3. По данным наших измерений, в г. Харькове смывы с дорожного полотна на мосту в первые 20 мин дождя содержат 150-870 мг/дм^3 взвешенных веществ и 11-41 мг/дм^3 нефтепродуктов. Прогноз надежности защиты природных водоемов от загрязнения сточными водами такого состава с помощью только механических методов очистки (фильтрованием через природные материалы) весьма негативный. Эффект очистки на таких сооружениях составляет до 80% по нефтепродуктам и взвешенным веществам, что не обеспечит достижения нормативно допустимого уровня концентраций по этим загрязнениям. Остаточные концентрации взвешенных веществ и нефтепродуктов после такой обработки согласно расчетом будут составлять:

– 200-600 мг/дм^3 взвешенных веществ и 4-4,5 мг/дм^3 нефтепродуктов (если исходное загрязнение смывов принять по [5]);

– 30-174 мг/дм^3 взвешенных веществ и 2,2-8,2 мг/дм^3 нефтепродуктов (если исходное загрязнение смывов принять по данным наших измерений в г. Харькове).

Эти концентрации превышают допустимые при сбросе поверхностных сточных вод в водоемы культурно-бытового и тем более рыбо-хозяйственного назначения в Украине (25 мг/дм^3 по взвешенным веществам и 0,05- 0,3 мг/дм^3 по нефтепродуктам).

А для удаления специфических загрязняющих компонентов, растворяющихся в воде, - аммонийного азота - необходимо применять специальные методы очистки либо на завершающем этапе очистки, либо использование комбинированных сооружений, включающих сорбцию, биосорбцию или ионный обмен.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Во время дождя ливневые стоки с мостовых сооружений повышают концентрации взвешенных веществ, нефтепродуктов, аммонийного азота и ХПК в речной воде. Загрязнение воды в р. Харьков после пересечения трассы достигает значений, превышающих ПДК по всем контролируемым показателям.

2. Использование только механических методов очистки ливневых смывов с мостов (фильтрование через природные материалы) не позволит достичь ПДС по концентрации взвешенных веществ, нефтепродуктов и аммонийному азоту.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонов Е.А. Проблемы очистки сточных вод с поверхности автомобильных дорог на примере кольцевой автомобильной дороги вокруг Санкт-Петербурга. / Е.А. Леонов, М.С. Михайлова // Жизнь и безопасность. - 2002. - № 3. - С. 280-286.
2. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами, затверджені постановою Кабінету Міністрів України від 25.03.99 № 465.
3. Рекомендацій по запобіганню забруднення довкілля поверхневими стоками з автомобільних доріг РБ 2.2-218-03450778-310-2004.
4. Перелік атестованих та тимчасово допущених до використання методик визначення складу, властивостей та забруднюючих речовин проб природних та стічних вод.
5. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. Федеральное Агентство Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству (РОССТРОЙ). ФГУП «НИИ ВОДГЕО». - Москва. – 2006.
6. Про затвердження Нормативів екологічної безпеки водних об'єктів, що використовуються для потреб рибного господарства. Міністерство аграрної політики та продовольства України. Наказ №471 від 30.07.2012. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 14 серпня 2012 за № 1369/21681.
7. Бобков А.В. Очистка загрязненных ливнестоков на мостах автомобильных дорог / А.В. Бобков, О.А. Бобкова // ДОРОГИ И МОСТЫ. – М.: ФГУП «РОСДОРНИИ», 2011. – № 3. - С. 253 – 261.

З М І С Т

стр.

Бошота В.В. Вплив площі басейну стоку на параметри ексфільтраційних траншей 5

Гамеляк І.П.,Гордієнко А.С. Протиерозійний захист при будівництві та реконструкції автомобільних доріг 11

Дмитренко Л.А.,Гамеляк І.П.,Шатило Т.В., Строкач С.Л Дослідження впливу швидкості навантаження та ширини зразка на механічні властивості термоскріпленого геотекстилю 18

Дубик О.М. Розрахунок на міцність захисних залізобетонних обойм безнапірних труб дощових мереж від дії дорожнього покриття і тиску тягача нк-80 23

Єрмакова І.А. Екологічний підхід при будівництві будівель і споруд на насипах 29

Жук В.М., Павлишин В.Г.Метод гідравлічного розрахунку нестаціонарних гідравлічних процесів у блочних очисних спорудах дощових стічних вод 35

Ільченко В.В.,Слінчук П.Б., Сергєєв О.С. Аналіз стану штучних споруд на території полтавської області, збудованих на початку хх століття 41

Кривенко Ю.М., Елятинський А. О., Кривенко А.Ю. Про необхідність і спосіб контролю температури поверхні аеродромів та автошляхі 44

Кузло М. Т. Моделювання вертикальних зміщень грунтового масиву в процесі його осушення 49

Литвиненко А.С. Про недоцільність використання приладу В.С. Сиралєва для визначення коефіцієнта фільтрації пісків у ДСТУ Б В.2.1-23:2009, та необхідність відмови від влаштування "дренуючих" піщаних шарів в основі дорожніх одягів автомобільних доріг 56

Малахов А.В., Рублев А.В., Старостин С.Н. Оценка кавитационных характеристик поворотных регуляторов расхода 61

Неїло Я.В. вплив форми гідрографу на загальній розмив під мостовими переходами 63

Osiaiev Iu.M.,**Bryk Douglas** The use of the dirichlet distribution in probability statistic methods of research 67

Петрович В.В. Артеменко В.А. До оцінки синхронності коливань річного стоку річок 71

Савенко В.Я.,Славінська О.С., Усиченко О.Ю., Стьожка В.В. Особливості урахування надходження кількості вологи в дренажні конструкції при відтаванні грунту земляного полотна 79

Савенко В. Я., Славінська О. С., Козарчук І. А. Математична модель розгалуженого потоку в зоні впливу мостового переходу з груповими отворами 85

Сліпець О.В. Визначення ефективності використання геотекстилю в дорожньому будівництві за допомогою розподілу діріхле 91

Сорочук Н.И. Анализ методов очистки сточных вод с поверхности автомобильных дорог в инженерных сооружениях 94

Ткачук С.Г., **Башкевич І.В. К**ритеріальне рівняння залишкового розмиву 100

Ткачук С.Г., Євсейчик Ю.Б., Медведєв К.В. Особливості врахування гідростатичного тиску в проектуванні фундаментів мостових опор 103

Ткачук С.Г., **Матвєєва К.Ю.**Види хвиль і побудова кривої вільної поверхні при прориві греблі 109

Чечуга О.С., Каськів В.І., Каськів С.В. Результати математичного та числового моделювання навантажень на круглі водопропускні труби в земляному полотні 112

Шилін І.В., **Грицук Ю.В.** Розробка алгоритму підбору конструктивних елементів при проектуванні водопропускних труб на техногенно-деформованих територіях 119

Юрченко В.А., **Михайлова Л.С.**, **Ячник М.В.** Защита природных экосистем от загрязнения ливневыми стоками с мостовых сооружений на водотоках 122

standartpark®

Для нотаток

Збірник наукових праць

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
Національний транспортний університет

АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ
І ДОРОЖНЄ БУДІВНИЦТВО

Науково-технічний збірник

Заснований у 1964 р.

Випуск 87

Відп. редактор В.Я.Савенко

Комп'ютерна верстка: А.П.Яремов

За стилістику і орфографію статей збірника несуть відповідальність автори

Підписано до друку 20.03.2013
Формат 84ч108/32. Папір офсетний №1
Гарнітура Антиква. Друк офсетний.

Наклад 300. Зам. №

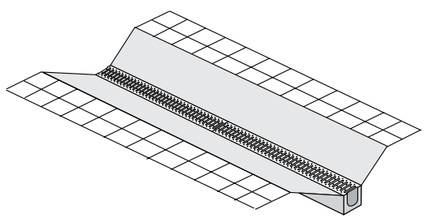
01103, м. Київ, вул. Кіквідзе, 39.
Редакційно-видавничий відділ НТУ, тел. (044) 284-26-26

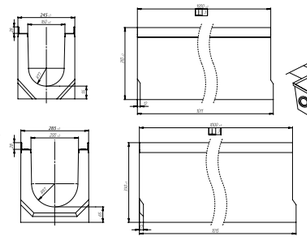
standartpark®
www.standartpark.com.ua

«Стандартпарк» — професійні системи водовідведення для промислового будівництва

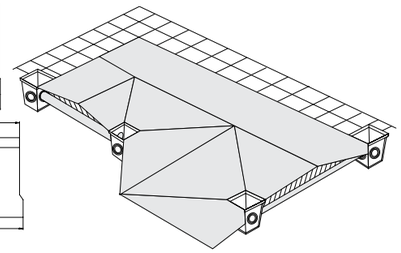
Системи поверхневого водовідводу

Лінійний тип водовідведення

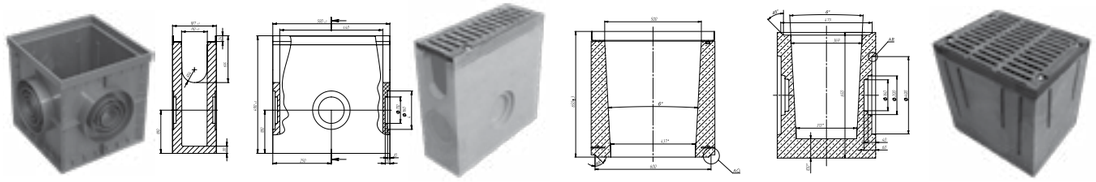




Точковий тип водовідведення

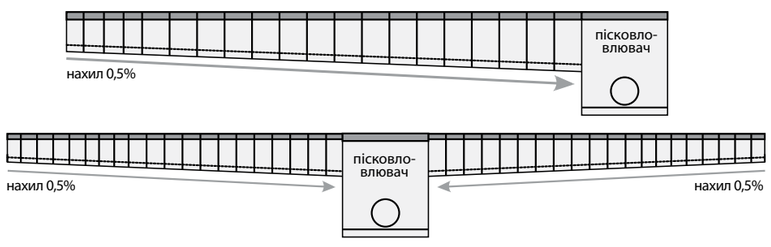


Матеріал	Клас навантаження	Довжина (mm)	Ширина (mm)	Висота (mm)	Вага (кг)	Пропускна здатність (л/с)
бетон, полімербетон, пластик	15-900 kN A-F (згідно EN 1433)	1 000	100-640	55-610	0,8-457	1,35-213,2



Матеріал	Клас навантаження	Довжина (mm)	Ширина (mm)	Висота (mm)	Вага (кг)	Пропускна здатність (л/с)
бетон, полімербетон, пластик	15-900 kN A-F (згідно EN 1433)	500	100-640	55-610	1,1-257	1,35-213,2

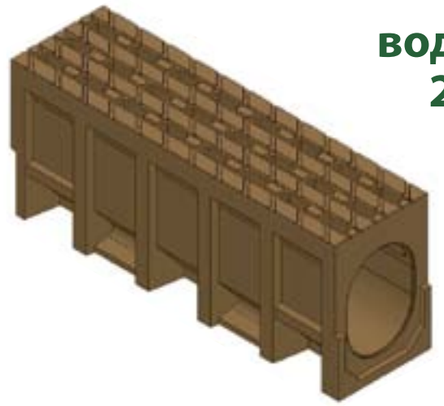
Схема монтажу лінії поверхневого водовідводу

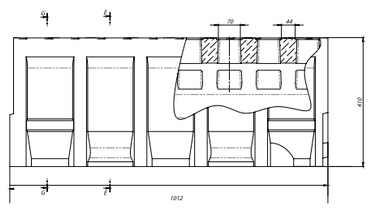


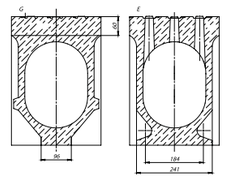
standartpark

ТОВ "Центр Стандарт Парк»
03680, Україна, м. Київ, пров. Приладний, 10
тел./факс: (044) 496-06-52; 496-06-53; 496-06-54
www.standartpark.com.ua

Блок монолітний водовідвідний CompoMax БМВ 20.29.34-П полімербетонний







ПРОФЕСІЙНІ СТАНДАРТИ ВОДОВІДВЕДЕННЯ ДЛЯ ДОРОЖНЬОГО БУДІВНИЦТВА

standartpark®

www.standartpark.ua
тел. (044) 496-06-52