

ВИШУКУВАННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ ДОРІГ ТА ПЕРЕХОДІВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ

УДК 625.731

Савенко В.Я., д-р техн. наук, Славінська О.С., д-р техн. наук, Стьожка В.В.

ІНДИВІДУАЛЬНИЙ ПІДХІД ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ДРЕНАЖІВ МІЛКОГО ЗАЛЯГАННЯ З УРАХУВАННЯМ КЛІМАТИЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ РЕГІОНУ

Анотація. У статті проаналізовано основні фактори, які формують водно-тепловий режим верхньої частини земляного полотна та основи дорожнього одягу. Розглянуто деякі методи визначення основних параметрів дренажних систем мілкового залягання з урахуванням режиму руху рідини, підвищення щільності піщаного шару з часом, особливостей клімату регіону будівництва.

Ключові слова: автомобільна дорога, вологість ґрунту, дренаж, питомий надлишок води, пропускна здатність, режим руху рідини.

Аннотация. В статье проанализированы основные факторы, которые формируют водно-тепловой режим верхней части земляного полотна и основания дорожной одежды. Рассмотрены некоторые методы определения основных параметров дренажных систем мелкого заложения с учетом режима движения жидкости, повышения плотности песчаного слоя со временем, особенностей климата региона строительства.

Ключевые слова: автомобильная дорога, влажность почвы, дренаж, удельный избыток воды, пропускная способность, режим движения жидкости.

Annotation. The article analyzes the main factors that form water-heat treatment of the upper part of the subgrade and base pavement. We consider some methods for determining the basic parameters of occurrence of shallow drainage systems including flow regime, increasing the density of sand layer over time, the characteristics of the region construction.

Keywords: highway, humidity of soil, drainage, specific surplus of water, carrying capacity, mode of motion of liquid.

З початком весни стає очевидною проблема невідповідності транспортно-експлуатаційного стану покриття автомобільних доріг вимогам руху. Серед ряду причин виникнення такої ситуації є недосконалість методів проектування конструктивних елементів дорожньої конструкції.

Як відомо, одними з найбільш важливих показників, що впливають на міцність та деформаційну стійкість ґрунту верхньої частини земляного полотна та, відповідно, всієї дорожньої конструкції (шарів основи та покриття дорожнього одягу, узбіч) є вологість ґрунту та його щільність. Зрозуміло, що їх значення змінюються протягом року нерівномірно у зв'язку зі зміною погодних умов. Даним фактом ні в якому разі не можна нехтувати при проектуванні систем регулювання водно-теплогового режиму.

Цій проблемі у своїх роботах приділяли увагу В.М. Сіденко, О.Я. Тулаєв, І.А. Золотарь, В.І. Рувинський та ін.

Відомо, що порівняно дешевим і конструктивно простим способом регулювання водно-теплогового режиму земляного полотна є влаштування дренажного піщаного прошарку та поздовжнього дренажу мілкового залягання, оскільки правильно розрахована і збудована дренажна система швидко осушить верхню частину дорожньої конструкції в несприятливий період.

На етапі проектування, як правило, визначаються товщина підстильного піщаного дренажного шару та внутрішній діаметр дренажної труби. Правильне їх визначення дає змогу уникнути проблем при експлуатації конструкції, раціонально використати кошти на будівництво та забезпечити оптимальну роботу системи.

Зрозуміло, що вихідною величиною при розрахунках є питомий надлишок води, яка надходить до конструкції в розрахунковий період. Вже на етапі її визначення виникають неточності, зумовлені тим, що нормативним документом, який регламентує вимоги до дренажних систем та послідовність розрахунку їх параметрів [1], передбачено використання номограм та табличних даних, що обмежує індивідуальний підхід при виконанні розрахунку.

У практиці проектування дренажів широкого застосування набули типові проектні рішення [2]. Їх основними недоліками є те, що вони були розроблені ще у 80-х роках ХХ ст., не містять сучасних конструкцій та містять застарілі дані щодо погодних умов.

Проаналізувавши всі можливі джерела зволоження верхньої частини земляного полотна (рис.1), легко зробити висновок, що найбільш небезпечними є стадії водно-теплогового режиму, коли із джерел зволоження діють волога від зимового вологонакопичення, що відтискається із нижніх шарів земляного полотна у весняний період (Q_1); інфільтраційна волога від атмосферних опадів (Q_2), що потрапляє через узбіччя, покриття проїзної частини, розділювальну смугу; капілярна волога (Q_3).

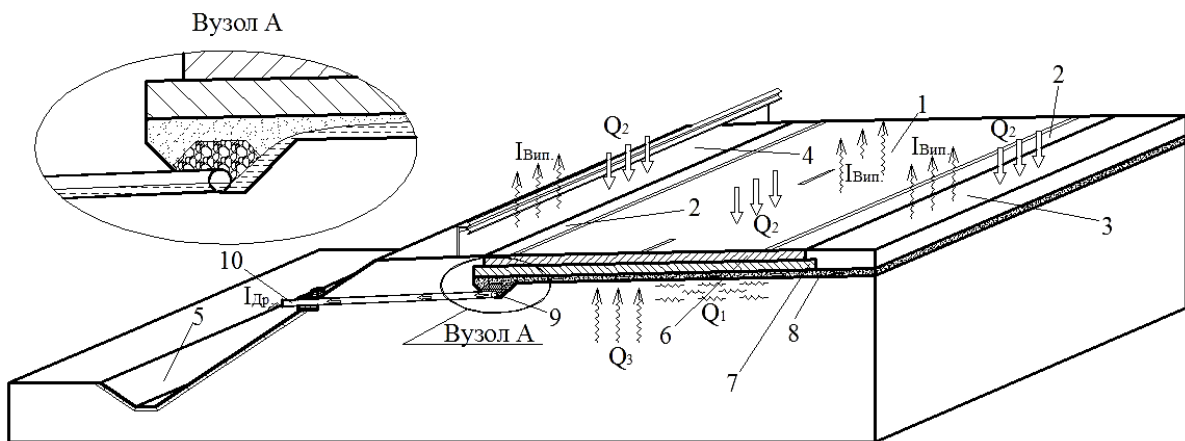


Рис. 1. Джерела зволоження верхньої частини земляного полотна

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

Як правило, при розрахунках основним джерелом зволоження вважається волога від зимового вологонакопичення. Проте, враховуючи той факт, що дорожні одяги автомобільних доріг та конструкції узбіч не забезпечують повної водонепроникності, кількість інфільтраційної вологи від атмосферних опадів може перевищувати кількість вологи від зимового вологонакопичення. З огляду на це стоїть питання визначення розрахункового (найбільш несприятливого) періоду індивідуально для кожного регіону з урахуванням режиму випадання опадів та температурних коливань.



Рис. 2. Місця проникнення води через покриття

Для роботи дорожньої конструкції у сприятливих умовах водно-теплого режиму необхідно, щоб сумарний приток води від різних джерел зволоження (Q_1, Q_2, Q_3) не перевищував кількості води, яка випаровується ($I_{\text{Вип.}}$), йде на змочування поверхонь ($I_{\text{зм.}}$) та відводиться дренажною системою ($I_{\text{др.}}$):

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 \leq I_{\text{Вип.}} + I_{\text{зм.}} + I_{\text{др.}} \quad (1)$$

У залежності від погодних умов та конструкції поперечного профілю автомобільної дороги деякі із доданків нерівності 1 можуть бути відсутні.

Отже, для правильного підбору діаметру дрени та товщини і коефіцієнту фільтрації піщаного дренажного прошарку (підстильного шару основи з піску) необхідно визначити величину $I_{\text{др.}}$ та забезпечити виконання нерівності (1).

Джерелом зволоження Q_3 можна знехтувати, оскільки капілярне підняття у піщаному прошарку незначне і надходження води від даного джерела відсутнє або мале у порівнянні з іншими джерелами.

Для визначення величини Q_1 можна використати залежність, приведену в [3], де говориться, що вода із розтавшого земляного полотна потрапляє в дренажний прошарок, якщо вологість ґрунту в результаті зимового вологонакопичення перевищує величину його повної вологості при потрібній щільності. Об'єм води (л/доба на 1 м² проїзної частини), що звільняється при відтаванні ґрунту під проїзною частиною, визначають за формулою:

$$Q_1 = h_1 (w_{\text{вс}} \cdot \delta_{\text{вс}} - \beta w_T \cdot \delta) K_{\text{II}} \cdot K_{\text{Г}} \cdot 1000, \quad (2)$$

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

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

W_T – вологість, яка відповідає межі текучості ґрунту, в частках 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;

$\delta_{вес}$ – об’ємна вага скелету ґрунту при розрахунковій вологості, г/см³;

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

K_{II} – коефіцієнт пік;

K_T – коефіцієнт гідрологічного запасу.

Величини Q_2 , $I_{Вин.}$, $I_{3м.}$ можна розрахувати за методикою, наведеною в [4, 5]. Кількість надходження вологи в основу проїзної частини (в м³/добу на 1 м) від атмосферних опадів визначається за залежностями:

а) інфільтрація через асфальтобетонне покриття:

$$Q_2^n = \frac{1,5 \cdot H_{en(o)} \cdot a}{500 \cdot T''} \quad (5)$$

б) інфільтрація через ґрунтові узбіччя:

$$Q_2^y = \frac{1,5(H_{en} - H_u)l}{500 \cdot T''} \quad (6)$$

1,5 – коефіцієнт нерівномірності випадання опадів у часі;

a – ширина односкатної або половини двоскатної проїзної частини, м;

l – ширина узбіччя, м;

T'' – тривалість розрахункового періоду, доба;

$H_{en(o)}$ – кількість води, що проникає в покриття за розрахунковий період (в мм);

H_{en} – кількість води, що проникає в узбіччя за розрахунковий період (в мм);

Алгоритм розрахунку, наведений в [4, 5], дає змогу врахувати витрати на випаровування та змочування поверхонь вже на стадії розрахунку Q_2 , тому при

використанні даного методу Q_2 , $I_{\text{Вип.}}$, $I_{3\text{м}}$ об'єднуються у величину Q_2 і залежність (1) приймає вигляд:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 \leq I_{\text{др.}} \quad (7)$$

Чим коротшим буде період, прийнятий для розрахунку, тим більша буде його точність. Тому доцільно розбивати річний цикл на характерні періоди.

Визначення загальної величини надходження вологи в основу проїзної частини авторами статті пропонується проводити в наступній послідовності:

1) будуємо графік зміни температури повітря в річному циклі. Періоди, коли температура повітря нижча за 0°C відкидаються;

2) кількість вологи, що відтискається із нижніх шарів земляного полотна та накопичується у зимовий період враховується в розрахунковий період (протягом весняного розмерзання дорожньої конструкції) відповідно до [1];

3) далі визначається кількість надходження інфільтраційної вологи в основу проїзної частини від опадів;

4) підсумовуючи отримані значення, можна отримати графік зміни загальної величини надходження вологи в основу проїзної частини протягом року;

5) за розрахункове приймається максимальне із отриманих значень.

При розрахунку пропускної здатності кожного з елементів дренажної системи мілкового залягання слід забезпечити виконання так званої «умови неперервності» [6], яка полягає в тому, що для запобігання акумулювання води в конструктивних шарах дорожнього покриття та переповнення дренажної системи необхідно, щоб водовідвідна здатність системи підвищувалася по мірі збільшення притоку, починаючи з моменту надходження вологи і далі по шляху її руху через підстильний піщаний шар основи, трубчаті дрени та випуски.

Авторами виконано розрахунок [7] загальної величини надходження вологи в активну зону земляного полотна від різних джерел зволоження в весняний період для реально існуючого об'єкту та отримано результати, що наведені на рисунку 3.

Подальша робота авторів буде полягати в розробці методів розрахунку пропускної здатності елементів дренажних систем мілкового залягання в залежності від загальної величини притоку вологи.

При розрахунку пропускної здатності окремих конструктивних складових дренажної системи мілкового залягання слід звернути увагу на те, що режими руху рідини в них відрізняються.

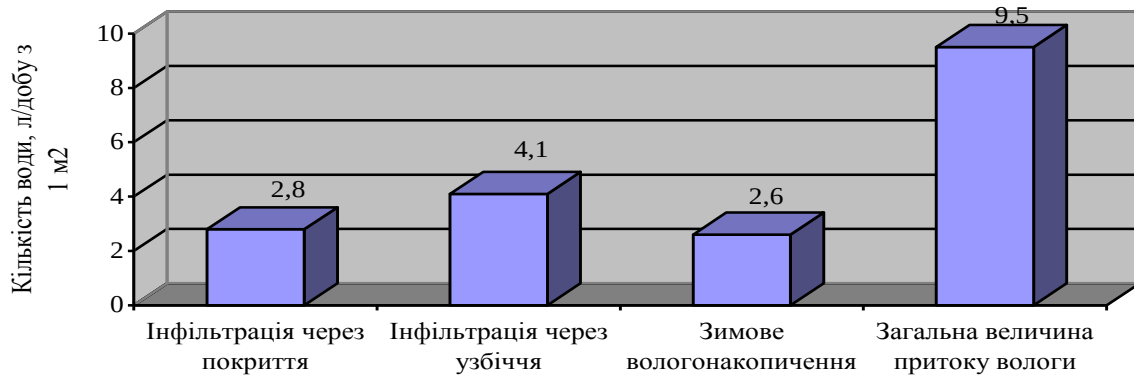


Рис. 3. Результати розрахунку загальної величини надходження води в активну зону земляного полотна від різних джерел

Піщаний шар є водопроникним і складається із окремих часток (піщинок), простір між якими заповнений порами. Як сказано в [8], рух ґрунтової води в пісках і водопроникних глинистих ґрунтах є ламінарним. Тому, якщо для розрахунку пропускної здатності підстильного шару основи з піску можна застосувати формулу Дарсі (через п'єзометричний похил, коефіцієнт фільтрації та площу перерізу), як для ламінарного потоку, то рух води у дренажній перфорованій трубі відбувається за законами турбулентного потоку зі змінною масою (формули 8, 9).

Основоположником теорії руху тіл зі змінною масою вважають І.В. Мещерського, який є автором ряду робіт, присвячених даній темі [9].

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

$$M \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{F} + \frac{dM_1}{dt} (\vec{U}_1 - \vec{V}) - \frac{dM_2}{dt} (\vec{U}_2 - \vec{V}), \quad (8)$$

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

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

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

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

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

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

Одним із найбільш вдалих записів рівняння плавнозмінного неусталеного руху рідини зі змінною масою є рівняння, запропоноване Г.А. Петровим [10]:

$$\frac{\alpha_0}{g} \left(V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(z + \frac{P}{\rho g} \right) + \frac{\alpha_0 (V - \theta)}{gQ} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} V + \frac{\partial Q}{\partial t} \right) + i_f = 0, \quad (9)$$

де α_0 – коректив кількості руху (коефіцієнт Бусінеска);

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

i_f – гідравлічний похил, викликаний дією сил тертя.

Перевагою рівняння (9) перед рівнянням (8) є те, що з його допомогою описується рух потоку рідини, а не окремих її матеріальних точок.

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

Якщо говорити про методики розрахунків, які використовуються в інженерній практиці, то загальноприйнятими [1, 11, 12] вважаються дві принципово різні схеми розрахунку параметрів дренажних систем мілкового залягання. Перша – розрахунок за методом поглинання, друга – метод осушення.

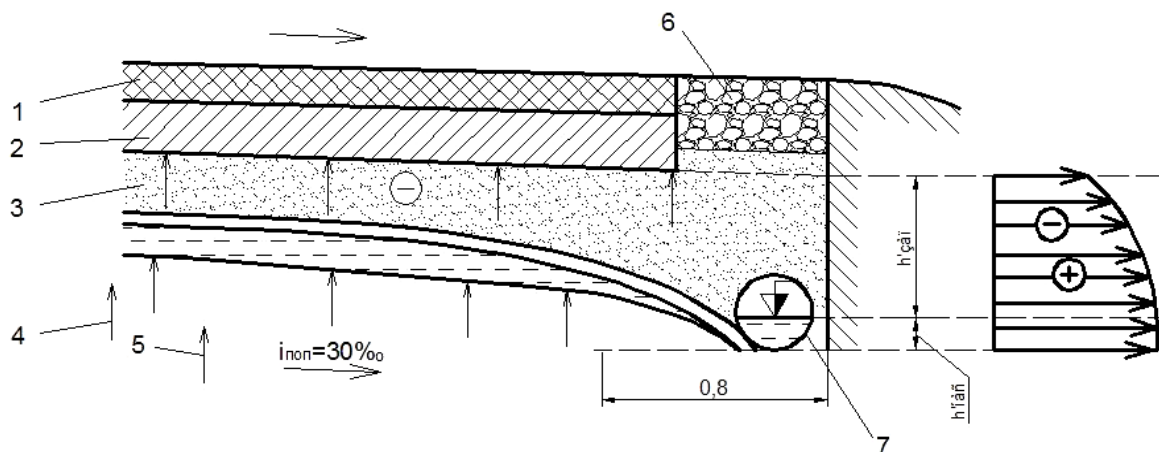


Рис. 4. Розрахункова схема дренаючого шару, який працює за методом осушення
1 – покриття; 2 – основа; 3 – дренаючий шар; 4 – рух капілярної води; 5 – напрям надходження вільної води в дренаючий шар; 6 – крайова смуга

Метод поглинання відображає роботу дренаючих шарів у період розтавання поперечних випусків, а також роботу шарів, з яких не передбачається

відведення води. Тобто розрахований за методом поглинання дренуючий шар повинен забезпечувати розміщення всієї води, яка надходить до основи проїжджої частини в розрахунковий період.

Розраховані за методом осушення дренажні системи мілкового залягання призначені для відведення вологи, що надходить в розрахунковий період до основи дорожньої конструкції.

Вибір для використання дренажу, який працює за методом осушення, передбачає, використання більш якісних матеріалів для підстильного шару та додаткові затрати на влаштування поздовжніх трубчатих дрен та поперечних випусків. При використанні методу поглинання є можливим застосування місцевих матеріалів з нижчими фільтраційними показниками, проте товщина таких шарів вища.

Загальна товщина піщаного дренуючого шару визначається за формулою [1, 3]:

$$h_p = h_{\text{нас}} + h_{\text{зап}}, \quad (10)$$

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

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

Також на стадії проектування дренажної системи слід пам'ятати [11], що з часом щільність матеріалу дренуючого шару підвищується через:

- 1) його ущільнення;
- 2) підвищення вмісту більш дрібних часток, що є наслідком подрібнення і перетирання найкрупніших зерен дренуючого матеріалу;
- 3) його забруднення ґрунтовими частками, які рухаються разом з водою у зваженому вигляді.

Автори статті пропонують загальну товщину піщаного прошарку визначати з урахуванням зменшення фактичної товщини піщаного шару Δh , яке можна розрахувати за емпіричною формулою [12]:

$$\Delta h = \frac{NTK_N v_B}{N_p} \quad (11)$$

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

T – перспективний строк служби дорожніх одягів;

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

N_p – вантажонапруженість, млн. брутто-тон;

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

Величина $h_{нас}$ у випадку розрахунків за методом поглинання і осушення розраховується по різному.

При розрахунку дренажного шару за методом осушення основне рівняння для визначення розрахункового максимального значення глибини фільтраційного потоку в дренажному шарі має наступний вигляд [11, 12]:

$$h_{нас} = l \left[\sqrt{\left(\frac{h_2}{l} \right)^2 - i \left(\frac{h_2}{l} \right) + C_{зв.}} \right] \times \exp \left[-\frac{i}{2a} \left(\frac{\pi}{2} - \arctg \frac{\frac{h_2}{l} - \frac{i}{2}}{a} \right) \right] \quad (12)$$

i – проектний похил корита, в сотих долях одиниці;

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

l – відстань від осі дороги до перерізу, що розглядається, м;

$C_{зв.}$ – ступінь зволоження, рівна:

$$C_{зв.} = \frac{Q_{заг}}{K} \quad (13)$$

K – коефіцієнт фільтрації піску, м/добу;

$Q_{заг}$ – загальний питомий надлишок води, м³/добу з 1 м² проїзної частини (див. розділ 5);

a – безрозмірна величина, що дорівнює:

$$a = \sqrt{C_{зв.} - \left(\frac{i}{2} \right)^2} \quad (14)$$

Слід звернути увагу, що шар, який працює за принципом осушення, також перевіряють на роботу за принципом поглинання в період розтавання

поперечних випусків. Відповідно до [11], на дорогах з добре організованою службою утримання при осушенні дренуючого шару трубчатими дренами тривалість розтавання поперечних випусків води приймають рівною не менше трьох діб при удосконалених типах покриттів, і не менше двох – при перехідних.

Згідно з [3], для забезпечення тимчасового розміщення води в піску в початковий період розтавання товщину дренуючого шару визначають за формулою:

$$h_{\text{поч}} = h_{\text{нас}} + h_{\text{зап}} = \frac{1}{1 - \varphi_{\text{зим}}} \left[\frac{Q}{n} + h_{\text{зап}} \cdot (1 - \varphi_{\text{к}}) \right], \quad (15)$$

де $\varphi_{\text{зим}}$ – коефіцієнт заповнення вологою пор в матеріалі дренуючого шару до початку розтавання (залежить від товщини шару і пористості матеріалу);

$Q = q_p \cdot t_{\text{зан}}$ – кількість води ($\text{м}^3/\text{м}^2$), яка накопичилася в дренуючому шарі за час запізнення початку роботи водовідвідних пристроїв ($t_{\text{зан}}$); змінюється в межах від 3 до 6 діб;

n – пористість матеріалу в ущільненому стані, в частках одиниці;

$\varphi_{\text{к}} = 0,7$ – коефіцієнт заповнення пор капілярною водою в запасній частині піщаного шару.

Цьому ж питанню приділяється увага в [12]. Тут йдеться про те, що ранньою весною дренуючий шар розтає нерівномірно. Тому при наявності трубчатих дренажів, які знаходяться деякий час ще в замерзлому стані, робота дренуючого шару більш повно враховується методом поглинання. Але нерідко при мерзлому ще стані поперечних скидів випадають рідкі опади, які сприяють додатковому зволоженню дренуючого шару. Тоді на початку розрахункового періоду в ньому можлива наявність вільної води глибиною (в см) [11, 12]:

$$h_{\text{нас}} = \frac{Q_{\text{заг}} \cdot T}{q_3 - q_2}, \quad (16)$$

де $Q_{\text{заг}}$ – загальний питомий надлишок води, $\text{м}^3/\text{добу}$ з 1 м^2 проїзної частини;

q_3 – кількість вільної води, яка поглинається дренуючим шаром товщиною в 1 см на площі 1 м^2 (визначається експериментально), $\text{м}^3/\text{м}^2$ за добу;

q_2 – те саме, але при капілярній вологоємності (визначається експериментально), $\text{м}^3/\text{м}^2$ за добу;

T – час розмерзання випусків та дрен, доба.

Відповідно до [11, 12], час T приймають рівним не менше трьох діб при удосконалених типах покриттів, і не менше двох – при перехідних.

Підбір внутрішнього діаметру труби виконується в наступній послідовності [13]:

1) Визначаємо сумарну витрату води в дренажі:

$$Q_d = (Q_1 \cdot a \cdot \nu_1 + Q_2 \cdot \nu_2) \cdot m_T \cdot L_d, \quad (17)$$

де L_d – довжина дренажу як водозбору (довжина ділянки), м;

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

a – ширина односкатної або половини двоскатної проїзної частини, м;

Q_1 – об'єм води ($\text{м}^3/\text{доба}$ на 1 м^2 проїзної частини), що звільняється при відтаванні ґрунту під проїзною частиною та узбіччями;

Q_2 – кількість інфільтраційної вологи від атмосферних опадів, що потрапляє через узбіччя, покриття проїзної частини, розділювальну смугу (в $\text{м}^3/\text{добу}$ на 1 м);

ν_1 – коефіцієнт, що дорівнює 1 в період розтавання дорожньої конструкції весною; або дорівнює 0, якщо розрахунковий період не співпадає з періодом, коли вода, яка накопичується у зимовий період, відтискається із нижніх шарів земляного полотна в дренуючий шар;

ν_2 – коефіцієнт, що дорівнює 1 в розрахунковий період з дощами; або дорівнює 0, коли розрахунковий період припадає на дні без дощів.

2) Призначається внутрішній діаметр труби.

3) Після приблизного визначення діаметра труби робимо перевірочний розрахунок з урахуванням того, що дренажна труба повинна працювати в безнапірному режимі:

$$Q_{np} = \omega_T V \quad (18)$$

де Q_{np} – шукана витрата води в трубі, $\text{м}^3/\text{с}$;

ω_T – площа живого перетину потоку у трубі, м^2 ;

V – швидкість руху рідини, $\text{м}/\text{с}$.

4) Визначивши всі розрахункові величини, необхідно порівняти величини Q_d та Q_{np} . Розрахунок закінчуємо при умові, що $2 \cdot Q_d \leq Q_{np}$. При $2 \cdot Q_d > Q_{np}$ необхідно зробити перерахунок на новий, більший діаметр.

Ще одним важливим параметром є час роботи дренажної системи. Особливого значення він набуває в районах з холодним кліматом, де промерзання поширюється на значні глибини і дренажну систему слід проектувати так, щоб час витікання води з неї не перевищував допустимої межі.

В [6] пропонується тривалість 50%-вого водовідведення при влаштуванні в дренажному шарі основи закромкових дренажів визначати за формулою:

$$t = \frac{n_e \cdot D^2}{K_1 \cdot K_2 \cdot k_\phi \cdot H_0}, \quad (19)$$

де K_1 – безрозмірний емпіричний коефіцієнт ($K_1=2880$);

K_2 – коефіцієнт для переведення одиниць вимірювання коефіцієнту фільтрації з м/с в фут/хв. ($K_2=196,455$);

n_e – активна пористість основи;

D – ширина схилу основи;

k_ϕ – коефіцієнт фільтрації основи, м/с;

H_0 – п'єзометричний похил основи, $H_0=H+s \cdot D$;

H і s – відповідно товщина і поперечний похил основи.

Отже, із викладеного вище можна зробити висновок, що для правильного розрахунку дренажної системи мілкового залягання слід враховувати погодно-кліматичні особливості регіону, «умову неперервності» роботи дренажної системи, забезпечити відведення води за час, який не перевищує допустимий, а також той факт, що щільність матеріалу дренажного шару підвищується з часом. Необхідно враховувати режими протікання рідини в кожному із конструктивних елементів.

На основі наведеного вище аналізу, його узагальнення та доопрацювання, авторами статті в рамках виконання науково-дослідної роботи за тематичним планом Державної служби автомобільних доріг України розроблено методику визначення пропускної здатності дренажної конструкції мілкового залягання з урахуванням річного циклу роботи, використання якої планується при проектуванні дренажних систем мілкового залягання.

Література

1. ВБН В.2.3-218-186-2004. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу.
2. Дренажные устройства земляного полотна автомобильных дорог общей сети Союза ССР / Типовые проектные решения. 503-0-43. Разработаны ГПИ «Союздорпроект» Главтранспроекта Минтрансстроя. Введены в действие 10.06.1981 г.
3. 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., 1974.
4. Предложения по совершенствованию дренажа автомобильных дорог в выемках / Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт (Союздорнии). – Балашиха Московской области, 1969.
5. Рувинский В.И. Оптимальные конструкции земляного полотна : на основании регулирования водно-теплового режима – М.: Транспорт, 1982. – 166 с.
6. Седергрэн Г.Р. Дренаж дорожных одежд и аэродромных покрытий: Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1981. – 280 с.
7. 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.
8. Чугаев Р.Р. Гидравлика. (Учебник для вузов). – Л.: Энергия, 1975. – 600 с.
9. Мещерский И.В. Динамика точки переменной массы. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1952.
10. Петров Г.А. Движение жидкости с изменением расхода вдоль пути. // Известия НИИГ. – 1940. Вып. 28. – С. 63 – 72.
11. 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.
12. Тулаев А.Я. Конструкция и расчет дренажных устройств. – М.: Транспорт, 1980. – 191 с.
13. Дренажные сооружения железнодорожного земляного полотна. – М.: Транспорт, 1976. – 88 с.

Павлюк Д.О., д-р техн. наук, Чуланов І. Ю., Пономаренко С.В.

РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ

Анотація. У статті йдеться про один із способів боротьби з колійністю на дорогах за рахунок зміни кольору поверхні покриття чи верхнього шару асфальтобетону.

Ключові слова: Покриття, асфальтобетон, колійність, фарбування, білий колір, альbedo.

Аннотация. В статье идет речь об одном из способов борьбы с колеейностью на дорогах за счет изменения цвета поверхности покрытия или верхнего слоя асфальтобетона.

Ключевые слова: Покрытие, асфальтобетон, колеейность, покраска, белый цвет, альbedo.

Annotation. The article discusses one way of combating tracing ruts on the roads by changing the color of a surface or a top layer of asphalt concrete.

Keywords: Road surfaces, asphalt concrete, tracing ruts, painting, white color, albedo.

Температура є одним із головних факторів, який впливає на основні характеристики асфальтобетону. Зокрема, модуль пружності цього матеріалу при зміні температури від 20°C до 50°C зменшується в 3 і більше рази (рис.1.1) [1].

Як показують стендові випробування зразків асфальтобетону (рис. 2) [2] при температурі більшій, ніж 35о С інтенсивність утворення колійності різко зростає.

З тим, регулювання температурного режиму асфальтобетонного покриття слід розглядати як один із основних засобів боротьби з колійністю на автомобільних дорогах.

Температура поверхні асфальтобетонного у світлу пору доби шару завжди вища, ніж температура повітря (рис. 3). Це пояснюється впливом сонячної радіації, під дією якої відбувається значний нагрів покриття. Вночі температура повітря і покриття вирівнюються (рис. 3).

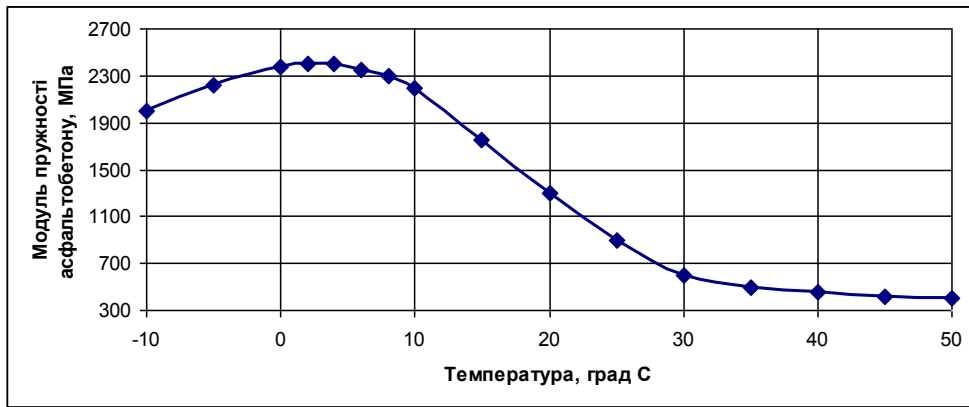


Рис.1. Залежність модуля пружності асфальтобетону від температури

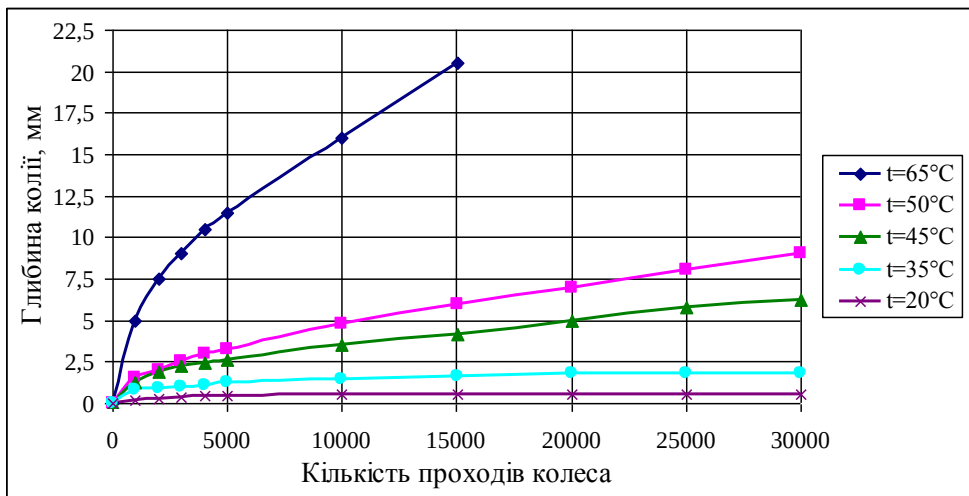


Рис.2. Залежність глибини колії від кількості проходів колеса для дрібнозернистого асфальтобетону типу Б при різних температурах

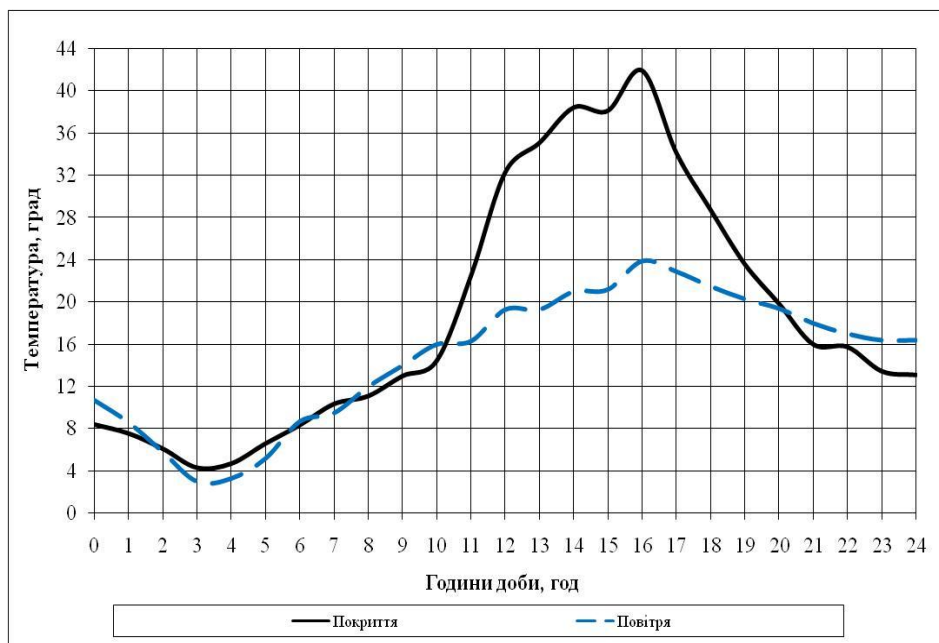


Рис. 3. Добовий хід температури асфальтобетонного покриття на початку травня (м.Київ)

Падаючи на земну поверхню, сумарна сонячна радіація в більшій своїй частині поглинається верхнім тонким шаром чи ґрунту води і переходить в тепло, а частково відбивається. Віддзеркалення сонячної радіації поверхнею залежить від характеру цієї поверхні. Відношення кількості відбитої радіації до загальної кількості радіації, що падає на дану поверхню, називається альбедо поверхні. Це відношення виражається у відсотках.

Альбедо поверхні ґрунту в загальному лежить в межах 10-30 %; у випадку вологого чорнозему воно знижується до 5 %, а у випадку сухого світлого піску може підвищуватися до 40 %. Для снігу, що тільки-но випав, альбедо складає 80-90 %, для давно лежачого – близько 50 % і нижче.

Альбедо поверхні в значній мірі визначається її кольором.

У 2008 році під час польових штапових випробувань [3], за допомогою пірометра «Німбус» було випадково виявлено, температура розмітки білого кольору була нижче від температури асфальтобетонного покриття на 6о С.

Детальні порівняльні дослідження (рис. 4) дали змогу дійти висновку, що колір поверхні значно впливає на температуру дорожнього покриття. Максимальна різниця температури між розміткою 1.14.1 (пішохідний перехід) та покриттям сягала 5,9 °С, а між розміткою 1.1 та покриттям відповідно 4,7 °С (рис. 5).

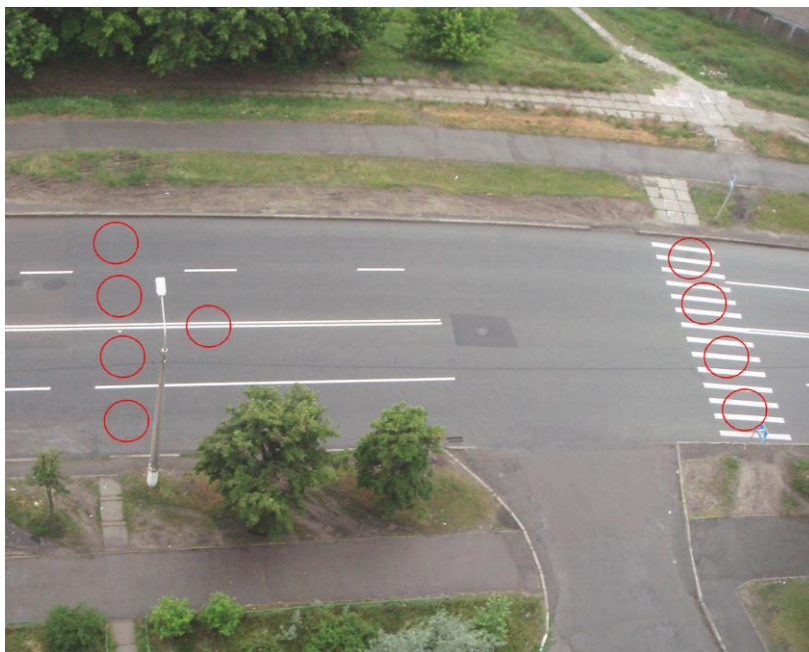


Рис. 4. Місця вимірювання температури розмітки і покриття 16 травня 2009 р.

З метою визначення впливу площі зафарбованої поверхні на різницю температур 8.06.2011 р. фарбу нанесли на 2 ділянки площею 1,5×1,5 м та 0,5×0,5 м. (рис. 6).

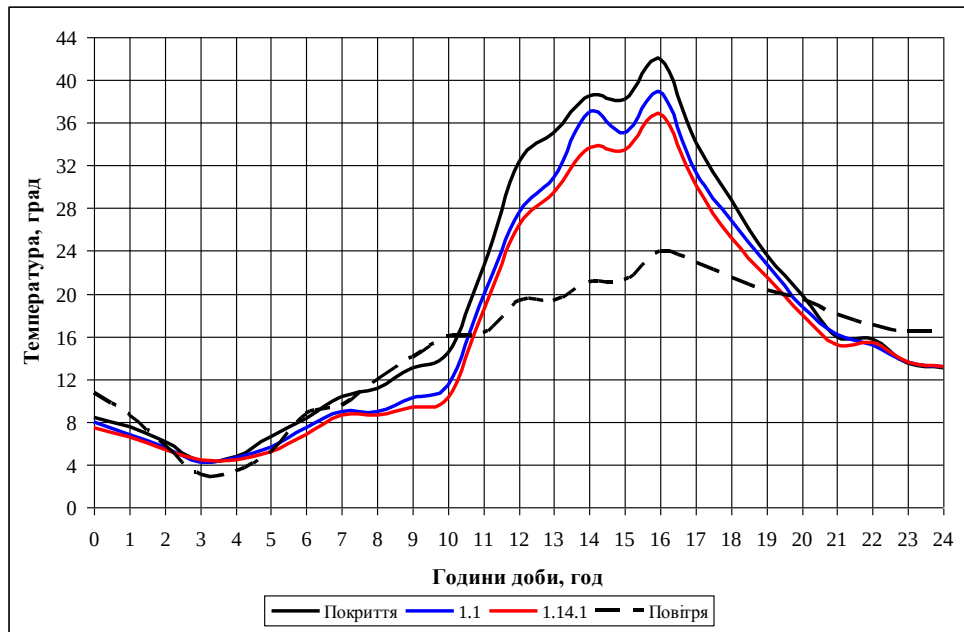


Рис. 5. Дослідження впливу кольору поверхні на температуру покриття 16 травня 2009 року



Рис. 6. Зафарбовані ділянки асфальтобетонного покриття

Результати вимірювань температури наведені на рис. 7. Виявлено, що максимальна різниця значень температури може складати 15,2 °С.

З наведеного вище випливає новий метод запобігання утворенню колійності на автомобільних дорогах за рахунок зміни кольору поверхні асфальтобетонних покриттів. Зміну кольору можна досягти двома шляхами – фарбуванням поверхні чи використанням кольорового асфальтобетону. Останній до цього використовувався переважно для декоративних цілей.

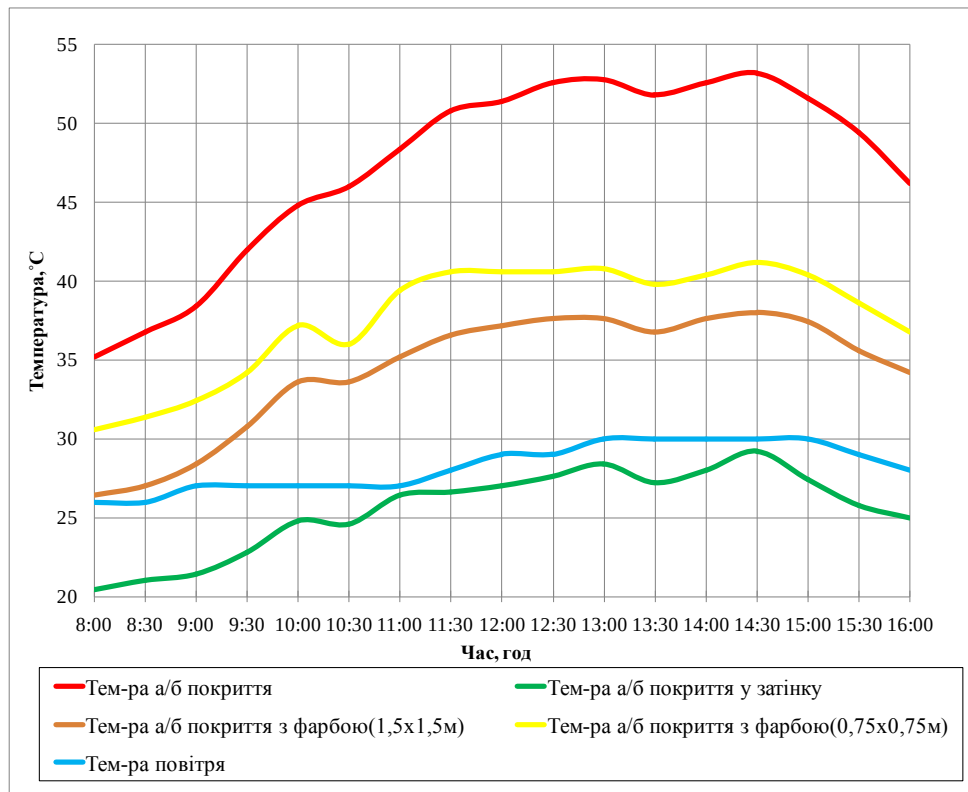


Рис. 7. Результати вимірювань температури

Слід зазначити, що цей метод відповідає світовим тенденціям боротьби з глобальним потеплінням. Зокрема відомий випадок, коли у Перу за рахунок фарбування гірських схилів було відновлено частину льодовиків (рис.8). З метою зниження температури у містах в США у Каліфорнії фарбують дахи будинків у білий колір (рис.9).



Рис. 8. Відновлення льодовиків у Перуанських Андах



Рис. 9. Фарбування дахів будинків у Каліфорнії

Фотографія міста в інфрачервоному зображення (рис. 10) показує, що білі дахи (сині плями) дійсно холодніші ніж інші.



Рис. 10. Місто в інфрачервоному зображенні.

З цього ж рисунку видно, яка доля загальної території міста приходить на вулиці, тротуари і площі, зміна кольору яких відповідає загальним світовим тенденціям боротьби з глобальним потеплінням.

Приклади моделювання зміни кольору деяких вулиць м. Києва наведено на рисунках 11 і 12.



Рис. 11. Вулиця К.Білокур

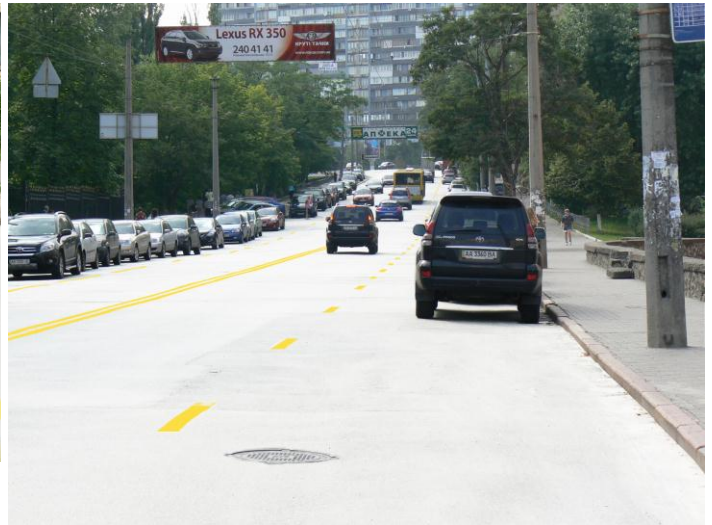


Рис. 12. Вулиця Бастіонна

Література

1. Новаковський Д.М., Пархоменко О.Ю., Міхович С.Г., Кіяшко І.В. Визначення розрахункового модуля пружності асфальтобетонних шарів за аналізом параметрів розповсюдження поверхневих хвиль. В зб. «Современные технологии строительства и эксплуатации автомобильных дорог». – Харьков, ХНАДУ, 2008. – С 282-286.
2. Жданюк В.К., Даценко В.М., Зражевец Е.М., Чугуенко С.А., Воловик А.А. Устойчивость асфальтобетонов различных гранулометрических типов к накоплению пластических деформаций в виде колеи // Материалы юбилейной научно-технической конференции «80 лет Белорусской дорожной науке». – Минск, 2008. – С. 105 -111.
3. Павлюк Д.О., Павлюк В.В. Лебедєв О.С., Булах Є.О., Перістий О.О. Начіпне обладнання НТУ для оцінки міцності і деформативності дорожніх конструкцій та ґрунтових основ // Автошляховик України. – 2008. – № 3. – С. 33-36.

УДК 625.70

Гамеляк І.П., д-р техн. наук, Карафізі Л.М.

ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ ВЛАШТУВАННЯ ПОКРИТТІВ ІЗ БЛОКІВ МОЩЕННЯ

Анотація. В статті наведено аналіз влаштування покриттів із штучних та природних елементів мощення в різних країнах. Розглянуто класифікацію таких покриттів. Наведене обладнання для механізації влаштування покриттів в сучасних умовах.

Ключові слова: мостова, покриття із елементів мощення (ПЕМ), бетонні елементи мощення (БЕМ), фігурні елементи мощення (ФЕМ), конструкція покриття, обладнання для влаштування ПЕМ.

Аннотация. В статье приведен анализ устройства покрытий из искусственных и природных элементов мощения в разных странах. Рассмотрена классификация таких покрытий. Приведено оборудование для механизации устройства покрытий в современных условиях.

Ключевые слова: мостовая, покрытие из элементов мощения (ПЭМ), бетонные элементы мощения (БЭМ), фигурные элементы мощения (ФЭМ), конструкция покрытия, оборудование для устройства ПЭМ.

Abstract. The article contains an analysis of the construction pavements of men made and natural paving elements in different countries. Is consider the classification of such pavements. Given equipment for the mechanization of the construction pavements today.

Keywords: paving, concrete block road pavements (CBRP), concrete paving elements, figured paving elements, construction of pavement, the equipment for CBRP.

Актуальність роботи. Не дивлячись на численні переваги асфальтобетону все більшу популярність в облаштуванні населених пунктів, зупинок громадського транспорту, контейнерних терміналів портів та аеропортів, площадок логістичних центрів та стоянок транспортних засобів отримують покриття з бетонних елементів мощення. Оскільки вони мають ряд переваг в порівнянні з традиційним асфальтобетоном, а саме:

- більш естетичні та довговічніші;
- влітку менше нагріваються, не розм'якшуються і зберігають свої міцнісні властивості;
- не виділяють в атмосферу канцерогенні речовини (летючі похідні нафти) досить екологічні та безпечні;
- легко піддаються демонтажу і при необхідності можна проводити ремонтні роботи підземних мереж, перевлаштувати, або замінити окремі елементи, так що по завершенні зворотного вкладання важко замітити різницю між старим і свіжевкладеним покриттям;
- не змінюють природної потреби ґрунту в газо- і водообміні.

До недоліків ПЕМів в порівнянні з асфальтобетонним покриттям належать:

- більша вартість та трудомісткість;
- відсутність механізації в Україні.

Короткий огляд влаштування ПЕМ. Мощену дорогу на латині називали *via strata* або просто *strata* (від дієслова *sterno, sternere* "слати, розстилати, покривати, мостити дорогу"). Від цього слова походять італійське *strada* "дорога, шлях", німецьке *Straße*, давньоанглійське *stret, stræt*, сучасне англійське *street* "вулиця".

Історія будівництва мощених доріг бере свій початок з глибокої давнини. Яскравим прикладом є дороги стародавнього Риму, що краще інших збереглися до нашого часу. Мережа доріг була одним з найбільших досягнень Римської імперії. В епоху розквіту її загальна протяжність складала близько 80 тисяч кілометрів. По ним здійснювався рух військ для контролю підкорених та завоювання нових народів, ними ж користувалися з торговою ціллю. Дороги будувались римськими інженерами не лише в Італії, а й Іспанії, Галлії, Дакії, на території Балканського півострова, на Близькому Сході і в Північній Африці, навіть у Британії. Минали століття після падіння Римської імперії, а по дорогам, що були прокладені римлянами, продовжували їздити люди в різних

країнах. Знаменита Аппієва дорога (рис. 1), що була збудована в 312 році до нашої ери, служила без ремонту близько 900 років [1, 2].

При влаштуванні доріг викопувалося "корито" до стабільних ґрунтів, яке за шириною відповідало межах проїзної частини. Іноді, якщо ґрунт був недостатньо щільний проводили для його ущільнення, забивку невеликих паль; полотно на болотах влаштовувалося на дубовому настилі у вигляді ростверку. Отримане таким чином корито заповнювалося на деяку висоту піском, який добре ущільнювався.



Рис. 1. Аппієва дорога

На підготовленому піщаному шарі зводилося кам'яне покриття із чотирьох шарів, які мали наступні назви (рис. 2) [3]:

1) Statumentum (основа), нижній шар товщиною 25-50 см, що складався з двох шарів крупних каменів, вкладених у вигляді пакеляжу і з'єднаних між собою в'язучим розчином або глиною;

2) Rudus (грубий), проміжний шар товщиною 20 см, що складався з буличних каменів;

3) Nucleus, середня частина, в вигляді шару товщиною 25 см, яка збудована з кладки подібної до бетону та часто складалася з уламків гончарних виробів або цегли.

4) Summa crusta, верхня кірка, яка робилася з дуже твердих кам'яних матеріалів зв'язаних вапняним розчином.

5) Крайні частини викладалися вертикальними тесаними плитами для заклинювання, створення арочного ефекту та уникнення розповзання покриття.

Загальна товщина конструкції становила 1,0-1,5 м. Загальний об'єм кладки складав близько 10000-15000 м³ на км.

Багато римських доріг є й в наш час, на місці одних прокладені сучасні магістралі, інші слугують пам'ятками історії, їх можна побачити власними очима практично в первозданному вигляді. Запорукою їх міцності є надійна конструкція дорожнього одягу з коефіцієнтом запасу більше 30.

При сучасному розвитку технологій широкого розповсюдження набувають бетонні елементи мощення, що дозволяє автоматизувати процес виготовлення елементів мощення й надання їм необхідних характеристик. Також закордоном широко впроваджується механізація процесу влаштування даних типів покриттів. На рис. 3а показана тенденція влаштування даного типу покриття в Південній Африці [4].

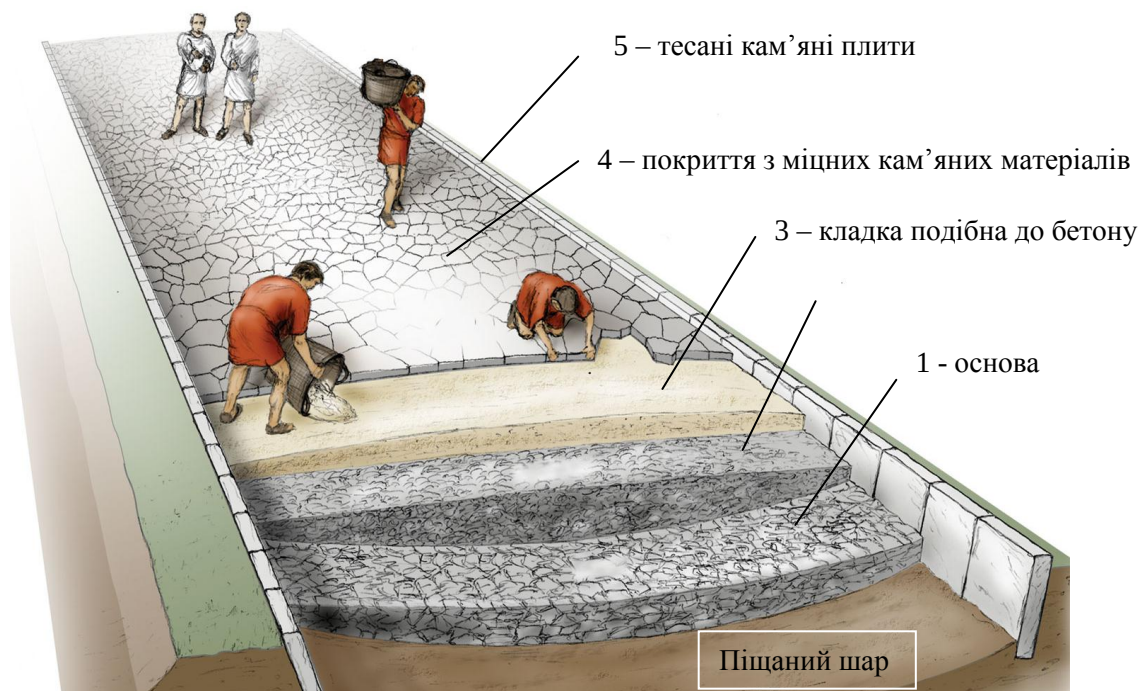


Рис. 2. Типова конструкція дорожнього одягу римських доріг

Світовим лідером з використання бетонних елементів мощення є Німеччина (рис. 3б). За рік у Німеччині влаштовується близько 100 млн. м² покриття, тоді як найближчі за даним показником Нідерланди влаштовують 18 млн. м², а Великобританія та США – 12 млн. м².

Основна частина. Покриття з елементів мощення можуть влаштовуватися на основах різного типу:

- нежорстких (асфальтобетон, чорний щебінь, матеріали оброблені органічним в'язучим);
- напівжорстких (матеріали укріплені мінеральним чи комплексним в'язучим);
- жорстких (бетон, залізобетон).

Типові конструкції покриттів із елементів мощення наведені на рис. 4.

Методи розрахунку таких конструкцій на сьогоднішній день розроблені недостатньо або взагалі відсутні.

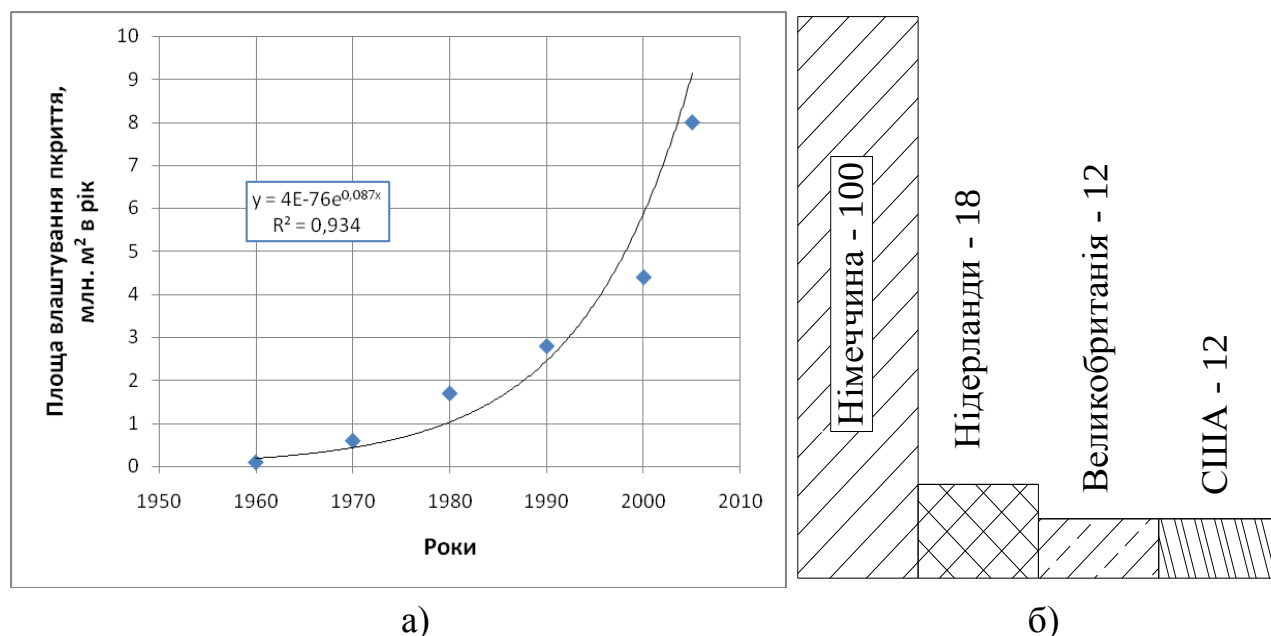


Рис. 3. Застосування БЕМ в різних країнах світу: а) тенденція росту влаштування покриттів із БЕМ в Пд. Африці; б) країни-лідери з влаштування покриттів з БЕМ, млн. м² за рік

За здатністю пропускати воду розподіляють покриття на:

- водопроникні;
- напівпроникні;
- непроникні (гідроізолюючі).

За видом матеріалу, що використовується, ПЕМ поділяють на класи:

- дерев'яні (дуб, акація, які просочені антисептиками);
- клінкерні (із обпаленої глинистої сировини);
- з природного каменю (мостові з бруківки, шашки та кам'яних плиток);
- бетонні (ФЕМи, плитки);

- металеві решітчасті плити.

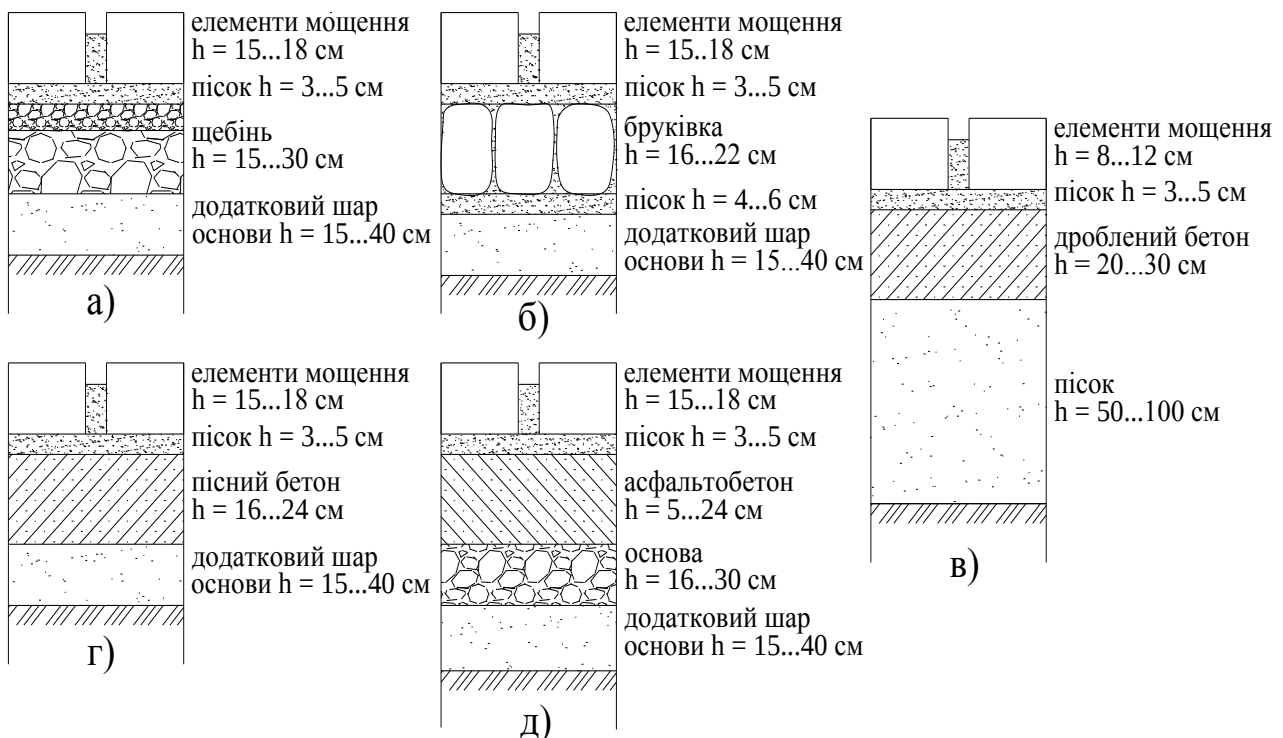


Рис. 4. Приклади конструкцій ПЕМ, що зустрічаються в Польщі та Нідерландах та мають наступні основи: а) щебенева; б) з бруківки; в) з дробленого бетону; г) з пісного бетону; д) з асфальтобетону

За формою виділяють типи БЕМів [5,6]:

квадратні	прямокутні;	шестикутні	п'ятикутні	фігурні

За можливістю передачі зусиль в горизонтальній площині між окремими елементами їх розділяють на три категорії (рис. 5) [7], які:

- забезпечують повну передачу зусиль (а);
- забезпечують не повну передачу зусиль (б);
- не в змозі забезпечити передачу зусиль (в).

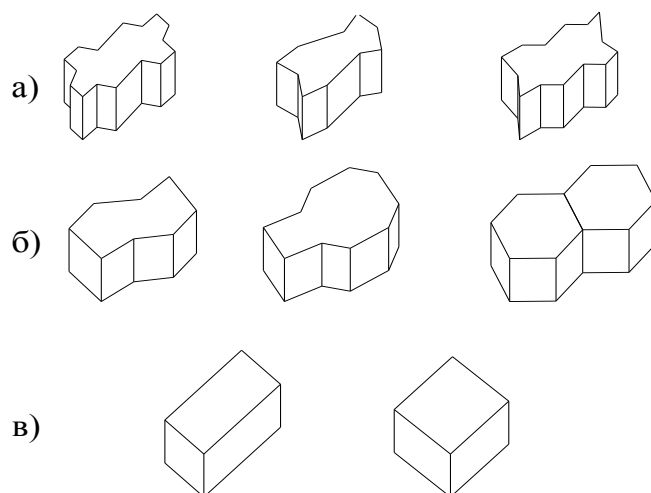
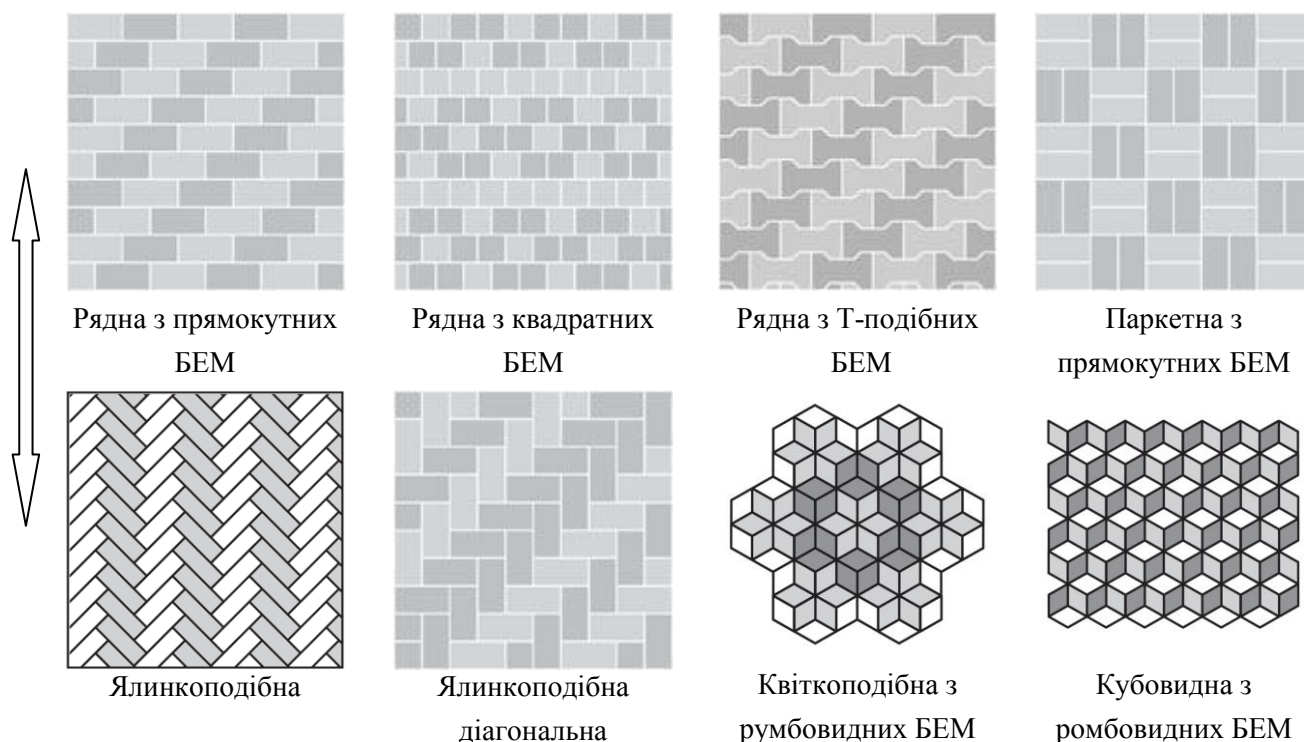


Рис. 5. Категорії БЕМ

Можливе виготовлення блоків різноманітних форм, і вкладання їх за схемами, кількість яких обмежується лише уявою людини. Нижче наведені деякі з можливих схем вкладання:



Примітка: стрілкою показаний напрям руху.

Особливістю багатьох сучасних покриттів є можливість створення зображення різноманітних узорів (рис. 6а), картин, знаків, тварин, птахів (рис. 6б) і т.д., за допомогою різнокольорових блоків. Також можливе влаштування пішохідних переходів, зупинок транспорту, смуг розгону-гальмування, розмітки, тощо з елементів мощення, які мають відмінне забарвлення та текстуру, що дає можливість відчувати їх при наїзді колеса [4].



Рис. 6. Приклади покриттів з різноманітними зображеннями

Особливості технології влаштування покриттів із БЕМів. До даного часу в Україні укладання покриттів з елементів мощення здійснюється вручну, що потребує значних витрат часу та трудових ресурсів. У країнах з розвинутою економікою, зокрема в Німеччині, високі темпи влаштування покриттів забезпечуються широким впровадженням машин та обладнання для механізованого влаштування покриттів із штучних елементів мощення.

Нижче наведені універсальні машини, які за допомогою змінного навісного обладнання можуть виконувати широкий спектр робіт при влаштуванні покриттів з бетонних елементів мощення (рис. 7) [8].

З використанням захвату VZ-h unі легко проводити операції по вкладанню бордюрних каменів (з природного каменю та бетону), безпечно і ефективно перевозити та встановлювати бордюри довжиною 460 - 1460 мм.

Механізмом РС-VM-unі блоки закріплюють і перевозять до місця вкладання.

За допомогою інноваційної затискуючої установки HVZ-Unі легко і швидко виконується мощення блоків на основу.

Заповнення швів також виконується механізовано. Завдяки спеціальній конструкції щіток забезпечується найбільш щільне і швидке заповнення простору між покладеною тротуарною плиткою або бруківкою. Для заповнення швів використовують спеціальні багатокомпонентні склади з добавками ПАР.

Дана сфера дорожнього будівництва в Україні розвинена доволі слабо. Застосування ФЕМів для влаштування покриттів носить несистемний характер. Оскільки за Радянського Союзу питання влаштування покриттів було

неактуальним і ним практично ніхто не займався, то в нашій державі, як і в країнах пострадянського простору відсутня нормативно-технічна база по влаштуванню даного типу покриття. Немає сучасних методів проектування, регламентів спорудження, методів та засобів контролю виконання робіт, обладнання для механізації будівництва, спеціалістів високого рівня в даній галузі та наукової літератури по даному профілю. Результатом вищенаведених фактів є низька надійність покриттів із елементів мощення. Прикладом цього є незадовільний стан багатьох конструкцій (рис. 8).



Встановлення бордюрних каменів за допомогою автоматичного захвату



Транспортування блоків мощення обладнанням PC-VM-uni



Затискуючий механізм HVZ-Uni для вкладання БЕМ



Заповнення швів навісними щітками

Рис. 7. Сучасні механізми для влаштування покриттів із БЕМ



Рис. 8. Приклади руйнувань мостових:

- а) не влаштовані бордюри, як наслідок – розповзання блоків;
- б) недостатня несуча здатність ґрунту земляного полотна й основи;
- в) застосування невідповідного матеріалу для заповнення швів;
- г) замала товщина плиток, які не з'єднані з бетонним шаром основи;
- д) незадовільна морозостійкість ФЕМів

Висновки

Влаштування покриттів із штучних елементів мощення є перспективним напрямком для будівництва та облаштування автомобільних доріг, міських вулиць і доріг, площ, площадок, контейнерних терміналів портів, терміналів аеропортів тощо. Для широкого впровадження цього типу покриттів необхідно вирішити ряд питань:

- матеріалознавчих (розробка вимог по морозостійкості, міцності, довговічності матеріалу штучних блоків);
- технологічних (розробка технологічних регламентів, карт, тощо);
- розробка або закупівля сучасного обладнання для механізованого будівництва;
- підтримання конкурентного середовища для зменшення вартості і збільшення темпів та об'ємів будівництва;
- розробка нормативної бази (технічні умови на матеріали, технічні регламенти на укладання та контроль якості, рекомендації по розрахунку покриттів із штучних елементів мощення);
- підготовка спеціалістів;
видання підручників, посібників тощо.

Література

1. http://uk.wikipedia.org/wiki/Римські_дороги
2. <http://www.scania.co.kr/media/teamscania/roman-roads.aspx>
3. И.Е. Бугаев Дороги с каменной одеждой. – Л.: Гострансиздат, 1935. – 250 с.
4. Concrete block paving. – Midrand, South Africa: Concrete Manufacturers Association, 2009. – 32 с.
5. ДСТУ Б В.2.7-145:2008. Вироби бетонні тротуарні неармовані. Технічні умови. – К.: Мінрегіонбуд, 2008. – 22 с.
6. ГОСТ 17608-91 Плиты бетонные тротуарные. Технические Условия. – М.: Госстрой, 1991. – 22 с.
7. CONCRETE MASONRY ASSOCIATION OF AUSTRALIA. Interim specification for interlocking concrete paving units, 1980. Report MA 15.
8. <http://www.probst.eu>

Петрович В.В., канд. техн. наук, Скрипник В.Ю.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ДОСЯГНЕНЬ РЕГУЛЮВАННЯ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ

Анотація. У статті узагальненні питання регулювання водно-теплого режиму дорожніх конструкцій різними методами. Проведено їх аналіз за результатами досліджень, що приводяться на сьогодні в цих напрямках та за нормативною базою України. Визначено можливі напрямки подальшої роботи.

Ключові слова: водно-тепловий режим, земляне полотно, дорожня конструкція, геосинтетичні матеріали.

Аннотация. В статье обобщены вопросы регулирования водно-теплого режима дорожных конструкций различными методами. Проведен их анализ по результатам исследований, проводимых на сегодня в этих направлениях и нормативной базой Украины. Определены возможные направления дальнейшей работы.

Ключевые слова: водно-тепловой режим, земляное полотно, дорожная конструкция, геосинтетические материалы.

Annotation. Various ways of water-heat regime regulation in road constructions have been summarized in article. The analysis of results of studies which took place in such areas and standard base of Ukraine, has been done. The main ways for further work were set.

Keywords: water-heat regime, subgrade, road construction, geosynthetic materials.

Постановка проблеми

Фізика процесу міграції вологи в ґрунтах активної зони земляного полотна. Протягом року у водно-тепловому режимі земляного полотна автомобільних доріг у районах з сезонним промерзанням ґрунтів можна виділити чотири взаємопов'язаних періоди зміни вологості.

У перший період відбувається охолодження дорожнього одягу та земляного полотна, збільшення вологості та зниження щільності ґрунту. Основними джерелами зволоження в початковий період осіннього накопичення вологи є атмосферні опади та водяні пари. Залежно від потужності джерел зволоження та умов руху транспортних засобів на дорожньому одязі можуть виникати просідання. За кінець першого періоду можна прийняти початок сталого промерзання ґрунтів, що приблизно відповідає температурі повітря нижче -5°C .

У другий період при промерзанні земляного полотна відбувається інтенсивне накопичення вологи в ґрунті, яка надходить в холодні місця з теплих місць. У верхніх горизонтах земляного полотна вміст вологи та температура менше, ніж у нижніх, що й обумовлює міграцію води з нижніх шарів у верхні. Вологість ґрунту земляного полотна поступово зростає, досягаючи максимуму в кінці холодного періоду.

Одночасно з накопиченням вологи, відбувається морозний обдимання ґрунтів, що супроводжується їх розуцільненням. Крім швидкості промерзання ґрунтів, на інтенсивність накопичення вологи та обдимання впливає швидкість міграції води, яка залежить від виду ґрунту, ступеню його ущільнення, умов підтікання води, зокрема ґрунтової.

Третій період відтавання земляного полотна і максимального водонасичення починається з встановлення у верхніх шарах стійких позитивних температур і триває до повного відтавання ґрунту. Вологість досягає максимуму; вода, що звільняється при відтаванні крижаних лінз, насичує розуцільнені в результаті здимання ґрунту, внаслідок чого різко знижується їх стійкість. Через перезволоження ґрунту розуцільнюється верхня частина земляного полотна.

Ґрунт відтає швидше під дорожнім одягом, ніж на узбіччях і укосах, тому в середній частині земляного полотна накопичується вільна вода, у якої відсутній вихід. У цей період збільшується небезпека руйнування дорожнього одягу.

Процес випаровування продовжується до тих пір, поки випаровування не перевершує припливу власне-капілярної або капілярно-підвішеної води до поверхні земляного полотна. В іншому випадку ґрунт просихає до вологості, що відповідає кількості зв'язаної води. Якщо в шарі відсутня вільна вода, яка визначається не тільки метеорологічними факторами, але й вологістю ґрунту в шарі, вологість зменшується, а з нею і інтенсивність випаровування.

Коли вологість ґрунту менше максимальної гігроскопічності і інтенсивність випаровування визначається метеорологічними факторами, важлива товщина шару сухого ґрунту, через який дифундують пари. Товщина цього шару з вологістю менше максимальної гігроскопічності, збільшується до моменту, коли інтенсивність випаровування не стане рівною притоку власне-капілярної або капілярно-підвішеної води до границі шару.

Пружність водяної пари безпосередньо над поверхнею зволоженого ґрунту дорівнює максимальної і визначається температурою поверхні. Перехід від максимальної пружності до пружності водяної пари в повітрі відбувається в межах приграничного шару.

фактори, що регулюють випаровування, можна розділити на дві групи: 1) фактори, вплив яких можна виразити через постійні коефіцієнти; 2) фактори, що вимагають безпосереднього вимірювання.

У першу групу входять фактори (питома теплоємність повітря, прихована теплота випаровування тощо), які змінюються в дуже вузьких межах або несуттєво впливають на хід випаровування. Встановлено, що випаровування прямо пропорційно щільності повітря і зворотнопропорційно атмосферному тиску. Причому вони самі пов'язані між собою, тому в звичайних умовах зміна тиску повітря практично не впливає на швидкість випаровування.

До другої групи факторів, від яких залежить інтенсивність випаровування, відносять: температуру і вологість повітря, швидкість вітру, щільність і вологість ґрунту, товщину сухого шару ґрунту, через який дифундують водяні пари в атмосферу.

Теоретична частина питання

Систематичне вивчення процесу зимового накопичення вологи в ґрунтах, проводиться з кінця минулого століття. Мабуть, перша гіпотеза про причини збільшення обсягу замерзаючих ґрунтів була висловлена в 1885 р. російським проектувальником залізниць В. А. Штукенбергом. У літературі існує досить велика кількість оглядів з розглянутої проблеми. Вони дані в роботах Н. А. Цитовича, Е. Д. Єршова та ін [1]. У цих оглядах наголошується, що в результаті надзвичайної складності міграції вологи при промерзанні ґрунтів і впливу на цей процес ряду факторів, фізика процесу міграції вологи в ґрунтах ще недостатньо вивчена. У зв'язку з цим, не розроблена розрахункова теорія, яка в загальному випадку давала б кількісно вірні результати.

Запропоновано більше десяти теорій міграції вологи при промерзанні ґрунту (капілярна теорія пір замерзання, теорії осмотичних тисків, порового вакууму і сил кристалізації, адсорбційно-плівкова теорія та ін.). Кожна з цих теорій має певну область застосування. Зокрема, у практиці фізико-хімічних методів боротьби з міграцією вологи і морозним обдиманням ґрунтів використовується теорія хімічного потенціалу, згідно з якою міграція води в промерзаючих ґрунтах є функцією вільної енергії поверхні мінеральних частинок або їх ізобарного потенціалу.

При будівництві автомобільних доріг в степових районах застосовують теорію В. М. Сіденка [2,3], а в північних районах в області багаторічномерзлих ґрунтів - теорію І. А. Золотаря [4], які базуються на диференціальному рівнянні тепло- та масообміну А. В. Ликова. При цьому в якості сил міграції розглядається потенціал масопереносу плівковою вологою.

В основу проектування доріг в районах з сезонним промерзанням ґрунтів покладено теорію Н. А. Пузакова - М. Б. Корсунського, в якій «сили всмоктування» приймаються як певний розрахунковий еквівалент сумарного дії сил міграції [5].

Є пропозиція Ю. М. Васильєва прогнозувати здимання в залежності від активної пористості ґрунту та вмісту в ньому зв'язаної води, а реальні умови, що визначають водно-тепловий режим земляного полотна, враховувати комплексним коефіцієнтом.

Групою вчених (д-р техн. наук В. І. Рувінський, д-р техн. наук, проф. В. Д. Казарновський, канд. техн. наук В. М. Смирновим, д-р техн. наук, проф. М. Б. Корсунським, канд. техн. наук Ю. М. Васильєвим; канд. техн. наук О. А. Сяпічем; канд. техн. наук В. Д. Браславським; д-р техн. наук, проф. А. Я. Тулаєвим, канд. техн. наук Н. В. Бистровим, канд. геол.-мінерал. наук С. М. Семеновим) розглянуті методи регулювання водно-теплогового режиму (шляхом влаштування морозозахисних шарів, що влаштовуються з нездиманих ґрунтів і матеріалів, дренажних шарів з кондиційних зернистих матеріалів з водовідвідними пристроями та питання проектування: морозозахисних шарів з некондиційних пісків (слабоздимистих піщаних ґрунтів); теплоізолюючих шарів на ділянках доріг, де піднесення поверхні покриття над рівнем поверхневих і ґрунтових вод, верховодки і над поверхнею землі менше нормативних величин; дренажних шарів із зернистих матеріалів із коефіцієнтом фільтрації менше 1 м/добу, що працюють за принципом поглинання; гідроізолюючих, дренажних та капіляронериваючих прошарків;

спеціальних поперечників земляного полотна з метою захисту його від поверхневої води (зположування укосів, улаштування берми) і конструкції земляного полотна з підвищеною щільністю ґрунтів [6 - 8].

Зазначені заходи призначені для застосування в районах з сезонним промерзанням ґрунтів в II і III дорожньо-кліматичних зонах, а конструкції земляного полотна з підвищеною щільністю ґрунтів також у IV зоні. Причому проектування слід проводити на основі прогнозу основних водно-теплових процесів в земляному полотні, які впливають на цілорічні зміни щільності і вологості багат шарових ґрунтів робочого шару і основи насипу або виїмки при експлуатації дороги.

Методи регулювання водно-теплого режиму земляного полотна можна розділити на чотири основні групи.

Перша група включає заходи із заміни та поліпшення ґрунтів: зведення верхньої частини насипу з нездимистих або слабоздимистих ґрунтів, улаштування морозозахисних шарів, поліпшення зернового складу ґрунтів і обробку їх в'язучими.

Ущільнення як метод підвищення міцності і морозостійкості ґрунтів застосовується давно. У 30-і роки почалися систематичні дослідження Дорна в цій області, в результаті яких був запропонований (Н. Н. Іванов, М. Я. Телегін) метод стандартного ущільнення і складені перші вимоги зі щільності.

Як зазначалося, у процесі експлуатації дороги ґрунт земляного полотна може втрачати щільність. Але й за цих умов ущільнення ґрунту є ефективним методом поліпшення водно-теплого режиму земляного полотна.

Підвищення щільності, по-перше, покращує однорідність ґрунту, що призводить до зниження нерівномірності морозного здимання, по-друге, забезпечує більш високу мінімальну щільність, нижче якої не відбувається подальша втрата ґрунтом щільності, і по-третє, зменшує швидкість міграції капілярної води. Уповільнення цього процесу, очевидно, дозволяє краще сформуватися вторинної структурі ґрунту, в результаті чого він може мати більш високі міцнісні показники в порівнянні з ґрунтом непорушеної структури при однаковій щільності. Прикладом цього є відсутність у ряді випадків текучості ґрунту з непорушеною структурою при вологості вище межі текучості.

У Англії, Німеччині та ряді інших країн зміцнюють верхню частину земляного полотна, якщо модуль пружності ґрунтів нижче 44 МПа, різними

в'язучими, в тому числі вапном, цементом, відходами целюлозної промисловості. Завдяки такому зміцненню забезпечуються порівняно високі значення характеристик міцності і деформаційних характеристик ґрунтів під дорожнім одягом, зменшується здирання покриття і обмежується надходження атмосферних опадів в ґрунт земляного полотна.

Друга група об'єднує заходи щодо відведення води з дорожнього одягу, включаючи улаштування дренажних шарів і прошарків, дренажі мілкового закладання.

Методи розрахунку дренажних шарів і принципи конструювання дренажних пристроїв, для осушення дорожнього одягу і верхньої частини земляного полотна, вперше розроблені А. Я. Тулаєвим та його учнями. Значний розвиток ці методи отримали в роботах М. Б. Корсунського, П. Д. Россовського та інших [9 - 11].

Розрахунок ведеться за принципом осушення, тобто виходячи з умови, що добовий сумарний приплив води, що надходить в дренажний шар, повністю відводиться за той же період часу. При цьому враховують, що через різні строки відтавання дренажної системи виникає необхідність обліку тимчасового розміщення води у вільних порах дренажного шару за період (3-6 діб) запізнювання початку роботи водовідвідних пристроїв. Вітчизняний і зарубіжний досвід показує, що улаштування дренажної системи для осушення дорожнього одягу та ґрунтової основи є одним з найбільш ефективних заходів з підвищення довговічності покриття. Однак для того, щоб отримати такий ефект, необхідно виконати ряд умов.

За даними Г. Р. Седергрена, дренажний шар необхідно влаштовувати з високо проникної скелетної суміші (щебеню або гравію) відкритого типу (з незаповненими порожнечами) і укласти цей шар під дорожнім одягом по всій її ширині з дренажними трубами для збору і швидкого відводу води за межі земляного полотна. В більшості випадків значення коефіцієнтів фільтрації повинні перебувати в діапазоні від 1,7 до 35 см/с.

У третю групу входять заходи, які регулюють тепловий режим земляного полотна шляхом влаштування теплоізоляційних шарів.

Спостереження на полігоні та зарубіжний досвід показують, що теплоізоляційні матеріали повинні володіти мінімальною міцністю. Теплоізоляційні шари маломіцних матеріалів можуть бути причиною зниження міцності дорожнього одягу. Це обумовлено стисливістю самого теплоізоляційного шару і неможливістю досягти необхідного ступеня

ущільнення верхніх шарів. При стисненні теплоізолятора відзначається погіршення його теплофізичних властивостей. За даними ряду дослідників Німеччини, межа міцності пінопласту при 10%-му стисненні не повинна бути менше 0,29 МПа, а міцність при вигині - 0,59 МПа.

На полігоні СоюзДорНІІ протягом 5 років проводилися спостереження за роботою конструкції з теплоізоляційним шаром з пінопласту марки ПС-4 об'ємною масою 60 кг/м³. Цей пінопласт з полістиролу має замкнутопористу структуру, межа його міцності на стиск при 10%-ної лінійної деформації 0,29 МПа, межа міцності при вигині 1,18 МПа, модуль пружності 32,85 МПа, коефіцієнт морозостійкості пінопласту після 25 циклів промерзання-відтавання при температурі заморожування -20 °С дорівнює 0,95. Випробування зразків пінопласту, відібраних з дорожнього одягу, показали, що його теплофізичні показники практично не змінилися; те саме стосується і товщини шару пінопласту.

Одним з ефективних теплоізоляційних матеріалів є стиропорбетон на щебені з відходів жорстких пінопластів. До складу цього матеріалу об'ємною масою 960 кг/м³ входять компоненти (на г/м³): 1000 л частинок пінопласту, 370 кг цементу (М500), 360 кг піску і 160 л води. Коефіцієнт морозостійкості, що визначається у віці 28 діб при 25 циклах заморожування - відтавання, дорівнює 0,96, розрахунковий модуль пружності - 590 МПа, межа міцності при вигині - 340 кПа, коефіцієнт теплопровідності - 0,21 Вт / (м.К). В якості теплоізоляційних шарів можна також використовувати аглопоритовий щебінь і пісок, керамзитовий гравій, укріплені неорганічними в'язучими.

Другим напрямком досліджень є вивчення впливу теплоізоляційних шарів на процеси вологонакопичення та здимання в ґрунтах. У рамках цього напрямку отримані дані про вологість та щільності ґрунтів під час обдимання земляного полотна, які показали, що розмір обдимання покриття та ступінь його нерівномірності багато в чому визначаються глибиною промерзання земляного полотна. Спостереження за температурним режимом, які проводилися за допомогою термодатчиків, показали, що на ділянках з легкими бетонами глибина промерзання не більше 1,1 м, на ділянці з пінопластом - 0,35 м, а без теплоізоляційного шару - 1,8 м.

До четвертої групи слід віднести заходи з обмеження зволоження земляного полотна поверхневими і ґрунтовими водами: захист його в процесі будівництва, відведення води з узбіччя та їх зміцнення, осушення розділової смуги та смуги відведення, забезпечення мінімального піднесення низу

дорожнього одягу над рівнем поверхневих і ґрунтових вод шляхом улаштування насипів або зниження рівня ґрунтових вод, будівництва паро- та гідроізолюючих шарів, капіляронериваючих прошарків, електро- і хімічні методи, а також ущільнення ґрунтів.

Найбільш поширені заходи з водовідведення, які включають улаштування нагірних і водовідвідних каналів, планування резервів, виїмок, полотна дороги і т. д. У цьому плані цікавить практика відводу води, прийнята у Франції, де протягом всього періоду будівництва земляне полотно планують з уклоном близько 100 проміле.

У США, Канаді, Німеччині, Франції та в ряді інших країн широко застосовують зміцнення узбіччя та улаштування лотків для збору і відводу води з проїжджої частини, щоб зменшити приплив атмосферних опадів в земляне полотно в процесі експлуатації дороги. Поперечний похил узбіччя роблять від 20 до 80 проміле виходячи з типу укріплення (за межами крайової смуги) узбіччя, наявності стоку води з проїжджої частини на узбіччя та умов безпеки руху. Поперечний похил ґрунтової частини узбіччя у бровки земляного полотна досягає 120 проміле.

У фахівців існують різні думки з питання про те, потрібні чи ні бічні канали (кювети). В.Фукс (Німеччина) пропонує кювети влаштовувати тільки на водонепроникних ґрунтах.

За англійським даними, надходження води в основу дорожнього одягу часто спостерігається при наявності дрібних кюветів у підшви земляного полотна. Ряд англійських дослідників вважає, що для відводу поверхневих вод при водонепроникних ґрунтах кювети доцільні, але ефективність їх в умовах добре фільтруючих ґрунтів сумнівна. Існує виражена тенденція влаштовувати широкі й неглибокі кювети з виположеними укосами. Завдяки цьому збільшується безпека руху, віддаляються від проїжджої частини поверхневі води, що зменшує можливість їх просочування в земляне полотно, а також не порушується гармонійний зв'язок дороги з ландшафтом.

Іншим рішенням поверхневого водовідводу, зокрема в Канаді, є улаштування кюветів на деякій відстані від підшви насипу. У 1965 р. В. М. Сіденко вперше запропонував для степових районів метод розрахунку мінімального видалення каналів від проїжджої частини, при якому стоїть в них вода не підвищує вологість під укріпленою смугою узбіч і під дорожнім одягом вище певних значень [9]. Цей метод заснований на передумовах, що волога в ґрунті переміщається тільки під час стояння води в каналі, а перед кожним

новим періодом застою води в канаві відновлюється первісна вологість ґрунту в межах бERM і земляного полотна. Вплив випаровування води на процес міграцій вологи не розглядається.

У 1966 р. опублікований метод розрахунку ширини бERM або крутизни укосу для забезпечення «безпечного» положення поверхневих вод, у тому числі для тих, що застоюються в кюветах, в районах значного та надмірного зволоження ґрунтів. Розрахункова схема передбачає, що на ділянках з незабезпеченим поверхневим стоком міграція вологи в ґрунті відбувається: восени і навесні (під час застою води в канавах) у вигляді власне-капілярної води; взимку, коли вода на поверхні замерзає, і влітку, коли вона випаровується, - у вигляді капілярно-підвішеної води. Влітку можливі два випадки: випаровування капілярно-підвішеної води з відновленням початкової вологості; її рух у напрямку до земляного полотна протягом усього літа.

Щоб захистити земляне полотно від перезволоження, в процесі будівництва організують відвід поверхневої води і укладають захисні шари: плівки полімерні, бітумні та ін.

У ряді країн (ФРН, Японія, Португалія та ін) укладають захисні шари: полімерні плівки, ґрунт, укріплений вапном або цементом, бітумні плівки і т. д.

Для поліпшення водно-теплового режиму земляного полотна можна використовувати геосинтетичні матеріали для облаштування дренажних, капілярноперериваючих прошарків. Перші результати застосування нетканих синтетичних матеріалів як протиздіймального заходу були озвучені на першій Міжнародній конференції з використання промислових волокон в геотехніці (Париж, 1977 р.). Була дана загальна характеристика конструкцій з гідроізолюючими прошарками, які повинні: витримувати без пошкоджень навантаження, що виникають при укладанні та ущільненні верхніх шарів ґрунту та дорожнього одягу, рух автомобілів на дорозі; протистояти впливу нерівномірного морозного обдимання та опадам ґрунтів без розривів та проколів; протистояти впливу вологи і температури, не змінюючи ізоляційних властивостей; чинити опір руйнівній дії мікроорганізмів і агресивних вод; бути технологічними.

Потрібно зазначити, що раніше широке впровадження геосинтетичних матеріалів стримувалося відсутністю нормативних документів, які б регламентували правила застосування та методи випробувань геосинтетичних матеріалів, що спричиняло труднощі при проектуванні, будівництві та контролі якості матеріалів і обмежувало використання

геосинтетики. На відмінно, від Європи, в якій прийнято норми DIN, ISO, та США, у яких прийнято ASTM та AASHTO, які регламентують використання геосинтетиків. Проте, за останні декілька років ця ситуація змінилась. Було розроблено і впроваджено нормативні документи ВБН В.2.3-218-544: 2008 «Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві», СОУ 45.2-00018112-025:2007 «Матеріали геосинтетичні. Методи випробувань», «Посібник з проектування земляного полотна і дорожніх одягів із застосуванням геосинтетичних матеріалів (доповнення до ВБН В.2.3-218-...-2006) » та ін.

В ДБН В.2.3-4:2007 «Споруди транспорту. Автомобільні дороги» визначені заходи щодо забезпечення міцності і стійкості земляного полотна та робочого шару в першу чергу шляхом: регулювання водно-теплогового режиму земляного полотна за допомогою гідроізолюючих, дренажних або капілярперериваючих прошарків та використання армуючих прошарків на основі техніко-економічних розрахунків.

В ВБН В.2.3-218-186-2004 «Дорожній одяг нежорсткого типу» наведені основні способи регулювання водно-теплогового режиму дорожніх конструкцій шляхом:

- віддалення одягу від рівня ґрунтових вод;
- улаштування морозостійких, теплоізолюючих шарів;
- відведення надлишкової води шляхом улаштування дренажного шару (площин-ний дренаж);
- улаштування гідроізоляційних шарів;
- регулювання водно-теплогового режиму за рахунок улаштування паронепроникних шарів.

Висновок

Перспективним напрямом регулювання водно-теплогового режиму дорожньої конструкції в цілому слід вважати улаштування прошарків з геотекстильних матеріалів.

Перспективи

Досвід застосування армоконструкцій у світовому будівництві показує, що вони більш ефективні та економічні, ніж традиційні. Однак треба врахувати, що ефективність регулювання водно-теплогового режиму буде залежити від механічних і реологічних властивостей геоматеріалу і шарів дорожньої конструкції, а також умов закладення, глибини і характеру розташування прошарків у шаруватій дорожній конструкції.

Література

1. Цитович Н.А. Механика мерзлых грунтов. – М: Высшая школа, 1973.
2. Сиденко В.М. Основные проблемы исследований теплообмена в дорожном строительстве. -М.: Труды Союздорнии, вып. 76. – 1975. – С. 83-93.
3. Сиденко В.М. Расчёт и регулирование водно-теплового режима дорожных одежд и земляного полотна. – М.: Автотрансиздат, 1960. – 116 с.
4. Золотарь И.А. Обеспечение надёжности автомобильных дорог по прочности при их проектировании, строительстве и эксплуатации. Санкт-Петербург: ВАТТ, 1996. - 84 с.
5. Пузаков Н.А. Теоретические основы накопления влаги в дорожном полотне и их практическое применение. В кн. "Проектирование и сооружение земляного полотна железных и автомобильных дорог". – М.: Изд-во АН СССР, 1950. - С. 58-88.
6. Корсунский М.Б., Гайваронский В.Н., Россовский П.Д. Прогнозирование расчётной влажности грунтов земляного полотна. –М.: Труды Союздорнии, вып. 76, 1975. – С. 5-29.
7. Рувинский В.И. Оптимальные конструкции земляного полотна (на основе регулирования водно-теплового режима). – М.: Транспорт, 1982. - 166 с.
8. Рувинский В.И. и др. Гидроизолирующие прослойки для улучшения водно-теплового режима земляного полотна // Автомобильные дороги, 1985 г., №12. – С. 23-24.
9. Корсунский М.Б., Гайваронский В.Н., Россовский П.Д. Прогнозирование расчётной влажности грунтов земляного полотна. – М.: Труды Союздорнии, вып. 76, 1975. – С. 5-29.
10. Тулаев А.Я. Регулирование водного режима земляного полотна на автомобильных дорогах. В кн.: "Проектирование и возведение земляного полотна железных и автомобильных дорог. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. – С. 89-163.
11. Тулаев А.Я., Пузаков Н.А., Богатырёва Е.И. Регулирование водно-теплового режима земляного полотна в городских условиях. – М.: Высшая школа, 1972. – 121 с.
12. Сиденко В.М., Батраков О.Т. и др. Автомобильные дороги (совершенствование методов проектирования и строительства). – Киев: Будивельник, 1973. - 278 с.

УДК 625.7

Литвиненко А.С.

ПРО ФІЗИЧНИЙ ЗМІСТ НЕОБХІДНОЇ І ДОСТАТНЬОЇ ВЕЛИЧИНИ ГУСТИНИ СУХОГО ҐРУНТУ ЗВ'ЯЗНИХ ҐРУНТІВ ПРИ СПОРУДЖЕННІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. Розкривається, для зв'язних ґрунтів, фізичний зміст величини ρ_{dmax} , що визначається за стандартним ущільненням і доводиться її достатність як середини нормального статичного розподілу для забезпечення надійної експлуатації земляного полотна автомобільних доріг.

Ключові слова: ґрунт, земляне полотно, автомобільна дорога.

Аннотация. Раскрывается, для связных грунтов, физический смысл величины ρ_{dmax} , определяемой методом стандартного уплотнения и показывается её достаточность как среднего значения нормального статистического распределения для обеспечения надёжной эксплуатации земляного полотна автомобильных дорог.

Ключевые слова: почва, земляное полотно, автомобильная дорога.

Annotation. The article deals with the statement of physical content of the value ρ_{dmax} defined according to standard density, and the proof of the value's sufficiency as the mean of normal static distribution for ensuring reliable operation of motor roads' roadbed.

Keywords: soil, subgrade, highway.

Вступ

На цей час сам факт необхідності ретельного і достатньо сильного ущільнення ґрунтів при спорудженні земляного полотна автомобільних доріг вже ні в кого не викликає сумнівів але існує певна невизначеність, до яких саме великих значень густини сухого ґрунту найдоцільніше ущільнювати ґрунти,

зокрема зв'язні. Теоретично і в лабораторних умовах доведено, що в процесі ущільнення густина сухого ґрунту може досягати дуже великих значень рис.1.

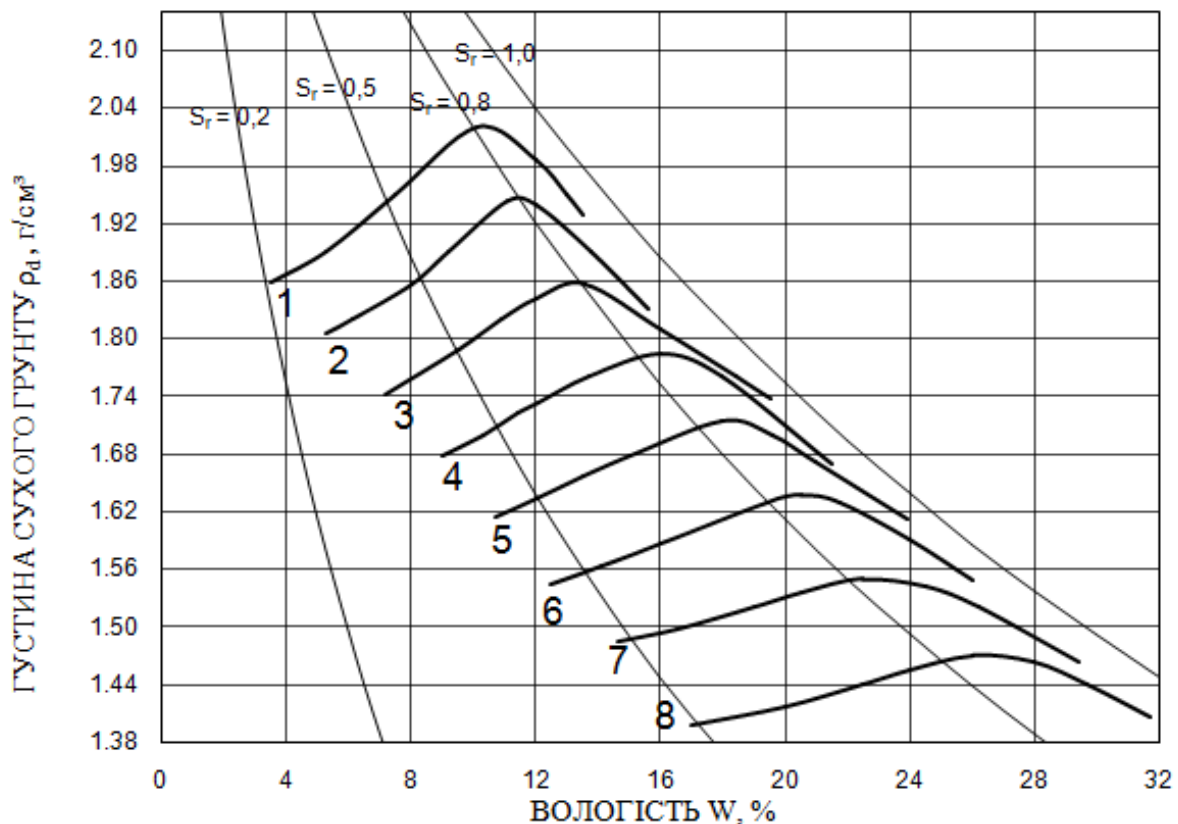


Рис. 1 ρ_{dmax} закономірно збільшується як при переході від більш важких ґрунтів (8) до більш легких (1), так і при збільшенні кількості роботи на одиницю об'єму будь-якого одного конкретного ґрунту

Наведені на рис.1 графіки показують, що як і для різних видів ґрунтів, від глин до гравіюватих пісків при однаковій кількості роботи, так само і для будь-якого окремо взятого ґрунту але із збільшенням роботи, яка витрачається на ущільнення одиниці об'єму ґрунту, можна досягти досить великих значень густини сухого ґрунту, при цьому оптимальна вологість увесь час зменшується. Таким чином доводиться, що ρ_{dmax} як і w_{opt} є лише змінними технологічними параметрами, які не мають певного фізичного змісту.

Основна частина

Як відомо головною точкою відліку в питанні необхідного ступеню ущільнення ґрунтів при спорудженні земляного полотна є значення так званої максимальної густини сухого ґрунту ρ_{dmax} , що досягається в процесі лабораторного, стандартного ущільнення [5,6]. Зазвичай ця величина повинна визначатись за допомогою графіка $\rho_d=f(w)$, приклади побудови якого завжди

надавались у відповідних нормативних документах у вигляді довідкових додатків. В гіршому випадку її інколи довільно оцінювати «на око» за даними таблиці результатів стандартного ущільнення. Але в будь-якому випадку мабуть ніколи достатньо ретельно не досліджувався взаємозв'язок таких графіків із загальними класифікаційними характеристиками і відповідно фізико-механічними властивостями конкретних ґрунтів у графічному вигляді, що могло дати хоча б деяке якісне, коли вже не кількісне, пояснення і обґрунтування таких технологічних характеристик як ρ_{dmax} та w_{opt} . Щоб з'ясувати це питання і ще краще його усвідомити розглянемо конкретний приклад, одночасно маючи на увазі, що ця схема є типовою для будь-якого виду зв'язного ґрунту від піщаних супісків до масних глин.

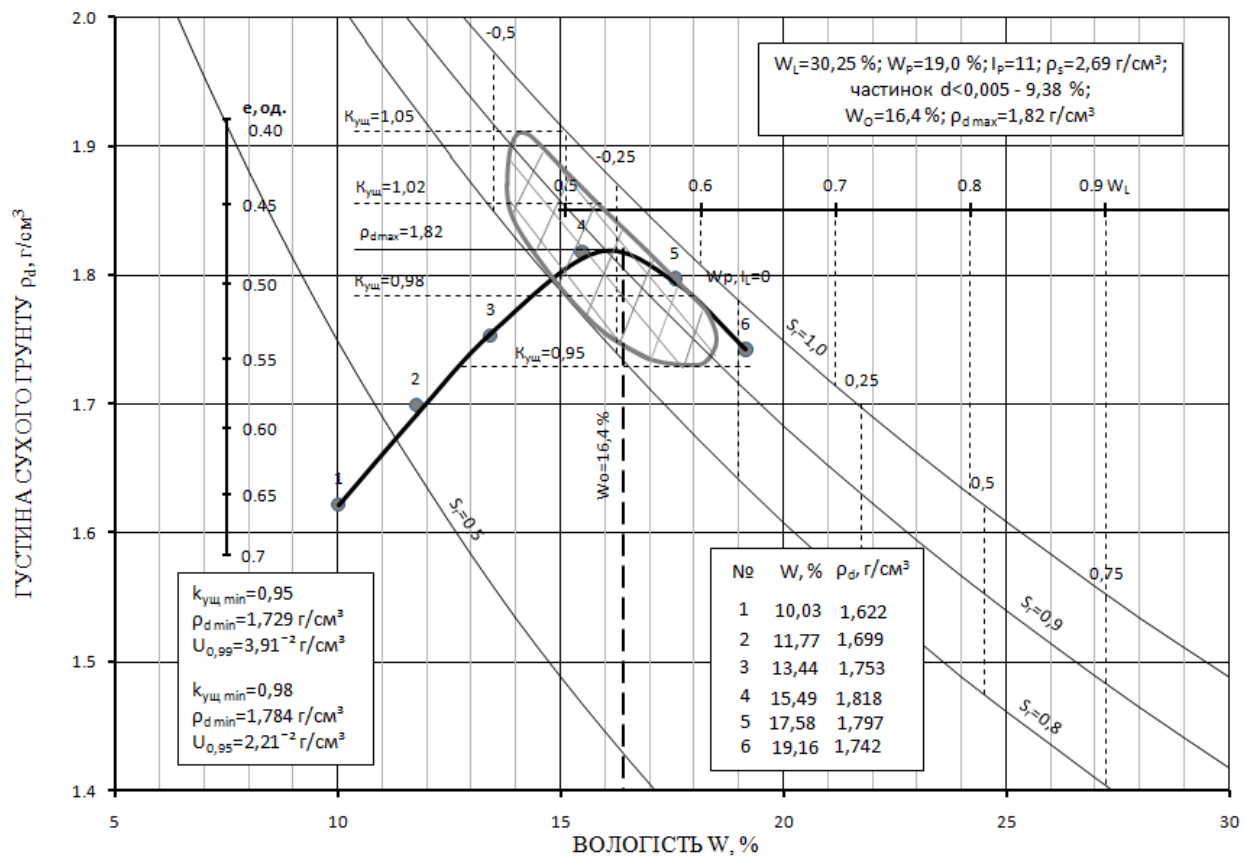


Рис. 2 Схема оцінки взаємозв'язку значень $\rho_{dmax}, \text{г/см}^3$ і $W_o, \%$ з основними класифікаційними показниками ґрунтів

На рис.2, у координатах вологість-густина сухого ґрунту, наведено графік стандартного ущільнення легкого пилуватого суглинку, як цього вимагали і вимагають всі попередні діючі нормативні документи. Але тут же, на рис.2, наведено значення фізичних класифікаційних показників цього ґрунту: w_L ; w_p ;

I_p ; ρ_s ; I_L ; S_r ; w/w_L , вміст глинистих частинок – $d < 0,005$ мм %. Торкаючись процедури побудови цього і таких графіків взагалі, варто нагадати, що необов'язково щоб якась із дослідних точок, отриманих при випробуванні обов'язково припадала саме на максимум дослідної кривої, а сама крива стандартного ущільнення проходила безпосередньо через всі експериментальні точки. В силу самої природи будь-яких експериментальних досліджень існує певний розкид отриманих даних і тому крива стандартного ущільнення повинна проводитись таким чином щоб найкраще, але достатньо плавно розташуватись між цими точками і водночас не відбулось суттєвого її спотворення. Загальний вигляд таких кривих для всіх видів ґрунтів в принципі дуже добре відомий у виробничих лабораторіях і лабораторіях проектних установ. Шкода тільки, що наведені у нормативних документах приклади побудови графіків стандартного ущільнення не дають повного уявлення щодо стану ґрунтів при ρ_{dmax} , w_{opt} стосовно всього поля значень показників вологості-густини як це показано на рис.2. Так, крім вже звичних шкал показників густини сухого ґрунту ρ_d , г/см³ і вологості w , % нанесені тут класифікаційні лінії ступеню водонасичення ґрунту S_r ч.од. показують, що при досягненні ρ_{dmax} всі зв'язні ґрунти, як в лабораторних, так і в польових умовах, переходять у водонасичений стан ($S_r \geq 0,8$), тобто формально вже майже сягають розрахункові вологості. Про фактичну можливу розрахункову вологість буде сказано далі. На ці ж ступені водонасичення ґрунтів ($S_r = 0,8-1,0$) поширюються і показники пластичності ґрунтів – I_L та значення вологостей на межах їх пластичного стану – w_p та w_L , які відкладаються вздовж лінії повного водонасичення $S_r = 1,0$. Вертикальними лініями опущеними із класифікаційних точок показника пластичності $I_L = 0; 0,25; 0,50$ і т.ін., сегменти між $S_r = 0,8-1,0$ діляться на окремі блоки, стосовно стану ґрунтів у яких зазвичай наводяться відповідні цим вологостям і коефіцієнтам пористості $e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d$ табличні значення показників механічної міцності і деформативності: кути внутрішнього тертя – ϕ , зчеплення – C та модуля деформації – E_d ґрунтів, які використовують у цивільному та промисловому будівництві при розрахунках фундаментів. Таким чином при досягненні значення ρ_{dmax} насипні зв'язні ґрунти у дорожньому будівництві повинні знаходитись також і у твердому стані ($I_L < 0$, де $I_L = 0$ відповідає w_p). В першу чергу це поширюється на ґрунт робочого шару з $k_{yщ \min} \geq 0,98$ і частково, коли частина значень ρ_{di} відповідає напівтвердому стану, для

$k_{yщ \min}=0,95$ ($I_L=0-0,25$), тобто повинні бути у всіх інших конструктивних елементах насипів, що штучно ущільнюються при їх спорудженні.

З'ясувавши у викладеному раніше, що стан ґрунтів, які штучно ущільнюються при спорудженні земляного полотна автомобільних доріг при ρ_{dmax} повинен відповідати твердому стану ($I_L < 0$) і одночасно бути водонасиченим ($S_r \geq 0,8$) можемо перейти до характеристики оцінки ущільненості ґрунтів власне за їх щільністю–густиною сухого ґрунту виражену через коефіцієнт пористості. Ще у 1947 році В.А.Приклонський [7,8], а з ним згодні і інші дослідники [9], для характеристики ущільненості глинистих порід у природному стані за аналогією із показником текучості I_L запропонував показник ущільненості:

$$k_d = \frac{e_f - e_i}{e_f - e_p} \quad (1)$$

де e_i – коефіцієнт пористості природного ґрунту;

e_f – його коефіцієнт пористості на верхній межі пластичності w_L та e_p – коефіцієнт пористості на нижній межі пластичності w_p .

Незважаючи на не дуже велике поширення у ґрунтознавчій науковій літературі, цей показник дає досить об'єктивну і вичерпну оцінку стану ґрунтів за значенням їх густини сухого ґрунту. Якщо за формулою (1) оцінювати стан ущільненості ґрунтів при ρ_{dmax} , то можна отримати таке значення k_d для розглянутого у прикладі ґрунту:

$$k_d = \frac{0,81 - 0,48}{0,81 - 0,51} = 1,1$$

І як свідчать подібні розрахунки для багатьох інших видів зв'язних ґрунтів, всі вони при ρ_{dmax} мають значення $k_d > 1,0$. Суть таких значень показника k_d полягає у тім, що коли в природних умовах ґрунти мають $k_d > 1,0$ їх називають переущільненими і такі ґрунти відносно рідко зустрічаються в геологічній практиці. Найбільш відомими серед них у четвертинних відкладеннях є моренні ґрунти, що утворилися під дією тиску потужного крижаного покриву. Такі ґрунти практично не змінюють набутих властивостей від дії погодно-кліматичних факторів. Таким чином переущільненні в процесі спорудження насипів ґрунти дуже добре зберігають набути при цьому показники міцності і

деформативності. Про це ж пишуть і автори роботи [3]: «Следует иметь в виду, что если максимальная плотность грунта обеспечивает необходимую его прочность и водоустойчивость, то расчётная плотность, задаваемая с введением коэффициента уменьшения k , – ни прочности, ни водоустойчивости не обеспечивает!». А посилаючись на одну із наукових статей В.М.Безрука, нагадується, що «по мере приближения плотности и влажности грунта к оптимальной, затрудняется возможность последующего увлажнения грунта, при влажности его равной оптимальной, капиллярное передвижение воды в нём практически не происходит. Наиболее водоустойчивыми оказываются грунты, уплотнённые при оптимальной влажности до наибольшей плотности».

Якщо ж розглядати показники (міцності і деформативності) стосовно їх використання для розрахунку дорожніх одягів різних типів за таблицями, що наводяться у відповідних нормативних документах [10,11], то там вони представлені щодо стану ґрунтів у долях так званої відносної вологості (відносно w_L) хоча цей показник слід визнати у всіх випадках недостатньо коректним. Шкала значень показника w/w_L також показана на рис. 2. Суттєвим недоліком представлення значень показників механічних властивостей ґрунтів через відносну вологість є невизначеність їх стану стосовно другого класифікаційного показника зв'язних ґрунтів – w_p (нижньої межі пластичності). І такий зв'язок з'ясовується тільки на схемах подібних тій, що показано на рис.2. Так з цього рисунка видно, що для робочого шару, де коефіцієнт ущільнення повинен бути не менше 0,98, розрахункова відносна вологість може бути не більше $0,60w_L$ навіть для більш легких ґрунтів.

Для важких же ґрунтів, таких як масні глини Рис.3, відносна розрахункова вологість навіть для коефіцієнту ущільнення 0,90 може сягати не більше $0,55 w_L$. Звідси можна зробити висновок, що коли ґрунт у робочому шарі при спорудженні земляного полотна справді є ущільненим, то таблиці розрахункових значень характеристик ґрунтів типу Д.7 [10] чи В.6 [11], у такому вигляді як вони є зараз, – не мають права для існування. Якщо ж навпаки, то про яке ущільнення взагалі може йти мова.

В такій самій мірі це стосується й таблиць так званих розрахункових вологостей ґрунтів для різних умов зволоження земляного полотна Додаток Д [10]. А.К. Бируля та інші [3], ще у 1952 році показали, що вологість ґрунтів у природному стані протягом року змінюється тільки через відносне наповнення пор ґрунту водою або повітрям. При цьому густина сухого ґрунту практично не змінюється (рис.4).

Якщо застосувати таку схему до переущільненого ґрунту, то діапазон зміни в ньому вологості і повітря з одного боку різко зменшується, а з іншого боку значення відносної розрахункової вологості ґрунтів характерне для природного стану ні в якому разі не можна переносити на переущільненні ґрунти. Підтвердженням цього може бути успішний досвід експлуатації доріг як у Європі так і Північній Америці. Таким чином можна зробити висновок, що ґрунти ущільненні відповідно до вимог стандартного ущільнення з $\overline{\rho_d} = \rho_{d \max}$ добре зберігають свої механічні властивості протягом дуже тривалого часу. Зрозуміло, що можуть траплятись природні умови, коли вологість ґрунтів практично увесь час перевищує вологість на їх нижній межі пластичності і їх практично неможливо переущільнити. Але у цьому разі проектом повинні бути передбачені додаткові заходи щодо підсилення дорожньої конструкції вцілому чи то тільки ґрунтів робочого шару. В окремих випадках такі заходи можуть поширюватись на весь об'єм насипу або тільки щодо укисних частин.

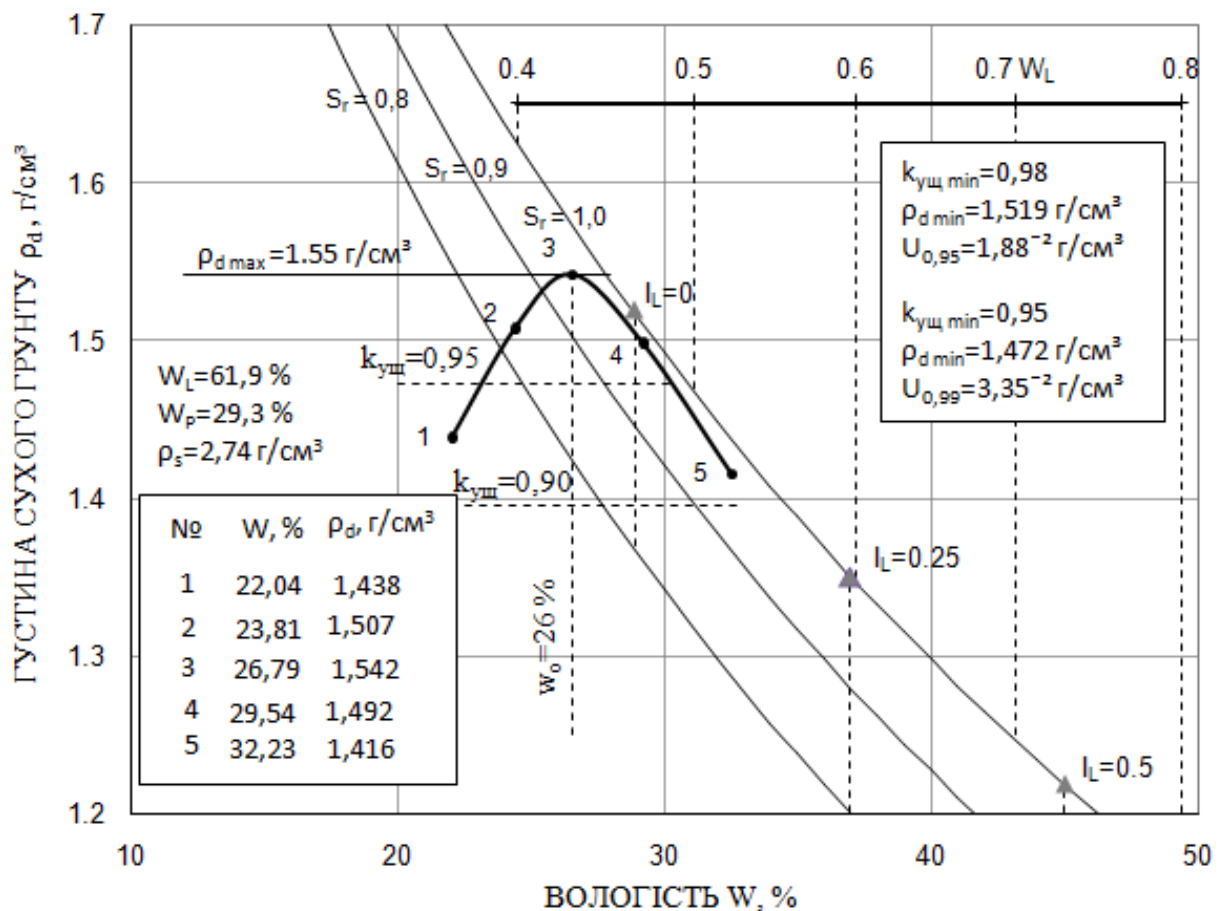


Рис.3 Співвідношення показників $\rho_{d \max}$ г/см³ і w_0 % з класифікаційними показниками масної глини

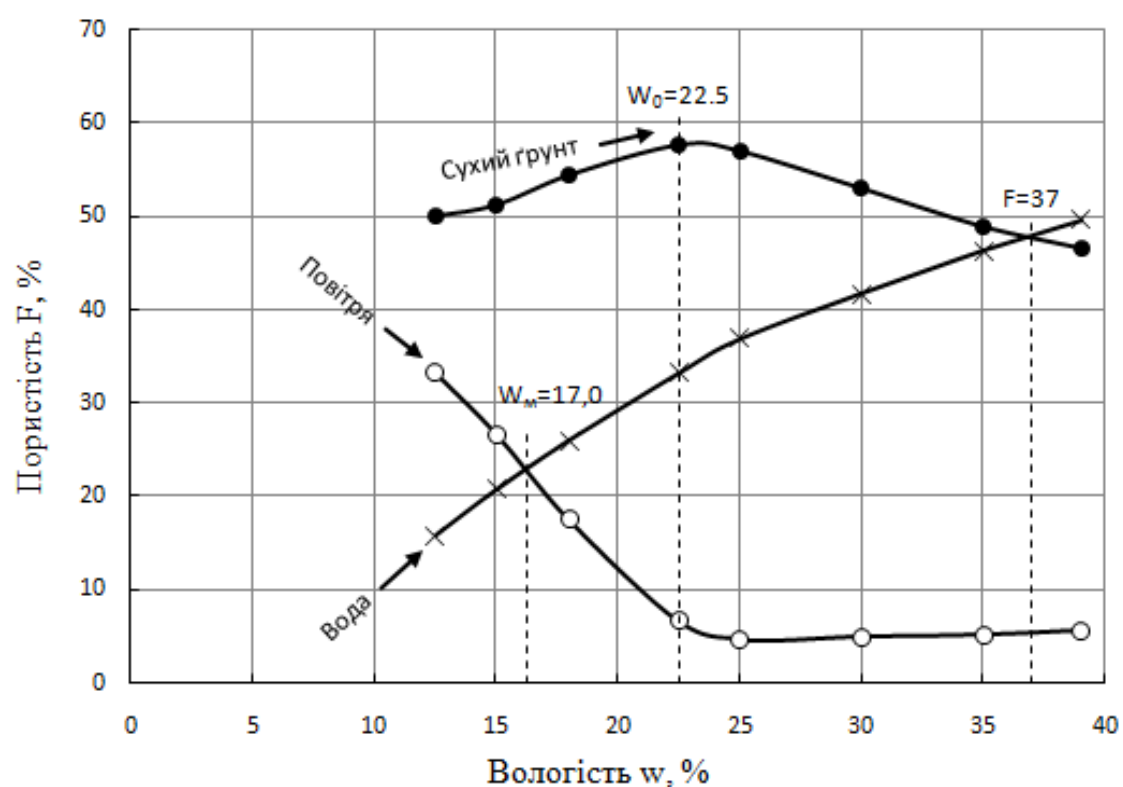


Рис. 4а Співвідношення об'ємів сухого ґрунту, води і повітря при стандартному ущільненні ґрунту [3]

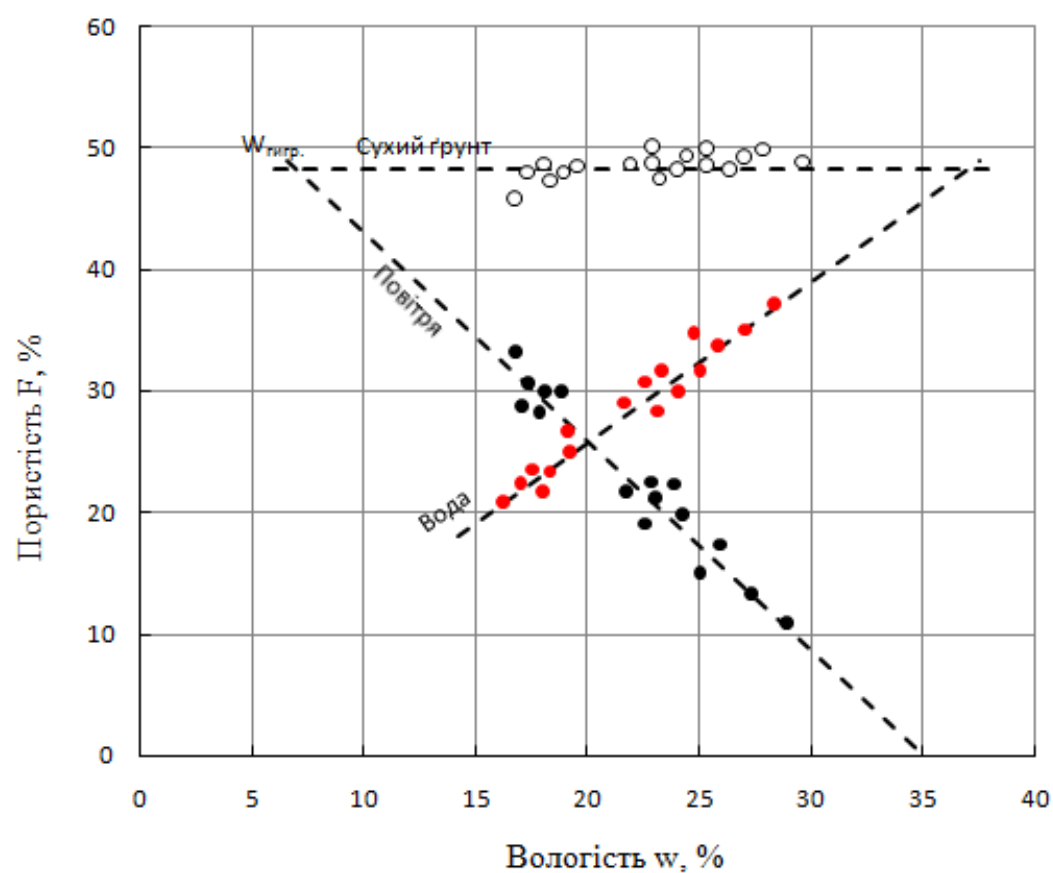


Рис. 4б Співвідношення об'ємів сухого ґрунту, води і повітря ґрунту в природному заляганні [3]

На рис. 5 показано статистичні розподіли густини сухого ґрунту легкого пилюватого суглинку побудовані згідно діючих вимог, таблиця 22.1 [12]. Тут крім показників густини сухого ґрунту і значень коефіцієнтів ущільнення показані і відповідні їм значення показників текучості I_L і відносної вологості w/w_L . Аналіз цього рисунка показує необхідність безумовної відмови від стереотипу розглядати значення густини сухого ґрунту, що відповідають мінімальним значенням коефіцієнтів ущільнення як середні значення показника щільності для певних конструктивних елементів земляного полотна. Так не тільки для $k_{ущ \min}=0,90$, де майже половина значень розподілу відповідає м'якопластичному стану ґрунту, який не рекомендується використовувати навіть при розрахунках фундаментів будівель, хоча природні ґрунти порівняно із насипними мають ще й структурне зчеплення, яке значно (у 2,0–2,5 рази) підвищує їх несучу здатність, але і при $k_{ущ \min}=0,95$, де майже для чверті значень густини сухого ґрунту може бути туго пластичний стан. Більш того, навіть для $k_{ущ \min}=0,98$ при такому підході більше половини значень розподілу може знаходитись не у твердому, а в напівтвердому стані ($I_L=0-0,25$). Таким чином це ще раз підтверджує, що для зв'язних ґрунтів середина розподілу густини сухого ґрунту повинна відповідати $k_{ущ}=1,0$, або й трохи більше. В зв'язку з цим мінімальні розрахункові значення модулів пружності повинні бути згідно діючих норм [10] не менше 65,0–75,0 МПа, хоча ці значення також ще вимагають певної експериментальної перевірки.

Повертаючись до питання визначення розрахункових значень вологості, густини сухого ґрунту та будь-яких інших показників слід скористатися рекомендаціями ДСТУ Б В.2.1-5-96 [13] або В.Д.Ломтадзе [10], який для спрощення розрахунків, посилаючись на такі ж нормативні документи, що діяли раніше, пропонує визначати розрахункове значення $\rho_{дроз}$ за формулою:

$$\rho_{дроз} = \overline{\rho_d} - U. \quad (2)$$

Тобто розрахункове значення густини сухого ґрунту буде дорівнювати середньому значенню розподілу ($\overline{\rho_d} = \rho_{d \max}$) мінус середнє квадратичне відхилення. Проведені порівняльні розрахунки (із залученням директивних нормальних розподілів, які пропонується використовувати для контролю якості ущільнення ґрунтів) показали дуже невелику різницю в отриманих результатах ($\pm 0,002$ г/см³).

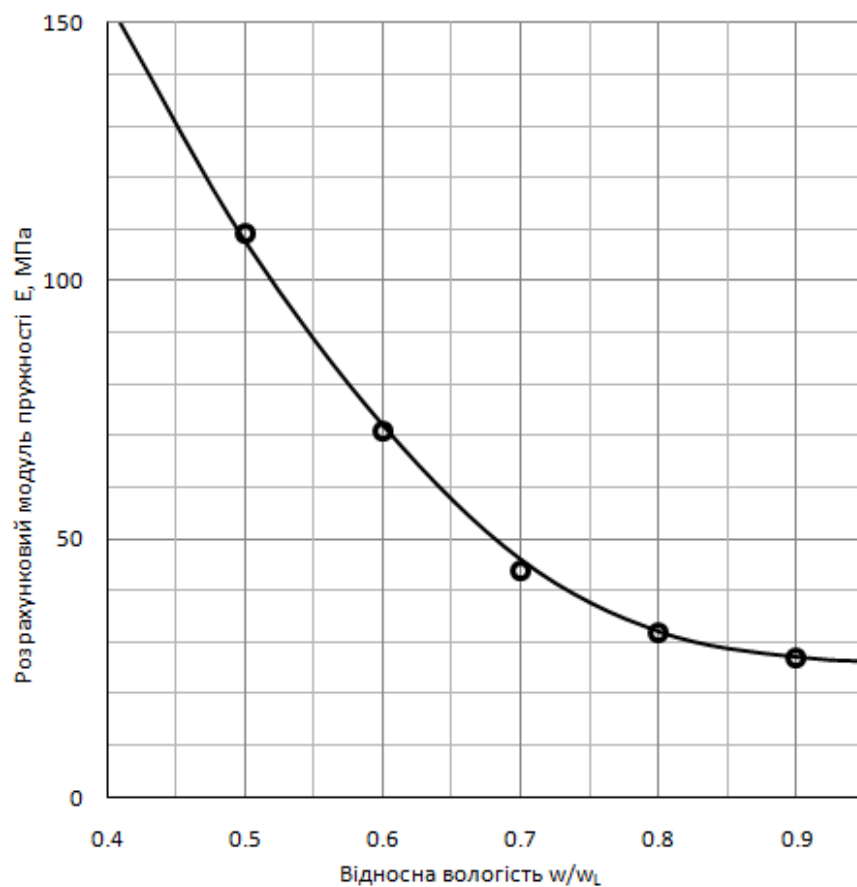
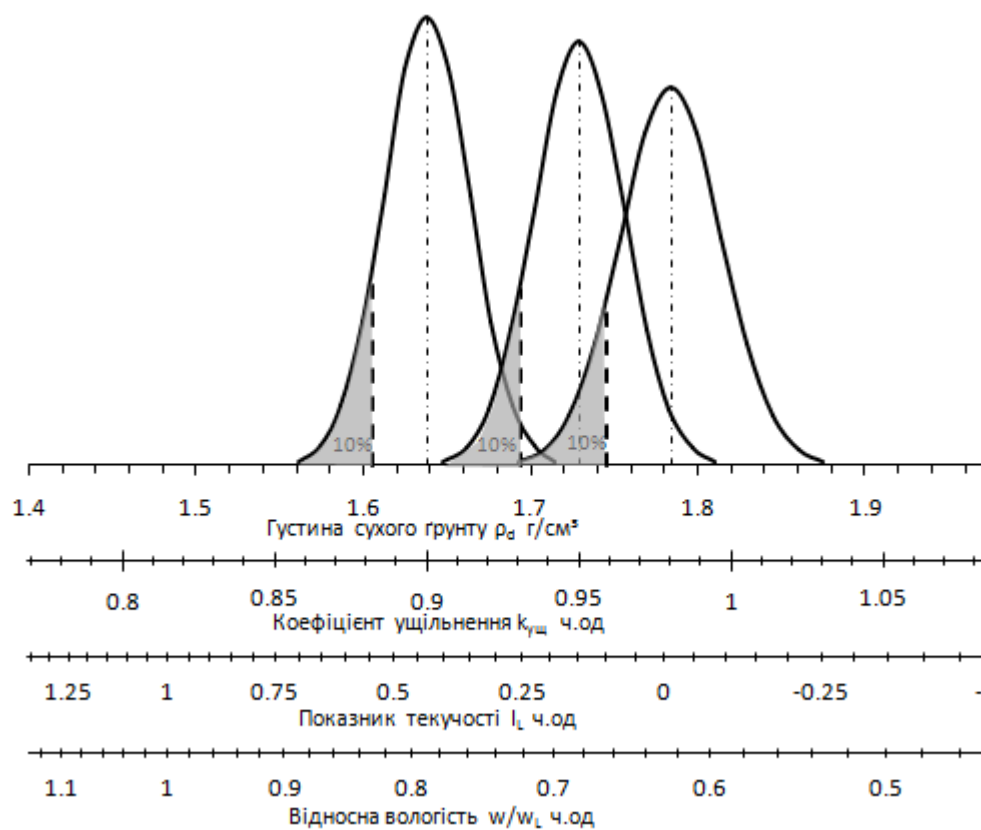


Рис. 5. Порівняльна оцінка можливих розрахункових вологостей легкого пилуватого суглинку при діючих нормативних вимогах до ступеня ущільнення ґрунтів згідно вимог ДБН В.2.3-4:2007

В той же час ці розрахунки показують, що при $\overline{\rho_d} = \rho_{d \max}$ і $\rho_{d \min}$ з $k_{y_{\text{ущ}}} = 0,98$ розрахункова густина ґрунту буде відповідати $k_{y_{\text{ущ}}} = 0,99$, а при $\rho_{d \min}$ з $k_{y_{\text{ущ}}} = 0,95$ – $k_{y_{\text{ущ}}} = 0,98$. І в першому, і в другому випадку розрахункова вологість при повному водонасиченні ґрунту $S_r = 1,0$, що трапляється досить рідко, буде менше, ніж вологість ґрунту на нижній межі пластичності – w_p .

Якщо ж виразити ці розрахункові вологості відносно вологості верхньої межі пластичності зв'язних ґрунтів, то можна побачити, що ці відносні вологості будуть коливатись переважно у інтервалі $0,45 - 0,60 w_L$. Звідси можна зробити висновок, що розрахункові вологості штучно ущільнених в дорожніх насипах (і не тільки дорожніх) ґрунтів більше залежать від ступеню і однорідності ущільнення ніж від дії погодно-кліматичних умов. Тим більше це стосується України, яка має в основному відносно посушливий клімат і невелику глибину промерзання ґрунтів в зимовий період.

Висновки

1. Фізичний зміст необхідної і достатньої величини сухого ґрунту зв'язних ґрунтів при спорудженні земляного полотна автомобільної доріг, що відповідає $\rho_{d \max}$ ($k_{y_{\text{ущ}}} = 1,0$) і $w_{\text{опт}}$ згідно діючих нормативних документів, полягає в тім, що в цьому стані вони досягають найбільшої стабільності своїх фізико-механічних властивостей у часі. Цей стан відповідає твердому стану ($I_L \leq 0$) переущільненого ($k_d \geq 1,0$), водонасиченого ($S_r = 0,8 - 1,0$) ґрунту з мінімальним вмістом повітря ($V = 1,0 - 5,0\%$) при вологостях між нижньою межею пластичності (w_p) і межею зступу (w_{sh}). В такому стані припиняється капілярне переміщення води, зникають умови для виникнення тріщин зступу і морозного зривання через відносно невелику загальну вологість кожного з ґрунтів, що ущільнюється, а робота, яка витрачається на досягнення такого стану є найменшою. Значення показників механічної міцності і деформативності ґрунтів при цьому є достатньо великими для забезпечення як загальної міцності і стійкості насипного ґрунту, так і розташованої на ньому дорожньої конструкції.

2. Для забезпечення довготривалого ефекту від штучного ущільнення ґрунту не менше 50% значень всіх вимірів повинні мати густину сухого ґрунту $\rho_d \geq \rho_{d \max}$, що завжди досягалось рівнем розвитку ґрунтоущільнюючої техніки, тобто $\rho_{d \max}$ повинно бути серединою нормального статистичного розподілу $\overline{\rho_d} = \rho_{d \max}$. Кількість мінімальних табличних значень коефіцієнтів ущільнення повинна бути обмежена лише двома значеннями: для робочого шару і всіх інших частин земляного полотна, наприклад: 0,98 і 0,95. Причому ці значення $k_{y_{\text{ущ}}} \min$ повинні регламентувати значення $\rho_{d \min}$ не як середини нових розподілів,

а лише як крайні їх межі, більше значень яких повинно бути 90%; 95% чи 99% всіх вимірів показники ρ_d штучно ущільненого ґрунту.

При цих умовах мінімальні розрахункові значення $\rho_{d\text{ роз}}$ ніколи не будуть менше тих, що відповідають $k_{\text{ущ}}=0,99$ і $0,98$ для всіх конструктивних елементів насипів, а відповідні їм мінімальні розрахункові вологості ґрунту будуть $w_{\text{роз}} \leq w_p$ ($I_L \leq 0$), тобто $w_{\text{роз}} \leq 0,6 w_L$.

3. Таким чином на перший план в забезпеченні якості і надійності земляного полотна автомобільних доріг входить не стільки забезпечення достатнього рівня розвитку ґрунтоущільнюючих машин, який і так є досить високим, скільки необхідність забезпечення виробничих лабораторій високопродуктивним обладнанням для оперативної оцінки фізико-механічних властивостей добре ущільненого міцного ґрунту, в т.ч. і шляхом оперативного відбору монолітів кернавідбірникам з наступним застосуванням ріжучих кілець.

Література

1. Механика ґрунтов для инженеров-дорожников (грунты в дорожном строительстве) перевод с англ. – М.: Автотрансиздат, 1957.
2. Лебедев А.Д. Уплотнение ґрунтов при различной их влажности. – Л.: Стройвоенморизда, 1949.
3. Бируля А.К., Бируля В.И., Носич А.И. Устойчивость ґрунтов дорожного полотна в стенных районах. – М.: Дориздат, 1951.
4. Телегин М. Я. Методы уплотнения дорожных насыпей. – М.: Дориздат, 1952.
5. ДСТУ Б.В.2.1-12:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Метод лабораторного визначення максимальної щільності. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010.
6. ГОСТ 22733-77. Ґрунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. – М.: Издательство стандартов, 1979.
7. Приклонский В.А. Об использовании пределов Аттерберга для характеристики состава и состояния тонкодисперсных отложений. Сб. Вопросы теоретической и прикладной геологии №2, Госгеолиздат, 1947.
8. Приклонский В.А. Ґрунтоведение. Часть 1. – М.: Госгеолтехиздат, 1955.
9. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. – Л.: Недра, 1970.
10. ВБН В.2.3-218-186-2004. Споруда транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. – К.: Укравтодор, 2004.
11. ВБН В.2.3-218-186-008-97. Відомчі будівельні норми України. Проектування та будівництво жорстких та з жорсткими прошарками дорожній одягів. – К., 1997.
12. ДБН В.2.3-4:2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. – Київ, Мінрегіонбуд, 2007.
13. ДСТУ Б В.2.1-5-96. Основи та підвалини будинків та споруд. Ґрунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань. – Київ, Укрархбудінформ, 1997.

Онищенко А.М., канд. техн. наук, Жуков О.О., канд. техн. наук,
Гаркуша М.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВКИ «ОДОЛ-СГ» В ҐРУНТІ НА ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

Анотація. В статті наведено проектування складів ґрунтів укріплених добавкою «ОДОЛ-СГ» та встановлено оптимальні витрати даної добавки для укріплення ґрунту і дослідження впливу на фізико-механічні показники. Метою даного дослідження була оцінка ефективності використання добавки «ОДОЛ-СГ» при стабілізації та укріпленні ґрунтів. Для дослідження було використано декілька видів ґрунтів, різних за походженням та гранулометричним складом, та проведено порівняння впливу добавки на фізико-механічні властивості від її кількості. Виявлено, позитивне підвищення показників в порівнянні з традиційним в'язучим. Також було порівняно ефективність закріплювача ґрунту «ОДОЛ-СГ» з іншими існуючими добавками. Результати, отримані під час випробування, дають можливість оцінити ефективність даної добавки, стійкість та стабільність її при впливі навколишнього середовища, а також застосування для різних типів дорожнього одягу.

Ключові слова: укріплення ґрунту, стабілізація ґрунту, оптимальні витрати, характеристика укріпленого ґрунту, випробування ґрунту, дослідження ґрунту, вплив повторності дії навантаження.

Аннотация. В статье приведены проектирование составов грунтов укрепленных добавкой «ОДОЛ-СГ» и установлены оптимальные затраты данной добавки для укрепления грунта и исследование влияния на физико-механические показатели. Целью данного исследования была оценка эффективности использования добавки «ОДОЛ-СГ» при стабилизации и укреплении грунтов. Для исследования было использовано несколько видов грунтов, разных за происхождением и зерновым составом, и проведено сравнения влияния добавки на физико-механические свойства от ее количества. Выведено, положительное повышение показателей в сравнении с традиционным вяжущим. Также было сравнительно эффективность укрепителя

грунта «ОДОЛ-СГ» с другими существующими добавками. Результаты, полученные во время испытания, дают возможность оценить эффективность данной добавки, стойкость и стабильность ее при влиянии окружающей среды, а также применение для разных типов дорожной одежды .

Ключевые слова: укрепление грунта, стабилизация почвы, оптимальные затраты, характеристика укрепленного грунта, испытания грунта, исследования почвы, влияние повторности действия нагрузки.

Annotation. In clauses are given designing structures soil strengthening by the additive "ОДОЛ-СГ" and the optimum expenses of the given additive for strengthening a ground and research of influence on physical-mechanical parameters are established. The purpose of the given research was an estimation of efficiency of use of the additive "ОДОЛ-СГ" at stabilization and strengthening soils. For research some kinds soils, different behind an origin and grain structure were used, and is carried out comparisons of influence of the additive on physical-mechanical properties from its quantity. The positive increase of parameters in comparison with traditional knitting is revealed. Also there was rather efficiency strengthening of a ground "ОДОЛ-СГ" with other existing additives. The results received during test, enable to estimate efficiency of the given additive, stability and stability her at influence of an environment, and also application for different types of road clothes.

Keywords: soil reinforcement, soil stabilization, the optimal cost, fortified soil characteristics, soil testing, soil investigation, the influence of repetition of the load.

Вступ

Внаслідок збільшення інтенсивності дорожнього руху, виникає передчасне руйнування дорожнього одягу, що в свою чергу потребує значних витрат на ремонтні роботи. Однією з головних причин, являється збільшення вантажонапруженості, внаслідок того що на дорожній одяг часто діють навантаження значно перевищуючі її граничні. Отже, до дорожнього одягу та ґрунту земляного полотна повинні висуватися нові підвищені вимоги, щоб забезпечити нормальну експлуатацію автомобільної дороги, її довговічність та забезпечити безпеку руху.

Традиційні рішення з підвищення несучої здатності дорожнього одягу за рахунок потовщення його шарів не вирішує в повній мірі проблему підвищення

загальної міцності дорожнього одягу, а отже і не забезпечує необхідної довговічності.

При зведенні земляного полотна автомобільних доріг в багатьох випадках використовуються місцеві слабкі ґрунти, заміна яких іншим ґрунтом є економічно недоцільною. Недостатні деформаційні показники, а також низька міцність призводить до виникнення в земляному полотні зсувів шарів відносно один одного, що в свою чергу спонукає виникнення на покритті різних пошкоджень та деформацій.

Одним із надійних шляхів підвищення якості слабого ґрунту є покращення його властивостей шляхом введення різних стабілізуючих або укріплюючих добавок [1].

Авторами було створено добавку «ОДОЛ-СГ» для стабілізації та укріплення ґрунтів, яка за проведеними лабораторними дослідження не поступається закордонним аналогам, дозволяє значно підвищити фізико-механічні показники укріпленого ґрунту.

Відповідно до діючої методики проектування дорожнього одягу [2-3] для виконання перевірки впливу «ОДОЛ-СГ» на підвищення довговічності дорожнього одягу було визначено його розрахункові характеристики (деформаційні та міцнісні показники).

Метою роботи було вирішити поставлене завдання:

- проектування складів ґрунтів укріплених добавкою «ОДОЛ-СГ»;
- встановлення оптимальних витрат даної добавки для укріплення ґрунту;
- визначення фізико-механічних характеристик укріпленого ґрунту добавкою «ОДОЛ-СГ».

Матеріали для досліджень. Для вирішення поставлених завдань, були відібрані проби різних ґрунтів для встановлення впливу мінералогічного складу, гумусових речовин та кислотності середовища на властивості укріпленого ґрунту. Ґрунти, представлені супіском піщаним (проба № 1) та мілким піском (проба № 2) з різною питомою поверхнею. Для дослідження було вибрано декілька видів ґрунту з метою оцінки впливу зернового складу та питомої поверхні на ефективність застосування добавки. З метою порівняльної ефективності впливу добавки ОДОЛ-СГ було використано відповідно до нормативу[2] в'язуче – портландцемент М 400.

Дослідження полягало в порівнянні фізико-механічних властивостей ґрунтів змішаних з добавкою ОДОЛ-СГ 5, 9, 13% та відповідно з 5, 9, 13% портландцементу і при оптимальній вологості з них формували зразки-циліндри та зразки-балочки. Зразки витримували у спеціальній герметичній шафі (у вологих умовах) – над ємністю з водою протягом 90 діб і випробовували для визначення вказаних характеристик на 90-ту добу у водонасиченому стані [2, 3].

Методика та результати дослідження. Характеристики укріпленого ґрунту визначали згідно нормативів [2, 3].

Межа міцності при стиску визначалась на циліндричних зразках за допомогою гідравлічного пресу із швидкість вільного ходу поршня 3 мм/хв.

Визначення межі міцності на стиск зразків 90-добового терміну твердіння у водонасиченому стані показали, що супісок піщанистий з добавкою 5% ОДОЛ-СГ мав міцність при стиску 0,94 МПа, що на 60% вище міцності проби №1 з цементом такої ж кількості (рис. 1). Із збільшенням добавки ОДОЛ-СГ міцність зразків проби №1 підвищувалася, досягаючи 2,8 МПа при 9% ОДОЛ-СГ та 4,22 МПа при 13% ОДОЛ-СГ. Піски мілкі (проба №2) при додаванні до них 5% ОДОЛ-СГ характеризувалися 11%-вим зростанням міцності (рис. 2). Це свідчить про те, що максимальні показники міцності можна отримати при укріпленні ґрунтів з підвищеною питомою поверхнею частинок, а саме ґрунтів із вмістом глинистих часток.

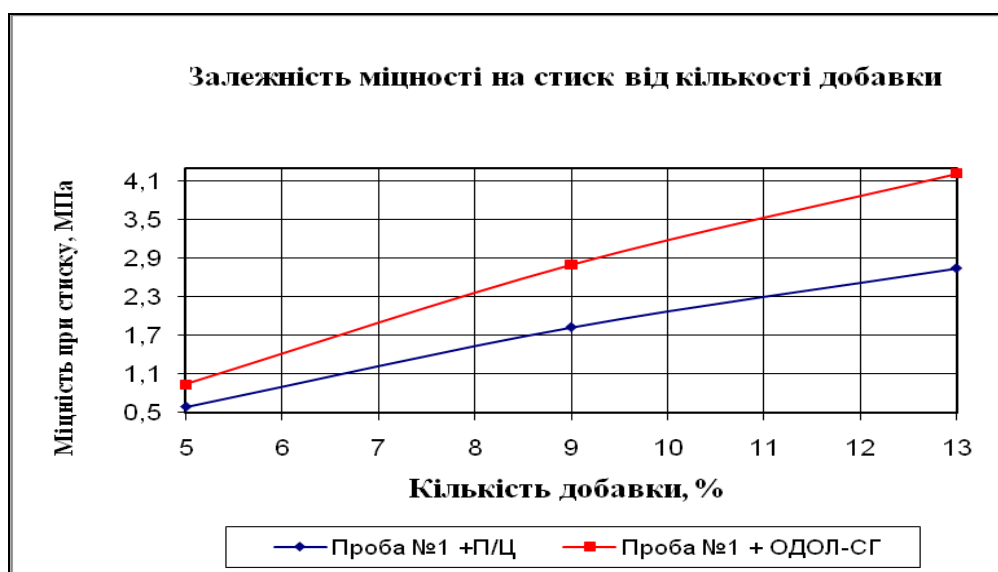


Рис. 1. Залежність міцності на стиск проби №1 при використанні різної кількості добавок.

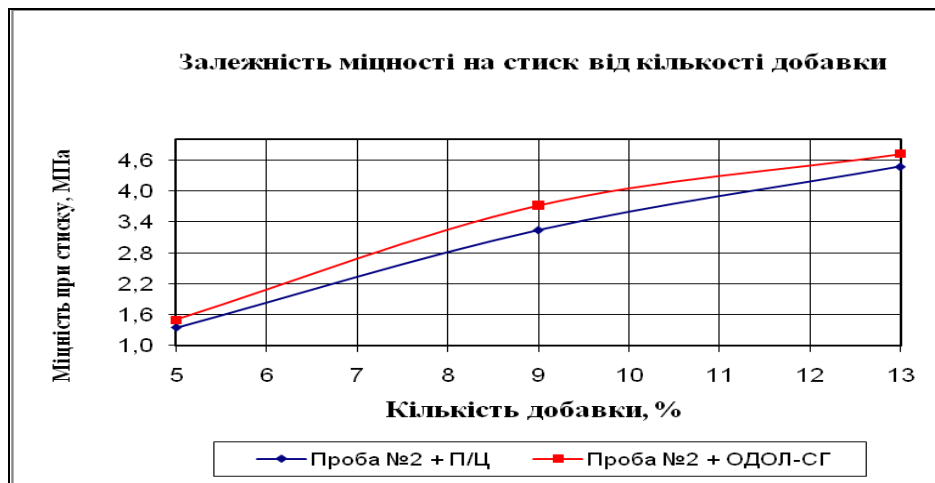


Рис. 2. Залежність міцності на стиск проби №2 при використанні різної кількості добавок

Межа міцності на розтяг при згині визначалась на зразках-балочках. Дане випробування проводили на машині марки МІІ-100 при температурі +20 °С і швидкості деформування 3 мм/хв.

Визначення межі міцності на розтяг при згині зразків 90-добового терміну твердіння у водонасиченому стані показали, що супісок піщанистий з добавкою 5% ОДОЛ-СГ мав міцність 0,156 МПа, що на 24% вища за еталон (рис. 3). Із збільшенням добавки ОДОЛ-СГ міцність зразків проби № 1 підвищувалася, досягаючи 0,288 МПа при 9% ОДОЛ-СГ та 0,492 МПа при 13% ОДОЛ-СГ. Піски мілкі (проба №2) при добавці до них 5% ОДОЛ-СГ характеризувалася міцністю – 0,22 МПа.

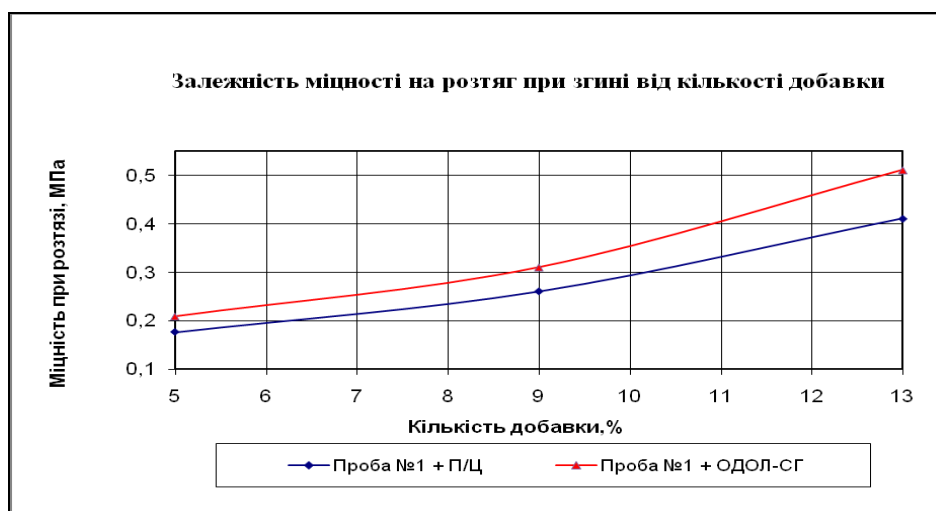


Рис. 3. Залежність міцності на розтяг при згині проби №1 при використанні різної кількості добавок

При збільшенні добавки ОДОЛ-СГ міцність таких зразків збільшується із меншою інтенсивністю і при 9% ОДОЛ-СГ становить 0,45 МПа для проби № 2 та при 13% ОДОЛ-СГ - 0,53 МПа (рис. 4).

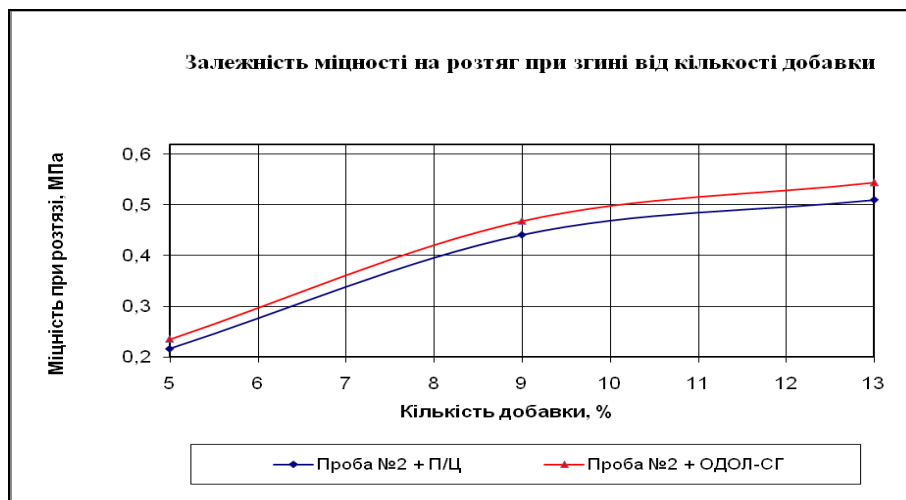


Рис. 4. Залежність міцності на розтяг при згині проби №2 при використанні різної кількості добавок

Випробування на морозостійкість проводили на трьох зразках кожного складу після їх твердіння протягом 90 діб. після повного водонасичення зразки піддавали почергово заморожуванню протягом чотирьох годин та розморожуванню.

Кількість циклів замороження - відтавання складала 5, 10, 15 . Температура замороження становила мінус 18 °С.

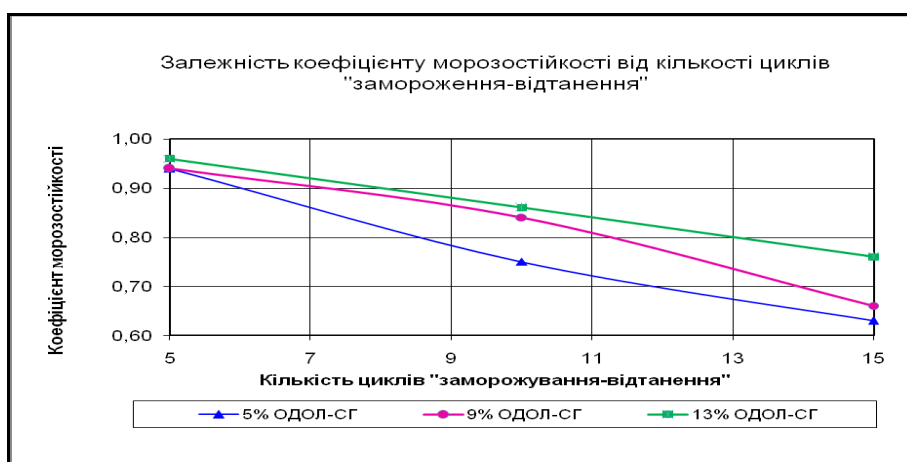


Рис. 5. Залежність коефіцієнту морозостійкості від кількості циклів «замороження-відтавання» проби ґрунту №1 при використанні різної кількості добавки ОДОЛ-СГ

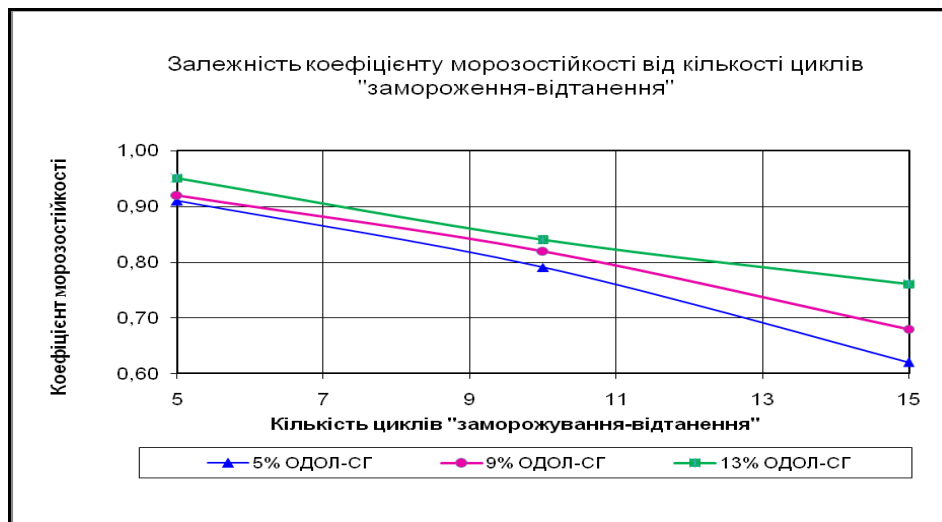


Рис. 6. Залежність коефіцієнту морозостійкості від кількості циклів «замороження-відтанення» проби ґрунту №2 при використанні різної кількості добавки ОДОЛ-СГ

Модуль пружності зразків визначали при температурі $+20^{\circ}\text{C}$ і тривалості дії навантаження 0,1 с. за допомогою маятникового пристрою.

При визначенні модуля пружності цементогрунтового зразки досліджуваних проб ґрунтів, характеризувалися незначними величинами жорсткості і в залежності від виду ґрунту та кількості цементу модуль пружності змінювався від 108 - 298 МПа при 5% цементу до 359 - 628 МПа при 13 % цементу та 118-319 МПа при 5% до 536-716 МПа при 13% відповідно добавки ОДОЛ-СГ.

Зразки ОДОЛ-СГ при такому ж вмісті добавки характеризувалися практично однаковим значенням модуля пружності. Результати визначення модулів пружності укріпленого ґрунту проб № 1, № 2, наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати визначення модуля пружності укріпленого ґрунту

№ п/п	Модуль пружності, МПа					
	Проба №1			Проба №2		
	Кількість добавки, %			Кількість добавки, %		
	5	9	13	5	9	13
Добавка ОДОЛ-СГ						
1	118	314	536	319	509	716
Добавка портландцемент М 400						
2	108	224	359	298	438	628

Вплив повторності дії навантаження від транспортних засобів при розрахунку дорожніх одягів враховується шляхом введення в розрахунок характеристик втоми дорожньо - будівельних матеріалів. Випробування на втому дорожньо - будівельних матеріалів полягає у моделюванні дії розтягуючих горизонтальних нормальних напружень, що виникають при згині монолітних шарів від дії колеса транспортних засобів.

Велике значення для обґрунтованої оцінки впливу добавки ОДОЛ-СГ на підвищення довговічності дорожнього одягу мають дані про показники втоми. Показник втоми, залежить від кількості в'язучого для всіх досліджуваних проб ґрунтів і зростає з його збільшенням (табл.2).

Для визначення показника втоми випробовували цементоґрунтові зразки при дії плавно зростаючого з постійною швидкістю силового навантаження в умовах розтягу при згині.

На рис. 7 зображено порівняння поширених в Україні закріплювачів ґрунту [4,5]. Дослідження даних добавок проводилося в різний час, різними дослідниками, але на одному виді ґрунту - глинистому(супісок піщанистий). Закріплювачі та традиційне в'язуче (портландцемент) вносилося в однаковій кількості та випробовувалися зразки на стиск, на 28-му добу. Метою даного аналізу є порівняння якості добавки відповідно еталону (П/Ц). Над кожною колонкою нанесено відсотковий показник – збільшення міцності ґрунту за рахунок використання тої чи іншої добавки. RBI-81 та ОДОЛ-СГ вносилися в ґрунт як самостійне в'язуче, а Infra Crete в кількості 2% до портландцементу. В даному порівнянні якості, ОДОЛ-СГ показав найкращий результат – збільшення міцності на 27-40% в порівнянні з еталоном, також має характерну залежність збільшення міцності. Infra Crete - показав різке підвищення міцності при 5% в'язучого та подальше зменшення зі збільшенням в'язучого - поступаючись ОДОЛ-СГ. RBI-81 на 28-му добу має меншу міцність ніж еталон при однаковій кількості в'язучого, що показує його негативний вплив, так при 5% міцність зменшується на 14%, а при 9% зменшується на 22% відповідно такі й же кількості портландцементу.

Таблиця 2 – Результати визначення показника втоми укріпленого ґрунту

Показник и втоми						
	Проба №1			Проба №2		
	Кількість добавки, %			Кількість добавки, %		
	5	9	13	5	9	13
Добавка ОДОЛ-СГ						
br	1,415	2,58	2,98	2,05	2,475	4,28
B	0,0645	2,38	12,12	0,012	0,254	5,465
m	0,706	0,387	0,335	0,487	0,404	0,233
Добавка портландцемент М 400						
br	1,27	2,02	2,37	1,97	2,28	3,63
B	1	9	57	1	1	183
m	0,787	0,495	0,421	0,507	0,438	0,275

Висновки

1. Проведені авторами дослідження добавки ОДОЛ-СГ та виконаний літературний аналіз показали, що ґрунти стабілізовані ОДОЛ-СГ, відповідають вимогам, що пред'являються до укріплених ґрунтів за вимогами стандартів України.

2. Зміна фізико-механічних властивостей ґрунтів укріплених ОДОЛ-СГ в широких межах в залежності від кількості добавки та різновиду ґрунту свідчить про можливість активного регулювання його властивостей, а також можливості використання добавки для різних типів дорожнього одягу.

3. Добавка створена з вітчизняної сировини, має доступну вартість.

4. Стійкість і стабільність властивостей укріплених ґрунтів при дії водоморозних впливів говорить про можливість їх використання, як при влаштуванні основ так і при влаштування перехідного типу покриття дорожнього одягу автомобільних доріг із забезпеченням початкових властивостей.

5. Процес укріплення ґрунту ОДОЛ-СГ не потребує додаткового, спеціального обладнання при умові забезпечення необхідних фізико-механічних властивостей, дозволяє заощадити енергоресурси

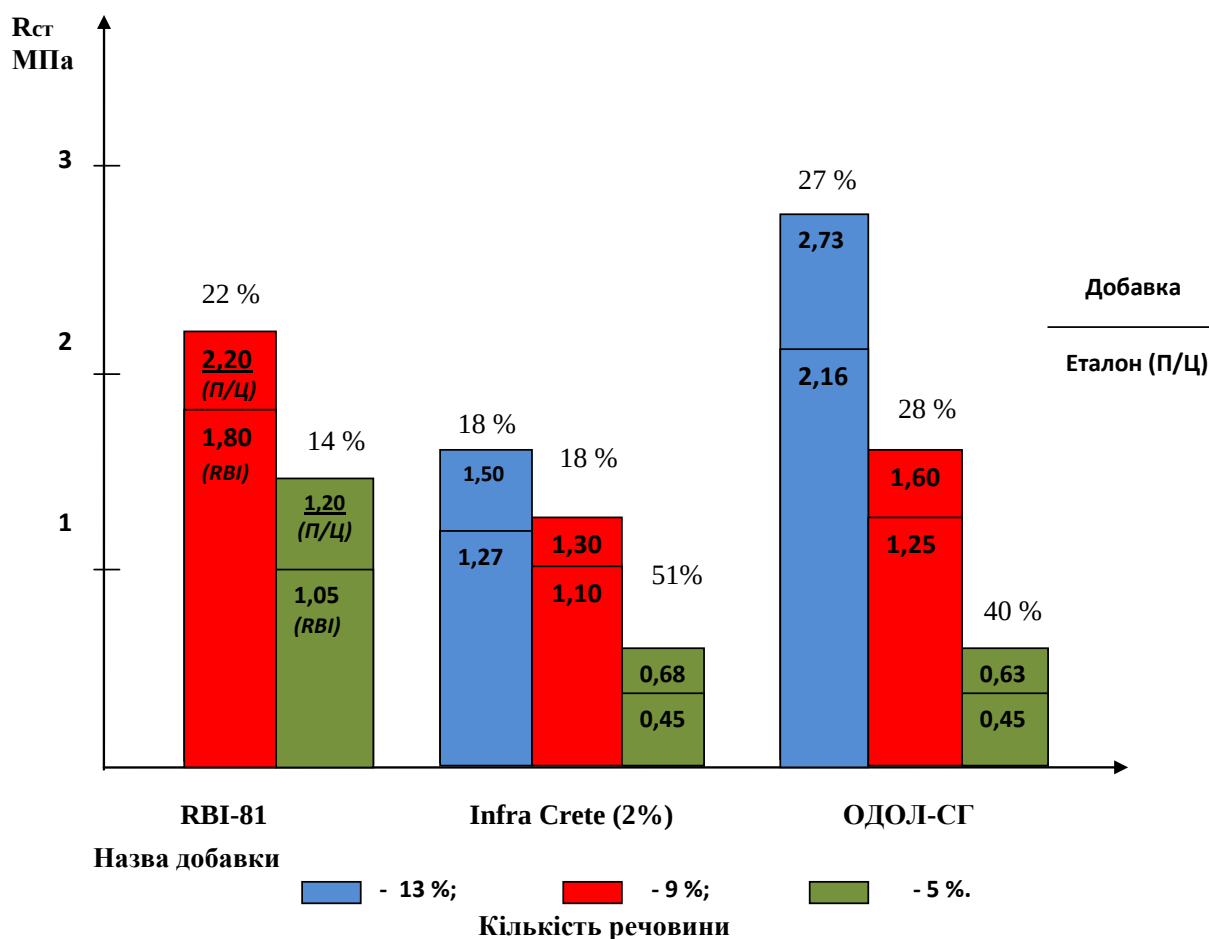


Рис.7. Порівняння міцності укріпленого ґрунту від виду та кількості добавки

Література

1. Безрук В.М. Укрепление грунтов в дорожном и аэродромном строительстве. – М.: Транспорт, 1971. – 247 с.
2. ВБН В.2.3-218-186-2004. Дорожній одяг нежорсткого типу.
3. ВБН В.2.3-218-002-95. Проектування і будівництво основ та покриттів автомобільних доріг із кам'яних матеріалів, промислових відходів і ґрунтів, укріплених цементом. – Київ, 1995. – 47 с.
4. Бесараб О.М., Гуріна Л.І., Смолянець В.В. Оцінка впливу добавки в ґрунт RBI-81 на підвищення довговічності дорожнього одягу // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. - К., 2008. - Вип.75. – С. 73–81.
5. Бесараб О.М., Гуріна Л.І., Опрощенко І.О. Дослідження добавки Infra Crete для підвищення фізико-механічних властивостей ґрунту // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К., 2008. – Вип.75. – С. 260–266.

Чистяков В.В., д-р техн. наук., Шургая А.Г., Дорошенко Ю.М., канд. техн. наук, Гудіменко К.В.

ЗАКОНОМІРНОСТІ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ СИСТЕМ

Для вивчення кінетики структуроутворення застосовувалась розроблена І.Г.Гранковським [2] установка ІГ-1Р (рис.1). Дана установка дозволяє дослідити процес структуроутворення без порушення твердіючої системи. Вона складається зі звукового генератора ЗГ-10 (1), магнітно-електричного збуджувача коливань (2), вимірюючої кювети (6), приймача коливань (4), індикатору резонанса – осцилографа ЭО-7 (5).

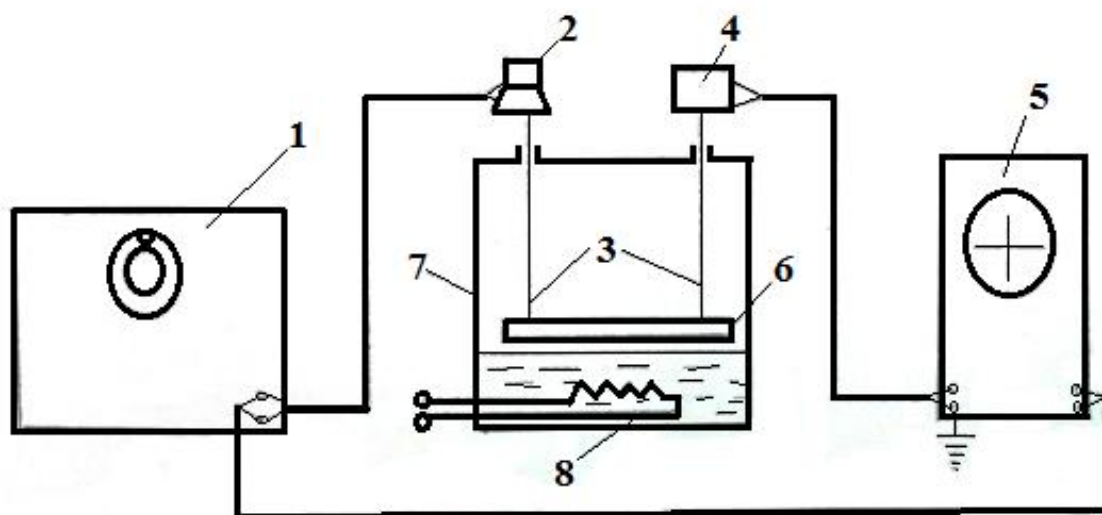


Рис. 1. Схема резонансної установки ІГ-1Р

1 – звуковий генератор; 2 – збудник коливань; 3 – підвіска із склонитки; 4 – приймач коливань; 5 – індикатор резонансу (електронний осцилограф); 6 – кювета з твердіючим цементом; 7 – термостат; 8 – електронагрівач

Зразок, що досліджується (цементне тісто) поміщується в кювету, яка виконана із листової латуні у вигляді пів циліндра довжиною 150 та діаметром 15 мм. Система “кювета – цементне тісто” підвішується на двох нитках (3) із скловолокна, з’єднаних зі збуджувачем та приймачем коливань. За допомогою термостату (7) зберігається постійна вологість та температура. При необхідності можна імітувати режим пропарювання.

Зміною частоти сигналу, що задається (генератор 1), підбирається така частота, за якої на екрані осцилографу буде максимальна амплітуда сигналу. Це відповідає збігу власної частоти системи “кювета - цементне тісто” та сигналу, що задається. Так як власна частота коливань кювети залишається постійною, зміна амплітудно-частотних характеристик буде відображати структурний стан цементного каменю.

Резонансна частота твердіючої системи характеризує пружні властивості цементно-водної системи. Амплітудна характеристика пов'язана із диспергаційними і конденсаційними процесами гідратованої системи. Багаточисельними дослідженнями встановлена ідентичність та відповідність кількісних частотних характеристик та модуля швидкої еластичної деформації. Висока чутливість та простота установки дозволяють отримувати оперативну об'єктивну інформацію про кінетику структуроутворення твердіючої системи та направлено впливати на процес формування структури.

На установці П-1Р, розробленій І. Г. Гранковським, при дії, енергія якої на декілька порядків нижче значень, що викликає деструкцію, досліджені процеси формування дисперсної структури твердіючої цементної пасти. Даний метод ґрунтується на явищі резонансу пружних коливань дисперсної структури цементного тіста в діапазоні звукових частот $\omega = 500 - 1500$ Гц.

Частота резонансу зв'язана із пружністю системи наступною залежністю:

$$\omega = \frac{2}{n} \sqrt{\frac{a}{m}} \quad (1)$$

де, a – пружність системи; n – ступінь свободи; m – маса.

Найбільш істотний фактор, що забезпечує ріст пружних властивостей цементної пасти – це інтенсивність зв'язування гідратами води, кількість та структурний стан якої обумовлює зміну вказаних вище характеристик.

Амплітуда резонансу при коливаннях із в'язким опором визначається наступною нерівністю:

$$A_{рез} = \frac{P}{C\omega}, \quad (2)$$

де $A_{рез}$ - амплітуда резонансу; P – збурююча сила; C – сила демпфірування; ω – частота резонансу.

Виходячи з робіт Ландау та Ліфшица по механіці суцільного середовища, сила демпфірування при коливанні сферичної частки в рідині дорівнює:

$$C = \frac{2\pi}{3} \rho R^3 \frac{dV}{dt} + 3\pi R^2 \sqrt{2\eta\rho\omega}, \quad (3)$$

де R - радіус сфери; ρ – щільність; η – в'язкість рідини.

Підставивши значення C у вираз (2), отримаємо:

$$A_{рез} = \frac{P}{(\frac{2\pi}{3} \rho R^3 \frac{dV}{dt} + 3\pi R^2 \sqrt{2\eta\rho\omega})\omega}. \quad (4)$$

Аналіз виразу (4) дозволяє зробити висновок, що при постійній збурюючій силі основний вплив на величину $A_{рез}$ створює величина зведеного радіуса часток, що характеризує дисперсність системи. Вплив в'язкості η дисперсійного середовища (рідкої фази цементної пасти) на декілька порядків нижчий, ніж розмір часток. Експериментальні дані підтвердили правомірність даного висновку.

Таким чином, даний метод дозволяє прослідкувати зміну дисперсності твердіючої системи за величиною амплітуди резонансу $A_{рез}$. Підвищення значень $A_{рез}$ свідчить про підвищення дисперсності системи, а зменшення вказує на протікання агрегаційних та конденсаційних процесів.

Накопичення продуктів новоутворень призводить до збільшення чисельності та площі контактів в формуючій структурі, перекриття гелевих оболонок гідратів, зміни електричного поля часток. В результаті змінюється енергетичний стан твердіючої системи, що відображається на термограмах.

Інтенсивність та характер структурних перетворень в'язуючої системи обумовлені мінералогічним складом цементу, його дисперсністю, температурно-вологісними умовами твердіння. Регулювати даний процес можна із допомогою добавок електролітів, високодисперсних мінеральних речовин, оптимальних режимів тепловологісної обробки та ін.

Ряд добавок дозволяє виключити деструкцію формуючої дисперсії у

цьому інтервалі, що проявляється у зменшенні пружних властивостей цементної пасти та її розрідженні. Однак, слід відмітити, що у всіх випадках нами спостерігався характерний екстремальний перехід, що полягає у зміні дисперсності системи ($A_{рез}$), її енергетичного стану та ступеня гідроксилування міжфазової поверхні.

Оптимальні механічні впливи в періоди, що відповідають деструкціям системи, інтенсифікують та модифікують природні процеси які відбуваються – перехід кількісних змін в системі у якісно новий її стан. Слід відмітити, що розглянуті процеси відображають зародження та формування матриці, на основі якої розвивається конденсаційно-кристалізаційна структура – носій міцності.

Фізико-хімічні перетворення в метастабільних новоутвореннях взаємопов'язані із інтенсивністю гідратації цементу та напрямленістю процесів структуроутворення в'язучого. Зі збільшенням ступеня гідроксилування поверхні часточок цементно-водної дисперсії відмічається сповільнення швидкості гідратування. На стадіях утворення та розвитку колоїдних структур в результаті вказаних перетворень змінюється ступінь структуроутворення, хімічний потенціал та фізичний стан рідкої фази, що визначає інтенсивність взаємодії асоціатів, пружні властивості гідратуючої системи і колективний напрям енергетичних та концентраційних флуктуацій[1].

Була застосована резонансна установка ІГ-1Р [2], на якій досліджувалася кінетика структуроутворення.

За допомогою установки ІГ-1Р отримані кількісні характеристики структуроутворення твердіючої системи, модифікованої комплексною добавкою ШАГ (рис. 1).

При проведенні досліджень були використані наступні матеріали:
Цемент:

- Портландцемент - ПЦ І - 500-Н (ДСТУ Б В.2.7.-46-96) Балаклеївського заводу.

Добавка ШАГ, що складається:

- СП;
- гідрофобізатор;
- аерант;

- піногасник.

На рисунку 2 показані криві, що характеризують зміну пружних властивостей цементно-водної дисперсії. Чорна крива(1) – контрольний склад; червона крива (2) – з добавкою ШАГ.

Верхні дві криві характеризують зміну дисперсності твердіючої системи, які свідчать, що на початкових стадіях тверднення у складі, який модифікований комплексною добавкою, фіксується більш інтенсивним процесом диспергації.

Дві нижні криві свідчать про те, що на початкових стадіях тверднення спостерігається сповільнений набір міцності.

Відразу після замішування в перші 30 хвилин фіксуються істотні процеси диспергування вихідних частинок цементу (збільшення значень $A_{рез}$) і

незначне збільшення пружних властивостей твердіючої системи (крива $\omega_{рез}$).

Надалі фіксується агрегаційних інтенсифікація в гідратуючій системі (зменшення $A_{рез}$) і спад пружних властивостей цементної пасти (крива $\omega_{рез}$, 70 хвилин). Спад пружних властивостей обумовлений розрідженням цементної пасти в результаті вивільнення раніше зв'язаної гідратної води. Цей період відповідає першій стадії структуроутворення.

На наступних етапах фіксуються циклічно повторюючі процеси диспергування і конденсації первинних гідратних новоутворень ($A_{рез}$) і пружних властивостей $\omega_{рез}$ (пластичної міцності) твердіючої системи.

У цей період зазначені вище процеси обумовлюють періодичну перебудову системи, що гідратується та призводить до збільшення міжфазової поверхні і ступеня гідроксилування гідратів [3-5]. На цьому етапі тверднення, коли формується і розвивається коллоїдна структура, ці процеси закладають основу матриці, яка формує в подальшому конденсаційно-кристалізаційну структуру.

Отже можна зробити висновок, що склад з комплексною добавкою характеризується збільшеними у 2-3 рази термінами тужавлення. Модифікований добавкою бетон характеризується зменшеною екзотермією, що запобігає виникненню температурних напружень і утворенню тріщин на початкових етапах твердіння.

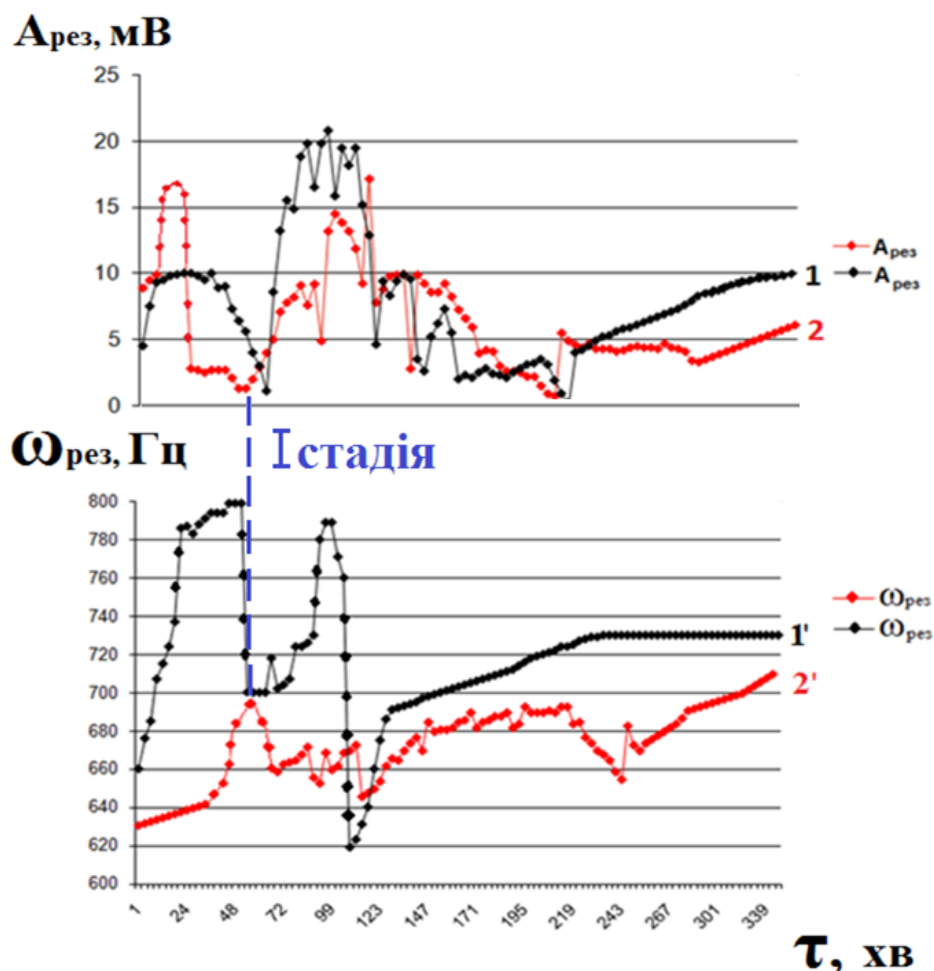


Рис. 2. Кінетичні криві структуроутворення цементно-водної дисперсії
 1 – без добавки, В/Ц = 0,3; 2 – з комплексною добавкою ШАГ, В/Ц = 0,216
 ωрез – частота резонансу, Гц; Арез – амплітуда резонансу, мВ

Література

1. Чистяков В.В. Физико-химические аспекты интенсификации процессов гидрато- и структурообразования минеральных вяжущих систем. - Киев, 1994. – 557 с.
2. Гранковский И.Г. Структурообразование в цементных вяжущих системах. - Киев: Наукова думка, 1984. – 299 с.
3. Чистяков В.В., Дорошенко Ю.М., Гранковский И.Г. Интенсификация твердения бетона.- Киев: Будівельник, 1988. – 118 с.
4. Гранковский В.Г., Чистяков В.В. Особенности гидротации и структурообразования портландцемента на ранних стадиях. // Журнал прикладной химии, - 1991.-Т. 54, N 1. – С. 15-20.
5. Чистяков В.В., Гранковский И.Г., Гоц В.И. Формирование структуры твердения шлакощелочного вяжущего. // Журнал прикладной химии.- 1986.- Т 59, N 3. – С. 590-595.

УДК:625.76:338.2

Канін О.П., канд. техн. наук, Діденко В.В.

ОПТИМІЗАЦІЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

Анотація. Стаття присвячена оптимізації життєвого циклу автомобільних доріг на стадії експлуатації з використанням генетичного алгоритму.

Ключові слова: життєвий цикл, витрати, генетичний алгоритм, оптимізація, стратегія ремонту.

Аннотация. Статья посвящена оптимизации жизненного цикла автомобильных дорог на стадии эксплуатации с использованием генетического алгоритма.

Ключевые слова: жизненный цикл, расходы, генетический алгоритм, оптимизация, стратегия ремонта.

Annotation. The article is devoted to optimizing the life cycle of roads during the operation stage using a genetic algorithm.

Keywords: life cycle costs, genetic algorithms, optimization, repair strategy.

Постановка проблеми. На даний час ще не достатньо розвинуті методи обґрунтування вартості життєвого циклу автомобільних доріг. Прийняття оптимальних рішень щодо стратегій експлуатації автомобільних доріг має велике економічне значення. Одним з напрямків пошуку оптимальних рішень в цій області може бути застосування генетичних алгоритмів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченням генетичних алгоритмів займалися такі вчені: Холланд, Кеннет Де Йонг, Девід Голдберг та інші. Задачі оптимізації – найбільш розповсюджений та важливий для практики клас задач. Генетичний алгоритм – новий спосіб рішення таких задач. Генетичні алгоритми часто використовуються для вирішення задач

функціональної оптимізації. Вони є зручним інструментом для пошуку рішень на основі величин, які мають ймовірнісний характер.

Постановка завдання. Ціллю даної роботи є визначення можливості використання генетичних алгоритмів для прогнозування стратегій ремонтів доріг з метою оптимізації життєвого циклу автомобільних доріг.

Виклад основного матеріалу. Життєвий цикл автомобільної дороги є протяжним у часі, складається з декількох фаз (здуму, проектування, будівництва, експлуатації) та потребує ретельного управління ними. Аналіз витрат життєвого циклу (АВЖЦ) - це систематичний процес оцінки проектів інфраструктурних об'єктів, які експлуатуються протягом тривалих періодів часу. АВЖЦ є зручним інструментом для порівняння конкуруючих варіантів проектних рішень відносно стратегій здійснення ремонтів. Він показує економічну відмінність між варіантами на основі початкових витрат та витрат від майбутніх заходів. АВЖЦ дозволяє бачити повну картину експлуатаційної фази життєвого циклу дороги з відповідними заходами та витратами по ним.

Рішення на основі детерміністичних моделей базуються на усередненій інформації про параметри моделей. Але в більшості випадків деякі параметри, які враховуються в моделі АВЖЦ мають властивість невизначеності, тому рекомендується прийняти ймовірнісний підхід. Детерміністичний підхід використовує точкові оцінки для всіх вхідних змінних моделей, на відміну від нього, ймовірнісний підхід використовує ймовірнісні розподілення для багатьох параметрів моделі [1].

Важливою та довгостроковою фазою життєвого циклу є фаза експлуатації. Дорога на цій стадії зазнає різних пошкоджень, на неї впливають багато факторів, такі як склад транспортного потоку, інтенсивність руху, погодні умови та ін. Різноманітні ремонтні та підтримуючі заходи допомагають поліпшити показники дороги та продовжити її життя. Фаза експлуатації дороги є досить об'ємною, включає в себе багато різноманітних робіт та має потребу в управлінні.

Фаза експлуатації дороги включає в себе утримання, поточний підтримуючий ремонт, поточний відновлювальний ремонт, капітальний ремонт. З точки зору управління проектами ця фаза є менш дослідженою. Роки проведення ремонтних заходів мають ймовірнісний характер. Стратегія управління життєвим циклом – це порядок здійснення різних ремонтних робіт в залежності від змін стану елементів доріг. Вибір оптимальної стратегії

експлуатації автомобільних доріг – складна задача через велику кількість комбінацій можливих робіт, що зростає в залежності від періоду планування та числа варіантів ремонту.

Моделлю оптимізації стратегій управління життєвим циклом автомобільних доріг можуть бути генетичні алгоритми. Ці моделі дозволять прогнозувати та порівнювати витрати, в залежності від стратегії ремонту, строку служби та витратам по ним.

Генетичні алгоритми (ГА) - адаптивні методи пошуку, вони засновані на генетичних процесах біологічних організмів: біологічні популяції розвиваються протягом декількох поколінь, підкоряючись законам природного відбору і за принципом "виживає найбільш пристосований" (survival of the fittest), відкритого Чарльзом Дарвіном. Наслідуючи цей процес, ГА здатні "розвивати" рішення реальних завдань, якщо ті відповідним чином закодовані. У генетичних алгоритмах ніяк не використовуються такі властивості функції, як безперервність, диференційованість і т. п.

Основна ідея ГА – «боротьба за виживання» та «природний відбір» серед цих пробних рішень. Оскільки ГА використовують біологічні аналогії, то і термінологія, що використовується, нагадує біологічну. Одне пробне рішення, записане в двійковій формі, – це особина чи хромосома. Більш пристосовані особини - це більш підходящі відповіді. Цим ГА відрізняється від більшості інших алгоритмів оптимізації, які оперують лише з одним рішенням, покращуючи його. Набір усіх пробних рішень – популяція [3]. ГА є оптимізаційними програмами, що засновані на природному відборі та природній генетиці (Goldberg, 1989). ГА працюють із сукупністю особин - популяцією, кожна з яких представляє можливе рішення даної проблеми. Кожна особина оцінюється мірою її «пристосованості» згідно з тим, наскільки «добре» відповідає вона рішенню задачі. Популяція проходить стадії (рис. 1):

Нова популяція допустимих рішень створюється шляхом вибору кращих представників попереднього покоління та схрещування їх для отримання нових особин. Нове покоління містить більш високе співвідношення характеристик, якими володіють хороші члени попереднього покоління [2].

Розглянемо принципи застосування ГА у пошуку оптимальної стратегії ремонту та утримання автомобільних доріг.

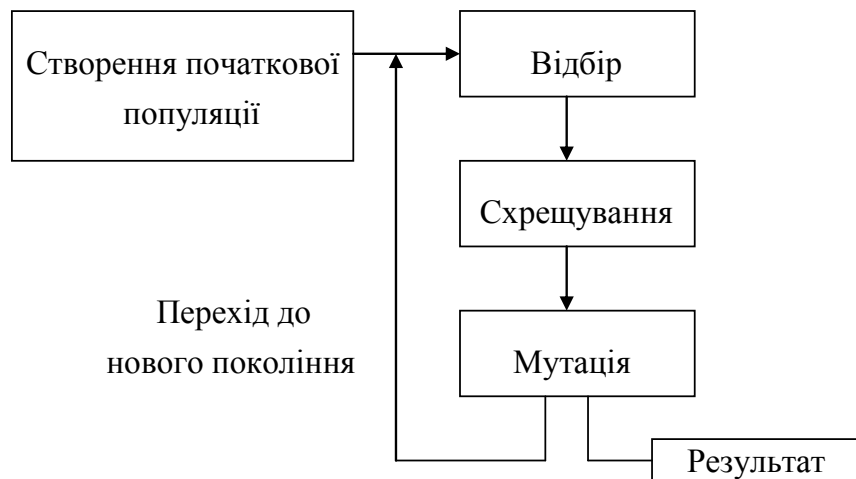


Рис. 1. Схема генетичного алгоритму

Математична модель у дуже спрощеному узагальненому вигляді:

$$C = f(t_1, w_1, \dots, t_n, w_n)_1 + \dots + f(t_1, w_1, \dots, t_n, w_n)_k \Rightarrow \min \quad (1)$$

де C – витрати – функція пристосованості; t_i, w_i – рік та вид ремонту, $t_i < T$ – період до реконструкції дороги; k – кількість ділянок доріг.

Послідовність $t_1, w_1; t_2, w_2; \dots, t_n, w_n$ утворює стратегію експлуатації ділянки автомобільної дороги. В табл. 1 наведені можливі умови застосування різних видів робіт в залежності від експлуатаційного стану дороги (графа 2). Виконання певних робіт покращує експлуатаційний стан на відповідну кількість балів (графа 3). Популяція можливих стратегій кодується як рядки з трійок двійкових розрядів (графа 4) та модифікується з покоління в покоління ймовірнісним використанням ГА.

Головними процесами алгоритму моделювання є: створення початкового покоління; репродукція за допомогою операторів відбору, кросоверу (вибору випадковим чином точки розділу батьківських хромосом, тобто рядків, та обміну відділеними частинами) та мутації (інвертування кожного біту особини з імовірністю p_m); декодування та оцінка. Для кожного покоління ГА спочатку генерує ряди, обираючи двох батьків з попереднього покоління та репродукує їх через кросовер та мутацію, поки не створюється нова популяція. Селекція батьків виконується на основі вартості кожної індивідуальної стратегії в одній

генерації. Щоби бути батьками нової стратегії в наступній генерації, стратегії вибираються виходячи з двох умов:

- 1) значення цільової функції (1) дорівнює або менше середньому значенню цільової функції популяції;
- 2) вартість робіт дорівнює або менша бюджетних асигнувань.

Таблиця 1 – Параметри видів ремонту

Вид робіт	Ступінь деградації, бали	Ефект від робіт, балів	Код ГА
Утримання	20 – 100	5	001
Поточний підтримуючий ремонт	20 – 100	10	010
Поточний відновлювальний ремонт	40 – 80	50	011
Капітальний ремонт покриття	20 – 60	90	100
Капітальний ремонт покриття та основи	0 – 40	100	101

Потім, ГА декодує та оцінює ряди цього покоління. Ця процедура повторюється, поки не буде знайдено близьку до оптимальної стратегію експлуатації [4]. Вибір робиться на основі закодованих стратегій експлуатації та відповідних їм витрат.

Висновки

У зв'язку зі зростаючими потребами в ремонтах доріг та обмеженого фінансування, оптимізація витрат на стадії експлуатації життєвого циклу доріг набуває великого значення. Оптимізація витрат життєвого циклу дороги з використанням генетичних алгоритмів може суттєво підвищити ефективність розрахунків при виборі стратегії експлуатації автомобільних доріг.

Література

1. Life-Cycle Cost Analysis Primer. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration Office of Asset Management, August 2002. – 25 p.
2. Исаев С.А. Популярно о генетических алгоритмах. On site: <http://algolist.net/imperia.com/ai/ga/ga1.php>.
3. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы: учебно – методическое пособие / под ред. Ю.Ю. Тарасевича. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. – 87 с.
4. Chunlu Liu, Amin Hammad, Yoshito Itoh/ Maintenance strategy optimization of bridge decks using genetic algorithm/ Liu Chunlu, Hammad Amin, Itoh Yoshito// Journal of transportation engineering. – march/april 1997. – Vol. 123, №2. – P. 91 – 100.

ДО РОЗРОБКИ ВІТЧИЗНЯНИХ НОРМ З РОЗРАХУНКУ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ МОСТІВ

Анотація. У статті розглядаються прогонові будови сталезалізобетонних мостів, що складаються із прокатних двотаврів. Порівнюються за різними нормами результати розрахунку несної здатності об'єднаних перерізів головних балок за згинальним моментом і наводяться рекомендації щодо гармонізації чинних вітчизняних норм з Єврокодами.

Ключові слова: сталезалізобетонні мости, несна здатність балки, пружна робота перерізу балки, пластичний шарнір.

Аннотация. В статье рассматриваются пролетные строения сталежелезобетонных мостов, образованных их прокатных двутавров. Сравниваются результаты расчета несущей способности объединенных сечений главных балок по изгибающему моменту по разным нормам и приводятся рекомендации по гармонизации действующих отечественных норм с Еврокодами.

Ключевые слова: сталежелезобетонные мосты, несная способность балки, упругая работа сечения балки, пластический шарнир.

Останнім часом широке розповсюдження на автомобільних дорогах України мають прогонові будови мостів, в яких залізобетонна плита проїзної частини працює разом з металевими балками.

Використання сталезалізобетонних прогонових будов, у порівнянні зі сталевими і залізобетонними, ефективно не тільки в діапазоні 30 - 80 м, а і при менших прогонах. Їх можна застосовувати і для конструкцій тимчасових мостів. При прогонах до 18 – 21 м можливе використання в якості металевої частини об'єданого перерізу прокатних двотаврів, в яких забезпечена місцева стійкість полиць і стінок.

Слід зазначити, що в чинних вітчизняних нормах ДБН В.2.3-14:2006 [1] допускається поява обмежених пластичних деформацій у металевій частині

перерізу, величина яких має не перевищувати 0,06%. Натомість, у закордонних нормах, Єврокодах [2], для сталезалізобетонних перерізів із прокатних двотаврів за умови забезпечення достатньої обертової здатності перерізу, дозволяється поява в металевій частині пластичного шарніру.

Зробимо порівняння за різними нормами несної здатності за згинальним моментом сталезалізобетонного перерізу балки прогонової будови довжиною $L=21,0$ м. Металева частина прогонової будови складається з елементів балкових інвентарних конструкцій КІБ-82.

Габарит мосту – Г-10 з двома тротуарами по 1,0 м. У поперечному перерізі 5 головних балок, які розташовано на відстані 2,5 м одна від одної. Матеріал металевих балок – сталь марки 10ХСНД-12 з розрахунковим опором $R_y = 355$ МПа.

Залізобетонну плиту проїзної частини завтовшки 20 см виконано з бетону класу В-35 з розрахунковим опором на осьове стиснення $R_b = 17,5$ МПа. Переріз розрахункової головної балки посередині прогону мосту наведено на рисунку 1.

Результати розрахунків міцності за згинальним моментом за першим граничним станом наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Несна здатність перерізу за згинальним моментом, кНм		
Пружна робота	ДБН	Єврокод
4501,6	4561,1	5515,2
100%	101,3%	122,5%

Отже бачимо, що за чинними вітчизняними нормами [1], при одночасному включенні у роботу сталезалізобетонного перерізу балки прогонової будови на повне навантаження, несна здатність об'єднаного перерізу при обмеженій пластичній деформації металеві частини перерізу (0,06%) лише на 1,3% більше ніж при пружній роботі. За Єврокодом [2] несна здатність перерізу на 22,5% більша ніж при пружній роботі і приблизно на 21% у порівнянні з чинними нормами [1].

Епюри нормальних напружень у сталезалізобетонному поперечному перерізі балки на дію додатного згинального моменту, що прийняті при розрахунку наведено на рисунку 2.

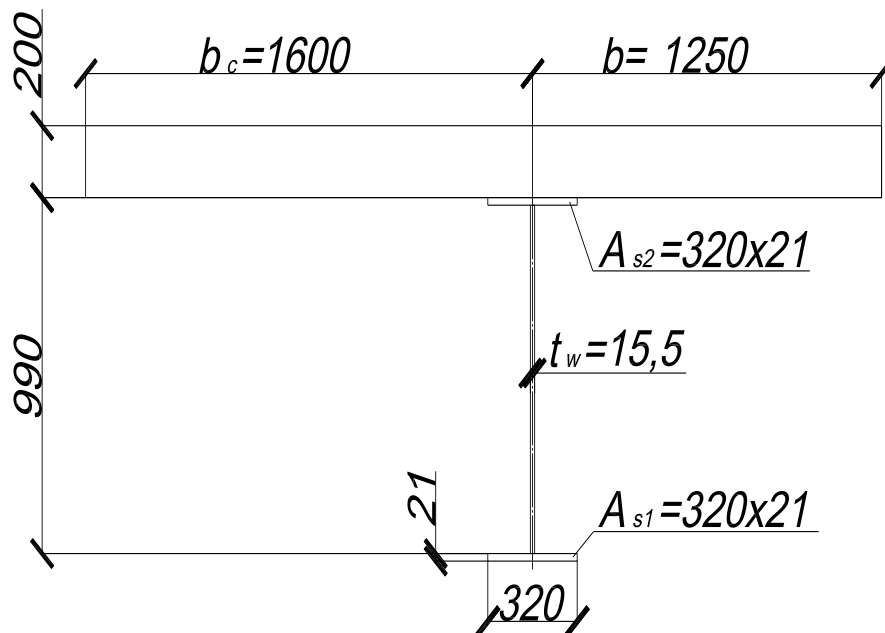


Рис. 1. Переріз розрахункової головної балки посередині прогону мосту

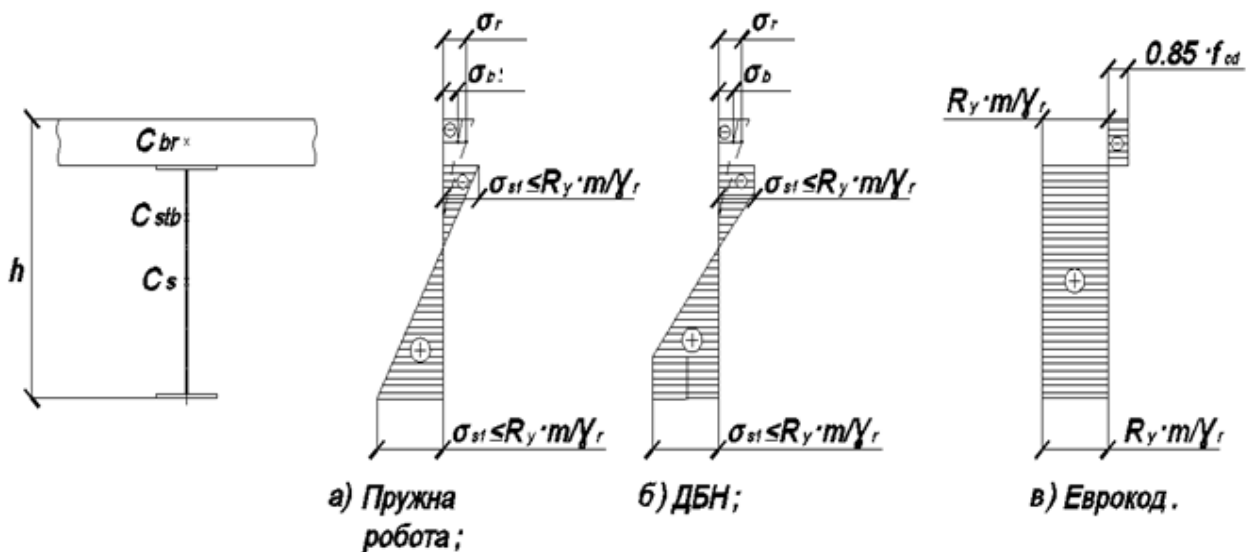


Рис. 2. Нормальні напруження у сталезалізобетонному поперечному перерізі головної балки, що сприймає додатній згинальний момент

Більша несна здатність балки за Єврокодом пояснюється тим, що в розрахунках приймався пластичний шарнір у металевій частині перерізу і пластична деформація стисненої зони залізобетонної плити, в якій напруження по висоті приймалися такими, що дорівнюють $0,85f_{cd}$, де f_{cd} - розрахункове значення циліндричної міцності бетону на стиснення для мостових конструкцій [2]. Прийняття такого граничного стану дозволяє збільшити величину діапазону

прогонів, що перекриваються сталезалізобетонними мостами із прокатних елементів, у розрізній схемі до 24 м і в нерозрізній (24+n·33+24м) – до 33 м.

На думку автора, у зв'язку з приєднанням автомобільних доріг України до транс'європейських та трансконтинентальних транспортних коридорів, при розробці нової редакції вітчизняних норм “Сталезалізобетонні конструкції”, доцільно було б наблизити їх до Європейських норм.

Таким чином, для головних балок малих мостів із прокатних елементів і для деяких рамних мостів, урахування пластики збільшує несну здатність перерізу і її слід враховувати лише за умови, забезпечення місцевої стійкості полицок і стінок та достатньої обертової здатності перерізу.

За результатами аналізу роботи високих тонкостінних сталезалізобетонних перерізів головних балок мостів, збільшення несної здатності з урахуванням обмеженої пластики металевої частини перерізу, у порівнянні з пружним розрахунком, - незначне

Тому, на думку автора, у нових вітчизняних нормах для сталезалізобетонних конструкцій мостів, можливо, слід розглянути такі класи перерізів балки при згині:

– Клас 1. Пружна робота металевої частини перерізу з можливістю врахування пластичної роботи бетону і досягання напруженнями у поздовжній арматурі значень R_t (основний клас).

– Клас 2. Пластичний шарнір (з обмеженнями).

Література

1. ДБН В.2.3.-14:2006. Мости та труби. Правила проектування. – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства, 2006. – 359 с.
2. EN 1994-2: Design of composite steel and concrete structures. Part 2: Steel Bridges.

ЗАСТОСУВАННЯ КОНТРАКТІВ ЗАСНОВАНИХ НА ПОКАЗНИКАХ ЯКОСТІ ПРИ УТРИМАННІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЕРЖАВНО-ПРИВАТНОГО ПАРТНЕРСТВА

Анотація. розроблення методологічних засад визначення показників якості в контрактах на ремонт та утримання автомобільних доріг в умовах державно-приватного партнерства.

Ключові слова: контракт, адміністрація, замовник.

Аннотация. Представлена разработка методологических основ определения показателей качества в контрактах на ремонт и содержание автомобильных дорог в условиях государственно-частного партнерства.

Ключевые слова: контракт, администрация, заказчик.

Annotation. develop methodological principles defining quality indicators in contracts for repairs and maintenance of roads under public private partnership.

Keywords: contract administration, customer.

Постановка проблеми. Методи утримання доріг прогресивно змінюються. Дорожні адміністрації перейшли від використання власної робочої сили до традиційного підряду за видами робіт. В даний час багато країн використовують вид контракту що заснований на показниках якості виконуваних робіт. [1] Даний вид контракту активно впроваджується в дорожньому секторі протягом останнього десятиліття. Незважаючи на те, що він має низку переваг, як для дорожніх адміністрацій, так і для користувачів доріг, він є порівняно новим підходом, окремі аспекти якого вимагають особливої уваги для досягнення цілей повністю мірою.

Контракт, заснований на показниках якості (КЗНПЯ) виконуваних робіт, докорінно відрізняється від контрактів підряду за видами робіт, які традиційно застосовуються в дорожньому господарстві. КЗНПЯ - це тип контракту, в якому оплата робіт з управління та утримання дорожньої інфраструктури

безпосередньо пов'язана з виконанням або перевиконанням підрядником чітко поставлених мінімальних вимог за якісними показниками.

У традиційних контрактах за видами робіт дорожня адміністрація як замовник зазвичай визначає способи, технології, матеріали та їх обсяги, а також і терміни проведення робіт з утримання доріг. Оплата підряднику залежить від обсягу його вкладень (кубометрах асфальтобетону, кількості робочого часу, і т.д.)

В контрактах, заснованих на показниках якості замовник не встановлює вимоги щодо методів виконання робіт або матеріалів. Замість цього, він визначає якісні показники, які підрядник повинен підтримувати при наданні послуг з утримання доріг. В даному випадку підрядник отримує оплату, наприклад, не за кількість забитих вибоїн, а за результат роботи: відсутність вибоїн (100% ліквідованих вибоїн). Невиконання якісних показників робіт або несвоєчасне виправлення виявлених дефектів відбивається на оплаті, звичайно шляхом накладення штрафів. При дотриманні показників, оплата підряднику проводиться в повному обсязі, як правило, рівними частинами щомісяця.

Проблема полягає у тому, як визначити потрібні показники якості і відповідний об'єм фінансування на ремонт та утримання доріг.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню проблем державно-приватного партнерства сьогодні приділяється значна увага. Результатам досліджень присвячені праці Т. Веблена, Дж. Коммонса, Р. Коуза, Д. Норта, Дж. Ходжсона, О. Амоші, В. Дементьєва, М. Дерябиної А. Гриценка, К. Павлюка, С. Павлюк, В. Сікори, А Чухна, Н. Станкевич, Н. Кюреші, Ц. Кейроза та ін. Проблеми взаємодії держави і бізнесу аналізувались у працях Т. Барнекова, Р. Бойла, В. Варнавського, Т. Єфименко, Я. Кузьмінова, М.Мейера, Д. Річа, М. Ролля, Л. Фабіуса, А. Фербеке та ін.

Постановка завдання. Потрібно розробити методологічні засади визначення показників якості в контрактах на ремонт та утримання автомобільних доріг в умовах державно-приватного партнерства.

Виклад основного матеріалу. Контракти, засновані на показниках якості (КЗНПЯ) в дорожній галузі можуть зустрічатися в двох варіантах: "чисто КЗНПЯ" і "гібрид ". Останній характеризується рисами традиційного контракту

по видами робіт і КЗНПЯ, тобто оплата за одні послуги розробляється на основі єдиної ціни за вид послуги, в той час як оплата за інші залежить від виконання якісних показників.

Так що ж таки входить до контракту (обсяг, елементи, послуги)?

КЗНПЯ можуть полягати як для окремих елементів дороги (наприклад, тільки для утримання дорожніх знаків або тільки мостів), так і для всієї інфраструктури в межах коридору дороги. Рівень складності КЗНПЯ може варіювати від простого до комплексного залежно від кількості елементів обслуговування інфраструктури і видів послуг. Простий КЗНПЯ зазвичай укладається на надання однієї послуги (наприклад, обкошування узбіч) і на відносно короткий період часу (від кількох місяців до одного року). Комплексний КЗНПЯ, як правило, охоплює всю дорожню інфраструктуру вздовж дорожнього коридору і включає всі види послуг необхідні для управління та утримання даного коридору. Такі послуги зазвичай припускають поточний і періодичний ремонт, допомога при подіях, і ін. Оскільки періодичні ремонтні роботи (наприклад, переукладання дорожнього покриття) повинні проводитися періодично протягом певного періоду часу, контракт зазвичай укладається на строк від 3 до 10 років, і може тривати до 30 років. У комплексних КЗНПЯ більшість робіт найчастіше передаються від головного підрядника до субпідрядникам. Реконструкція доріг не є обов'язковим компонентом комплексного КЗНПЯ. В деяких країнах вона включена в КЗНПЯ, в інших віддається в підряд, використовує традиційні контракти по видах робіт.

Дорожнім адміністраціям бажано було б перейти до КЗНПЯ, тому що він має ряд переваг у порівнянні з традиційними підходами:

- економія фінансових коштів;
- велика ймовірність незмінності витрат;
- можливість вести дорожнє господарство з меншою кількістю персоналу;
- велика задоволеність користувачів якістю доріг і дорожніх умов;
- стабільне багаторічне фінансування, спрямоване на утримання автомобільних доріг.

Контракт, заснований на показниках якості сприяє економії фінансових коштів за допомогою:

1. Створення стимулу для приватного сектора впроваджувати інноваційні підходи та підвищувати продуктивність праці;
2. Зниження адміністративних і накладних витрат у зв'язку з розробкою поліпшеного пакету контрактів, а також меншою кількістю персоналу для їх контролю та супроводу;
3. Значно більшої гнучкості приватного сектору (у порівнянні з державним) у заохоченні і покарання за відповідне чи невідповідну якість робіт.

Контракт, заснований на показниках якості допомагає мінімізувати ймовірність непередбачуваної зміни виду робіт і забезпечити підряднику щомісячну оплату в однаковій сумі протягом усього терміну дії контракту. У даному випадку ризик перевитрати коштів за виконану роботу перенесено на підрядника і дорожня адміністрація рідше стикається з непередбачуваними витратами. При використанні КЗНПЯ полягає і супроводжується менше число контрактів. До того ж, відпадає необхідність займатися підрахунком величезної кількості вкладень (наприклад, матеріалів) підрядника, щоб оплатити його роботу. Завдяки зменшенню обсягу адміністративної роботи, дорожня адміністрація здатна керувати мережею доріг з меншою кількістю персоналу. При використанні даного виду контракту користувачі доріг більше задоволені їх якістю. Потреби користувачів безпосередньо відображаються в якісних показниках виконання робіт, що фіксуються в контракті, і оплата підрядника залежить від того, наскільки він виконав або перевиконав дані показники. Ці показники встановлюють мінімальний рівень якості послуг, очікуваний від підрядника протягом усього періоду дії контракту. Наприклад, вимоги до зимового утримання доріг встановлюють висоту снігового покриву (у мм), допустимого на дорогах.

У порівнянні з традиційними контрактами КЗНПЯ дозволяє забезпечити більш стабільне та довгострокове фінансування утримання доріг, тому що період дії таких контрактів зазвичай становить кілька років. Це, у свою чергу, зобов'язує державі включати багаторічне фінансування таких контрактів у щорічний державний бюджет.

Відмітна особливість КЗНПЯ полягає в тому, що значна кількість ризику і обов'язків, які раніше несла дорожня адміністрація, тепер покладено на підрядника. З одного боку, замовник не обмежує підрядника у прийнятті

рішень "що робити", "коли робити" і "як робити". Підрядник може вибирати і впроваджувати нові технології з метою зниження витрат, але не з метою надання більш низької якості послуг, ніж обумовлено в контракті (WB 2004). З іншої сторони саме підрядник несе повну відповідальність у разі поганого управління, а саме за свої помилки в:

- оцінці зносу інфраструктури;
- виборі необхідного технічного проекту, технічних характеристик і матеріалів;
- плануванні робіт з обслуговування;

Ідея перенесення ризику на того, хто може найкращим чином впоратися з її наслідками, широко визнана в літературі (Amos 2004; Parkman, Madelin, Robinson, and Toole 2001, Queiroz 2000).

Вибір підрядника для реалізації КЗНПЯ зазвичай ґрунтується на використанні методу "оптимального варіанту", який не обов'язково передбачає вибір "пропозиції з найнижчою ціною". Оскільки підрядник буде нести більше ризику і управлінських обов'язків, дорожня адміністрація повинна переконатися в тому, що потенційний підрядник має необхідні продуктивні сили та досвід управління, а також чітко розуміти нові підходи, нові обов'язки і можливості справлятися з відповідними проблемами. Перевага віддається тому, хто має досвід і можливості оцінки стану дорожньої інфраструктури, встановлення термінів робочих операцій, вибору матеріалів та робочих процедур, а також тому, хто розробив належний господарський план і систему моніторингу власних робіт. Тільки після встановлення факту достатньої кваліфікації потенційних кандидатів на підряд, процес вибору підходить до стадії розгляду вартості пропозиції. Підхід "оптимального варіанту" передбачає високу якість послуг при найбільш низькій кінцевій вартості. Оплата через КЗНПЯ здійснюється у вигляді постійних і рівних за обсягом платежів, у разі тривалого дотримання якісних показників контракту. Послуги підрядника оплачуються не за завершений фізичний обсяг робіт, а за досягнуті ним остаточні якісні результати (або рівні обслуговування).

Тривалість КЗНПЯ зазвичай довше традиційних контрактів за видами робіт. Це пояснюється тим, що в даній ситуації підрядник більше несе ризику і відповідальності, а також зобов'язаний проводити деякі роботи з утримання доріг з періодичністю в декілька років.

Передумовою впровадження КЗНПЯ є наявність добре розвиненого ринку послуг підрядників, здатних управляти дорожньою інфраструктурою протягом тривалого терміну, усвідомлюючи додатковий ризик і здатних створити механізми планування та перевірки якості проведених ними робіт. У випадку комплексного виду КЗНПЯ, контракт зазвичай реалізується за допомогою формального співробітництва між великими будівельними фірмами з управлінським досвідом і традиційними підрядниками по утриманню доріг.

Висновок

Для успішної реалізації КЗНПЯ, необхідний сильний "партнерський" підхід. Це особливо важливо на початкових етапах становлення і впровадження КЗНПЯ, оскільки ні підрядник, ні дорожня адміністрація ще не мають досвіду в даному виді контракту, і показники якості та оцінки робіт ще тільки визначаються. Для того, щоб налагодити дискусійний процес, швидко вирішення поточних проблем, мінімізувати ризик майбутніх розбіжностей і претензій, необхідно встановити тісний зв'язок і спілкування між замовником, підрядником.

Література

1. Станкевич Наталья, Кюреши Наваид и Кейроз Цезарь. Содержание и улучшение дорожной инфраструктуры с помощью контрактов, основанных на показателях качества работ / Н. Станкевич, Н. Кюреши, Ц. Кейроз // Транспортный бюллетень TN-27. – Вашингтон (США): Всемирный банк. – Сентябрь, 2005.
2. Public and Private Sector Roles in the Supply of Transport Infrastructure and Services. Operational Guidance for the World Bank Staff. Transport Paper – 1. [Електронний ресурс] // Washington, D.C.: Amos, P. 2004 The World Bank. Режим доступу:
[http://intresources.worldbank.org/INFRASTRUCTURE/Operational-Guidance-for-World-Bank-Group-Staff/20209325/Transport Operational Guidance Note.pdf](http://intresources.worldbank.org/INFRASTRUCTURE/Operational-Guidance-for-World-Bank-Group-Staff/20209325/Transport%20Operational%20Guidance%20Note.pdf).

ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ОБҐРУНТУВАННЯ РІЧНОЇ ПРОГРАМИ ДОРОЖНЬО-РЕМОНТНИХ РОБІТ

Анотація. В статті приведено підхід до проектування річної програми дорожньо-ремонтних робіт шляхом застосування експертної системи проектування (ЕСПР). Розроблена ЕСПР на практиці дозволяє здійснювати проектування річної програми робіт, необхідних для підтримки мережі доріг на прийнятному рівні.

Ключові слова: річна програма робіт, дорожньо-ремонтні роботи, експертна система, проектування, експлуатаційний стан

Аннотация. В статье показан подход к проектированию годовой программы дорожно-ремонтных работ путем использования экспертной системы проектирования (ЭСПР). Разработанная ЭСПР на практике позволяет осуществлять проектирование годовой программы работ, необходимых для поддержания сети дорог на принятом уровне.

Ключевые слова: годовая программа работ, дорожно-ремонтные работы, экспертная система, проектирование, эксплуатационное состояние

Annotation. The article reveals an approach to designing the annual program of road-repair work through the application of expert system design (ESPR). ESPR developed in practice allows annual planning work program required to support the road network at an acceptable level.

Keywords: annual program of works, road repairs, expert system design, operational status

Постановка проблеми. Сучасні умови експлуатації автомобільних доріг визначають необхідність удосконалення процесу проектування річної програми дорожньо-ремонтних робіт. Найбільш адекватними цим умовам доцільно вважати експертні системи, які базуються на інструментальних і візуальних спостереженнях стану конкретних елементів доріг, історичних даних,

накопичених в спеціальних комп'ютерних базах даних, а також на судженнях досвідчених спеціалістів – експертів в сфері експлуатації доріг.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У світі поширені різноманітні комп'ютерні системи оцінки стану доріг і мостів та планування робіт. Як правило, більшість з них призначені для управління станом покриття автомобільних доріг (Pavement Management System – PMS, HDM-4, СУСП) [1, 2] і не враховують інші елементи автомобільної дороги. Інша велика система, необхідна для проектування річної програми робіт дорожньо-ремонтної організації, - це Аналітична експертна система управління мостами (АЕСУМ) [3, 4].

Проведений аналіз програмного та інформаційного забезпечення проектування річної програми робіт в системі Державної служби автомобільних доріг України «Укравтодор» дозволяє зробити висновок про його недостатній розвиток і комплексність.

Постановка завдання. Метою статті є розкриття підходу щодо проектування річної програми робіт шляхом застосування відповідної експертної системи (ЕСПР).

Виклад основного матеріалу. Річна програма дорожньо-ремонтних робіт характеризується переліком і річними об'ємами робіт, за визначенням яких формується потреба в ресурсах, необхідних для їх виконання [5]. Проектування річної програми робіт вимагає застосування певного досвіду, накопиченого спеціалістами дорожньої галузі, тому у сучасних умовах для вирішення цієї задачі перспективним є застосування експертної системи проектування річної програми робіт.

Експертна система проектування річної програми робіт (ЕСПР) – інтелектуальна комп'ютерна програма, яка містить знання експертів з питань планування робіт в дорожній галузі та має здатність робити логічні висновки на основі цих знань, що забезпечує вирішення задач з проектування річної програми робіт.

Загалом, експертна система відрізняється від інших прикладних програм наявністю наступних ознак [6, 7]:

– моделює не стільки фізичну (або іншу) природу певної проблемної області, скільки механізм мислення людини стосовно вирішення завдань цієї проблемної області. Це істотно відрізняє експертні системи від систем математичного моделювання або комп'ютерної анімації. Не можна, звичайно, сказати, що програма повністю відтворює психологічну модель фахівця в цій проблемній області (експерта), але важливо, що основна увага все-таки приділяється відтворенню комп'ютерними засобами методики вирішення проблем, яка застосовується експертом, тобто виконанню деякої частини завдань так само, як це робить експерт;

– експертна система, окрім виконання обчислювальних операцій, формує певні міркування і висновки, ґрунтуючись на тих знаннях, які вона має в своєму розпорядженні. Знання в системі представлені, як правило, на деякій спеціальній мові і зберігаються окремо від, власне, програмного коду, яка і формує висновки і міркування. Цей компонент програми прийнято називати базою знань;

– при вирішенні завдань основними є евристичні і наближені методи, які, на відміну від алгоритмічних, не завжди гарантують успіх. Евристика, по суті, є правилом впливу (rule of thumb), який в машинному вигляді представляє деяке знання, придбане людиною у міру накопичення практичного досвіду вирішення аналогічних проблем. Такі методи є приблизними в тому сенсі, що, по-перше, вони не вимагають вичерпної вихідної інформації, і, по-друге, існує певна міра упевненості (або невпевненості) в тому, що запропоноване рішення є вірним.

В нашому випадку ЕСПР розглядається як практична система, яка направлена на вирішення конкретної задачі – проектування річної програми дорожньо-ремонтних робіт, тому вона не містить в собі якихось загальних методів з проблематики штучного інтелекту та обробки знань, котрі були б корисні для розв'язання задач з багатьох предметних областей людської діяльності.

Структура запропонованої ЕСПР наведена на рис. 1.

База знань в експертній системі проектування річної програми дорожньо-ремонтних робіт включає: довідники; функції належності рівня серйозності пошкоджень; функції належності рівня розповсюдження пошкоджень; дані про розповсюдження пошкоджень; дані про варіанти робіт з ремонту та утримання

доріг, які відповідають певним станам елементів доріг, для чого запропоновано п'ять можливих експлуатаційних станів елементу дороги і рейтинг стану на основі 100- бальної шкали.

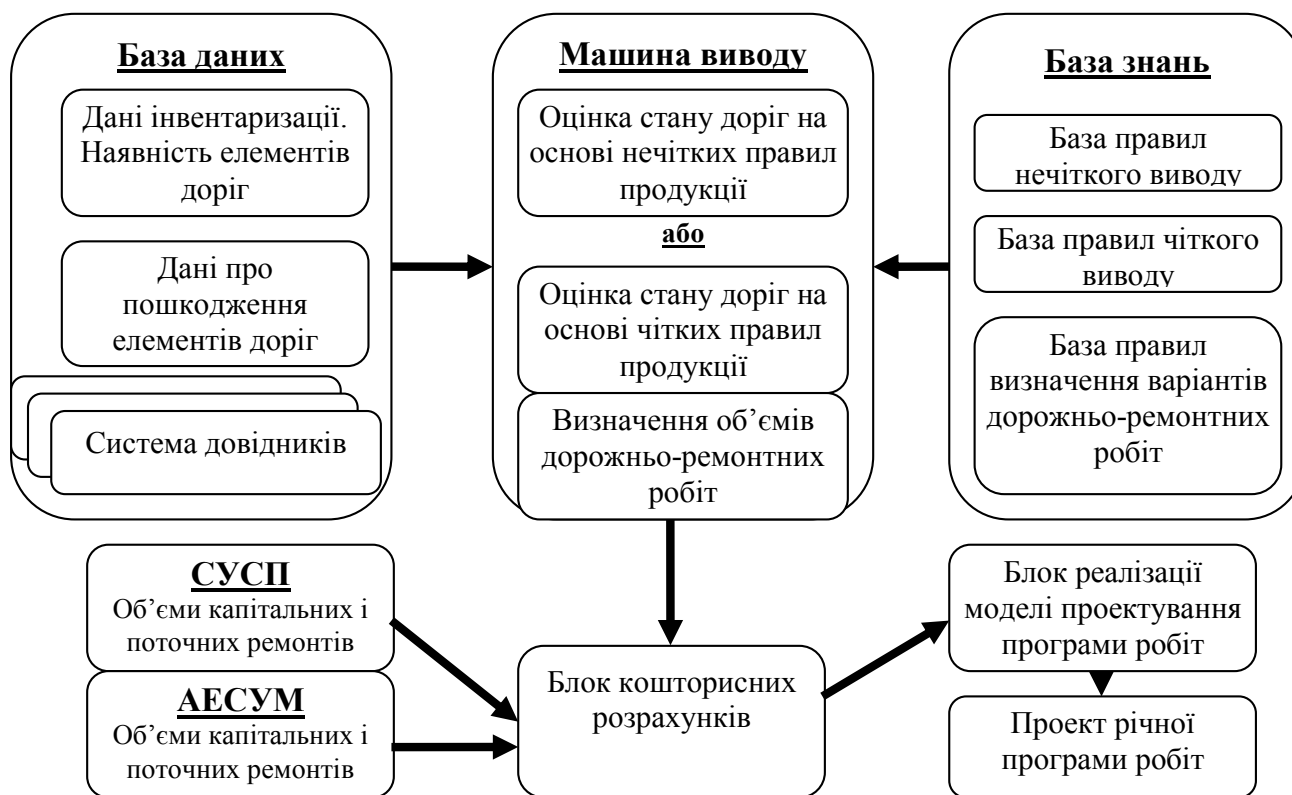


Рис. 1. Структура експертної системи

База даних включає: довідники; дані про наявність елементів доріг, їх об'єми та розміщення; дані про пошкодження елементів доріг, отримані в результаті моніторингу стану доріг.

В основу проектування ремонтно-відновлювальних заходів покладену схему, наведену на рис. 2. Така схема передбачає варіантний вибір ремонтно-відновлювальних заходів.

Кожному рівню ураження (серйозності) ставиться у відповідність вид діяльності:

- експлуатаційне утримання (ЕУ);
- поточний підтримуючий ремонт (ПП);
- поточний відновлювальний ремонт (ПВ);
- капітальний ремонт (КР).

В свою чергу, задаються альтернативи ремонтно-відновлювальних заходів, які уявляють собою набори робіт і їх операцій, притаманних даному рівню серйозності і розповсюдження пошкодження – одному з експлуатаційних станів елемента дороги.

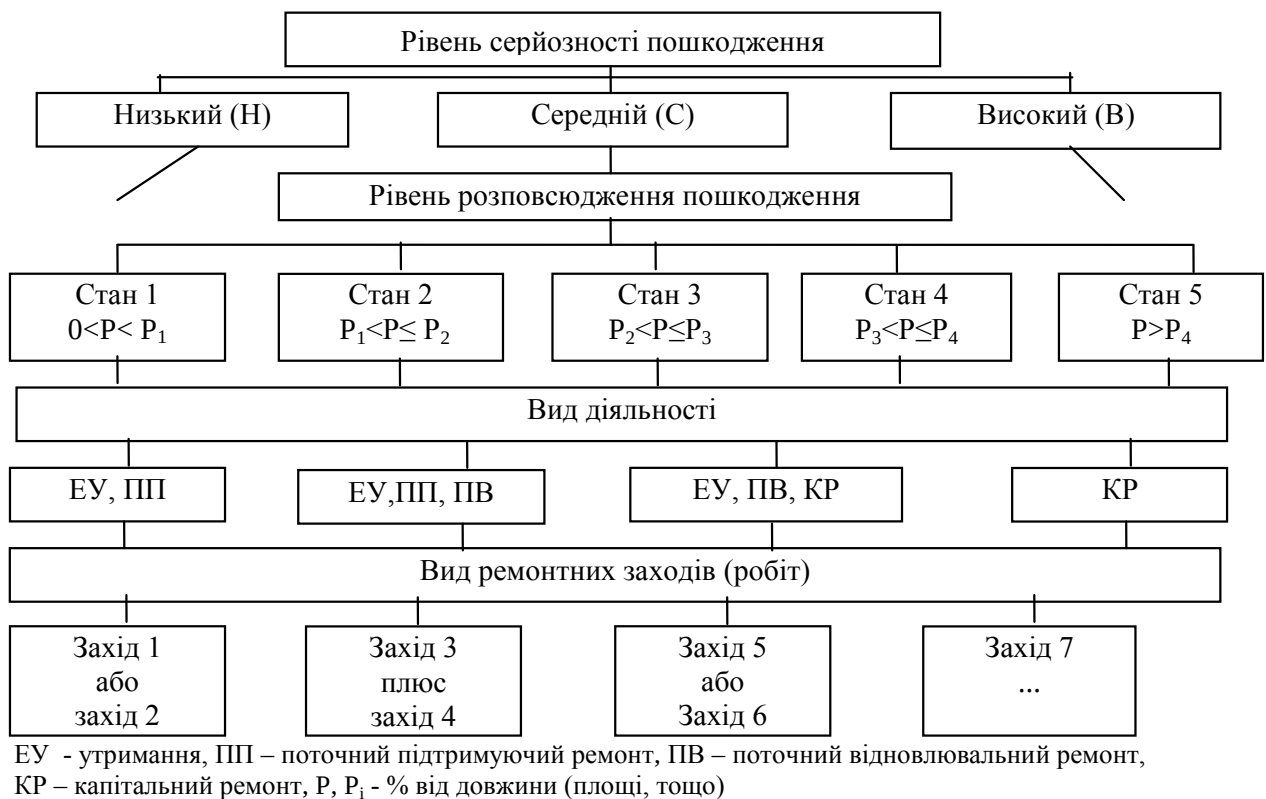


Рис. 2. Принципова схема оцінки стану елементів доріг та призначення ремонтно-відновлювальних заходів

Альтернативи ремонтних заходів утворюють дерево можливих рішень при обґрунтуванні річної програми робіт, яким може скористатись користувач експертної системи.

Задачі досить трудомісткі, тому ЕСПР спирається на сучасні існуючі бази даних та програмне забезпечення, яке використовується в дорожній галузі або створене для такого використання останнім часом. В першу чергу, це програмні комплекси Системи управління станом покриття (СУСП) [2, 8], Автоматизованої експертної системи управління мостами (АЕСУМ) [4], автоматизованої експертної системи управління поточним ремонтом та утриманням доріг (СУПРУД) [9] та програмний комплекс складання кошторисів (АРМ-СК) [9].

Існуючі програмні комплекси дозволяють підвищити надійність програмного забезпечення ЕСПР за рахунок вже багаторічного досвіду їх експлуатації, постійної модернізації відповідно сучасним вимогам і єдиного управління розробкою.

Структура програмних засобів і місце в них експертної системи проектування річної програми робіт наведені на рис. 3.

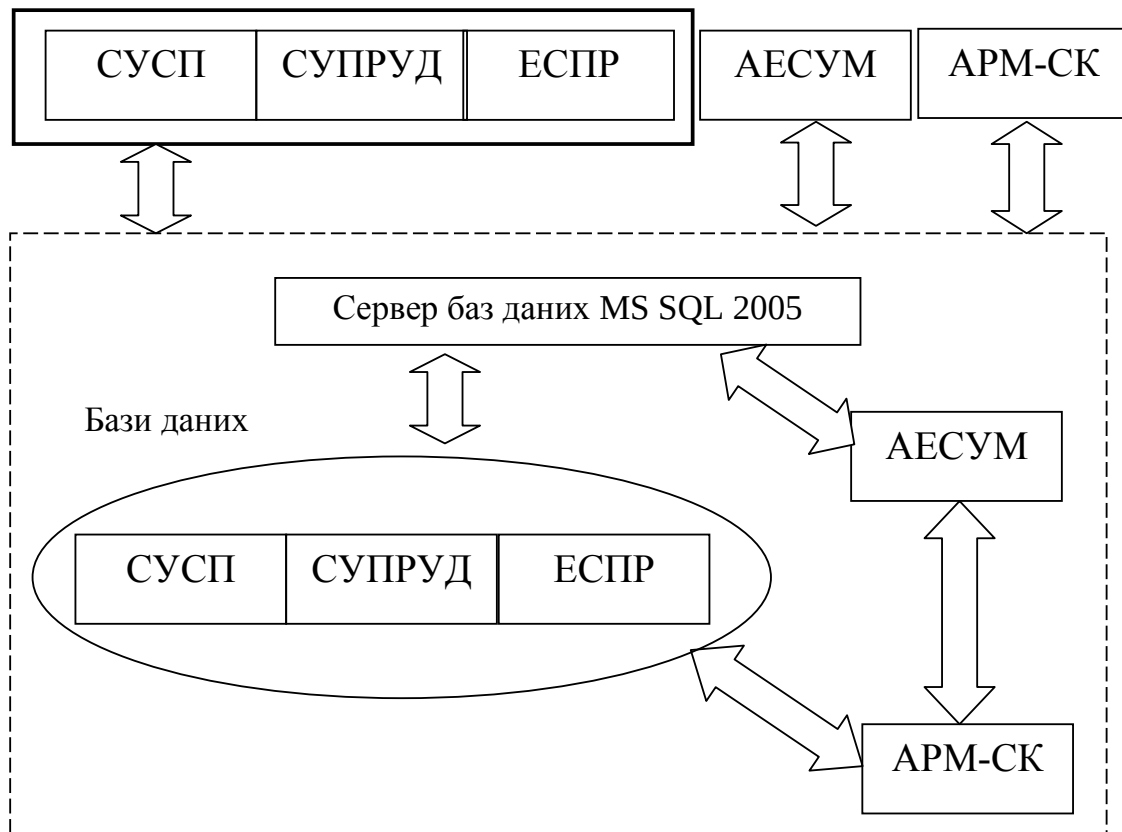


Рис. 3. Місце експертної системи проектування річної програми робіт (ЕСПР) в галузевому програмному комплексі

Управління поточним ремонтом та експлуатаційним утриманням автомобільних доріг включає такі головні етапи:

- збирання інформації про пошкодження елементів доріг і внесення їх в базу даних;
- оцінку фактичного експлуатаційного стану доріг;
- визначення складу та об'ємів робіт, виконання яких необхідне і достатнє для підтримки автомобільних доріг у нормативному експлуатаційному стані;

- розрахунок вартості робіт і потреби в трудових та матеріально-технічних ресурсів;
- призначення можливого з умов обмеженого фінансування планового експлуатаційного стану доріг;
- вибір підрядників і організацію виконання запланованих робіт;
- матеріальне стимулювання забезпечення підрядниками високих показників експлуатаційного стану доріг;
- оцінку досягнутого рівня утримання доріг.

Результати візуальних обстежень елементів доріг повинні заноситись в автоматизовану експертну систему управління поточним ремонтом та утриманням доріг (СУПРУД), яка є елементом загальної системи управління станом доріг (АСУСД) і уявляє собою сукупність моделей і методів, баз даних і програмних засобів, які допомагають особам, що приймають рішення, обґрунтовувати і забезпечувати найвищий при існуючих обмеженнях рівень утримання автомобільних доріг в межах сфери поточного ремонту та утримання доріг. Далі ЕСПР при взаємодії з програмними комплексами СУСП, АЕСУМ, АРМ-СК на рівні баз даних і відповідних програмних засобів визначає перелік можливих рішень при обґрунтуванні річної програми робіт для користувача.

Висновки

Основною задачею створення ЕСПР була реалізація моделі проектування річної програми робіт на основі розроблених теоретичних підходів [10]. В основу розробки експертної системи проектування річної програми робіт (ЕСПР) покладене програмне забезпечення, яке складається з комплексу програмних засобів, призначених для оцінки стану автомобільних доріг і планування ремонтно-відновлювальних заходів (СУСП, АЕСУМ, АРМ-СК, АЕС-ТЕО).

Розроблена ЕСПР пропонується до застосовування для управління поточним ремонтом та експлуатаційним утриманням автомобільних доріг загального користування державного значення на рівнях центральної бази даних Державної служби автомобільних доріг України (Укравтодор), в обласних дорожніх організаціях та на рівні низових дорожньо-ремонтних організацій, які є безпосередніми виконавцями зазначених робіт.

Авторські права на ЕСПР було зареєстровано у Державному департаменті інтелектуальної власності (свідоцтво №33783 від 18.06.2010 року та №34651 від 20.08.2010 року).

Література

1. HDM-4 Technical User Guide. Part C: Analysis Tools. C-3 [Електронний ресурс] // Strategy Analysis, 1998. – 17 pp. - Режим доступу: http://www.asphaltwa.com/wapa_web/modules/08_evaluation/08_management.htm#pms.
2. Кизима С.С. Структура та технічні можливості вітчизняної системи управління станом дорожніх покриттів (СУСП) / С.С. Кизима // Підвищення ефективності будівництва та ремонту автомобільних доріг. – Харків, 2002.
3. Коваль П. Внедрение аналитической экспертной системы управления мостами в Украине / П. Коваль, А. Лантух-Лященко, С. Сидун // Материалы юбилейной научно-технической конференции «80 лет Белорусской дорожной науке 1928-2008». – Минск, 2008. – С. 156 – 165
4. Лантух-Лященко А.І. До розробки галузевої аналітичної експертної системи управління мостами / А.І. Лантух-Лященко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, Вип. 69. – К.: НТУ, 2004. – С. 120 – 126.
5. Файнгольд М.Л., Кузнецов Д.В. Принципы расчета производственной мощности и загрузки оборудования. – Владимир, 2002.- 86 с.
6. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Как управлять проектами / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков – М.: СИНТЕГ-ГЕО, 1999. – 195 с.
7. Джексон П. Введение в экспертные системы / П. Джексон. – Вильямс, 2001. – 624 с.
8. Кизима С.С. Наукові принципи та практичні напрямки управління станом автомобільних доріг / С.С. Кизима, О.П. Канін, М.М. Лихоступ // Сучасні проблеми та перспективи розвитку дорожньо-будівельного комплексу України. – К.: НТУ, 2004.
9. Методика планування річних обсягів робіт з поточного ремонту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг. М 218-02070915-653:2008. – Київ, 2008.
10. Методика управління системою виконання поточного ремонту та експлуатаційного утримання доріг державного значення. М 218-02070915-669:2010. – Київ, 2010.

Шпиг А.Ю.

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ОБҐРУНТУВАННЯ СТРАТЕГІЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. Запропонований алгоритм імітаційного моделювання обґрунтування стратегії експлуатації автомобільних доріг, на основі якого розроблено комп'ютерну програму.

Ключові слова: стан елементу, імітаційне моделювання, марківський процес.

Аннотация. Предложен алгоритм имитационного моделирования обоснования стратегии эксплуатации автомобильных дорог, на основе которого разработана компьютерная программа.

Ключевые слова: состояние элемента, имитационное моделирование, марковский процесс.

Annotation. This article is about introduced algorithm of imitating model of the foundation of the strategy of automobile roads operation, on which a computer program is designed.

Keywords: status element simulation, markov process.

Постановка проблеми. Процес прийняття рішення щодо вибору ремонтних заходів для підтримки потрібного експлуатаційного стану доріг дуже складний. Тому проблема визначення оптимальної стратегії ремонтів та утримання доріг ще не знайшла свого науково-обґрунтованого вирішення. Для оптимізації стратегії найбільш доцільне застосування імітаційних моделей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У більшості країн світу утриманню автомобільних доріг приділяється дуже велика увага. Саме від стану мережі доріг залежить стабільний економічний розвиток країни. Але, на жаль, нинішній стан доріг далеко не найкращий. Тому, починаючи з кінця минулого століття, вчені в усьому світі зробили чимало спроб, щоб оптимізувати рівень утримання доріг.

Системи управління станом дорожніх одягів, які набули значного поширення в країнах світу, отримали аббревіатуру PMS (Pavement Management System). Дорожній тест AASHO в 1958-61 роках та дослідження, які з ним пов'язані, зробили величезний внесок в управління станом дорожнього одягу. На основі цього тесту були розроблені перші системи управління дорожнім одягом [1]. За допомогою PMS вирішуються задачі обґрунтування необхідних заходів щодо ремонту та утримання покриття.

У 1976 році Світовим Банком була розроблена і впроваджена модель HDM (Highway Design and Maintenance Standards Model) [2], яка призначалася для порівняння проектів дорожнього будівництва та реконструкції і розробки програм експлуатації автомобільних доріг. На основі HDM були розроблені програми HDM-III та HDM-4, які широко використовуються в різних країнах.

В Україні для управління станом автомобільних доріг використовуються такі програмні комплекси, як СУСП (Система управління станом покриття), АЕСУМ (Аналітична експертна система управління мостами) та СУПРУД (Система управління поточним ремонтом та утриманням доріг), розроблені в Національному транспортному університеті за участю ДП «Укрдіпдор» та ДерждорНДІ.

Проте, незважаючи на такі світові досягнення, питання оптимізації утримання мережі доріг у належному стані залишається відкритим.

Постановка завдання. Розробка алгоритму та комп'ютерної програми для обґрунтування стратегій експлуатації автомобільних доріг з використанням імітації.

Виклад основного матеріалу. Стратегія експлуатації автомобільних доріг повинна базуватись на передбаченні деградації елементів доріг і споруд на них, спричинених дією процесів втомлювання від повторних транспортних навантажень, впливом кліматичних і гідрологічних чинників, старіння матеріалів конструкцій, втручання дій з підтримки інших інфраструктурних об'єктів і процесом відновлення експлуатаційних якостей елементів доріг.

Стратегією експлуатації доріг можна назвати послідовність виконання в часі поточних та капітальних ремонтів. Існує багато варіантів стратегії експлуатації, тому для вибору однієї з них – найкращої – необхідний критерій, який надає перевагу одній стратегії над іншою. Таким критерієм прийнято

вважати мінімальні дорожньо-транспортні витрати. Алгоритм обчислення дорожньо-транспортних витрат наведений в [3].

З часом, в міру того, як в елементах споруди накопичуються дефекти, її надійність зменшується. Тобто розглядаються моделі накопичення пошкоджень, що виникають в результаті зносу елемента споруди. Процес деградації описується марківським процесом [4]. Виходячи з цього можна сказати, що елемент може знаходитися послідовно в одному з п'яти станів $S_1, S_2, \dots, S_5$, а переходи з одного дискретного стану в інший здійснюються у моменти часу $t_1, t_2, \dots, t_5$ (рис. 1). Кожен стан має якісні та кількісні показники. Їх характеристика наведена в [5].

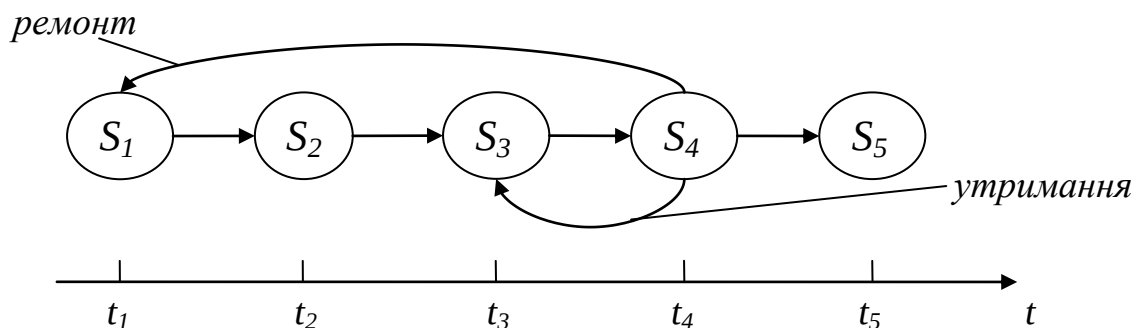


Рис. 1. Граф станів елемента споруди

Задачу обґрунтування стратегії можна розв'язати методом імітаційного моделювання за укрупненим алгоритмом, наведеним на рис. 2.

Для визначення наступного стану елементу використовується метод Монте-Карло [6]. Рівномірно розподілені в інтервалі від 0 до 1 випадкові числа розігруються за допомогою функції - генератора випадкових чисел.

На основі даного алгоритму розроблена комп'ютерна програма, екранна форма якої наведена на рис. 3. Вона може слугувати в якості вихідної для подальшого удосконалення.

За цією програмою елемент дороги може обслуговуватися з різними стратегіями. Починаючи з стану S_2 будь-який елемент можна переводити в стан S_1 , з стану S_3 в стан S_2 або S_1 і т.д. шляхом проведення певних ремонтно-відновлювальних робіт. Стан S_5 є поглинаючим, тобто виходу з нього немає. При стані S_5 потрібно проводити реконструкцію. Зміна станів елементу задається матрицею переходних ймовірностей (рис. 3).

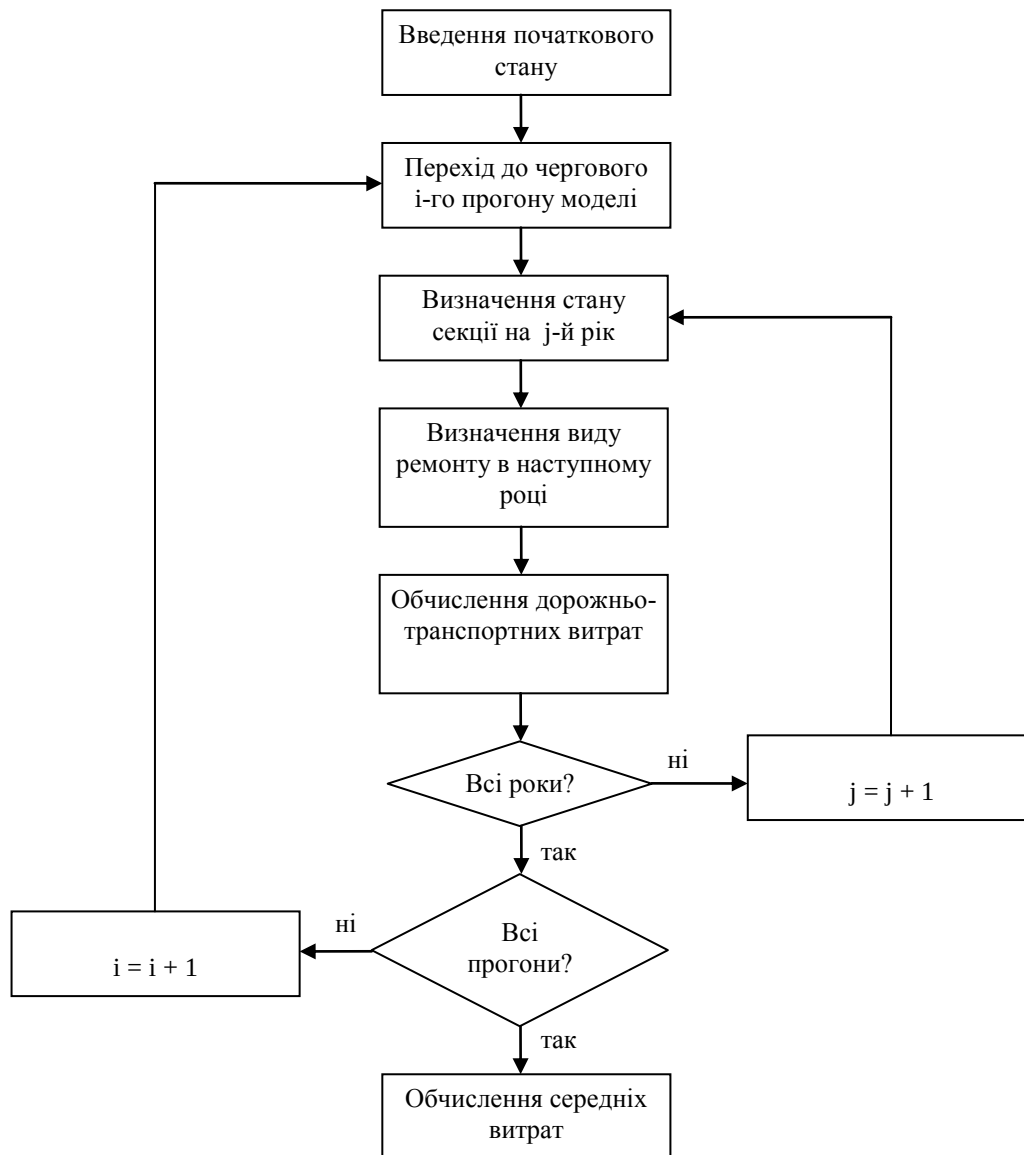


Рис. 2. Схема алгоритму імітаційного моделювання

Стратегія ремонту задається вектором «Стратегія», у якому 0 означає відсутність ремонту, а 1 – проведення ремонту. При певній стратегії потрібно зробити велику кількість прогонів для того, щоб отримати потрібний результат.

За допомогою імітаційної моделі можна дослідити вплив різних факторів на ефективність стратегій ремонту.

Висновок

За допомогою розробленої комп'ютерної програми можливо прогнозувати стан будь-якого елементу доріг. В подальших дослідженнях програму доцільно деталізувати за рахунок збільшення кількості станів елементу. Це дозволить точніше обґрунтувати так званий рівень втручання – таке значення

експлуатаційного параметру, при якому потрібно виконувати ремонт або утримання елементу дороги.

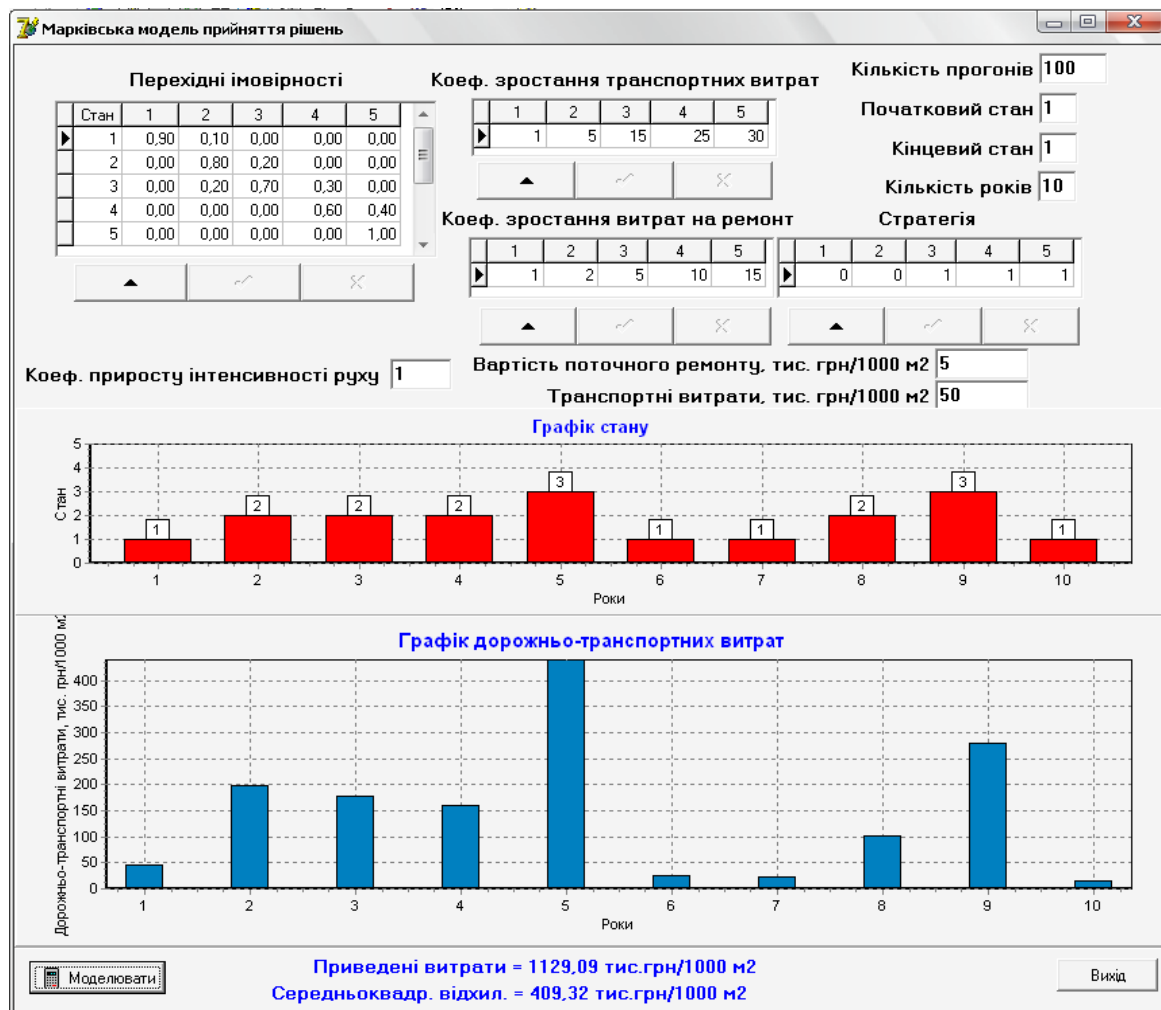


Рис. 3. Комп'ютерна реалізація імітаційної моделі

Література

1. Haas and Hudson 1978 and Haas et al 1994, TAC 1997, AASHTO 1993.
2. HDM – 4. Highway Development & Management. Volume one. Overview of HDM – 4 // Henry G.R. Kerali. PIARC, World Bank Association, 2000.- 53 p.
3. Шпиг А.Ю. Модель обґрунтування рівня обслуговування елементів автомобільних доріг. // Вісник Національного транспортного університету: В 2-х частинах: Ч.1. – К.: НТУ. – 2010. – Вип. 21. – с. 94-99.
4. Лантух-Лященко А.І. Оцінка технічного стану транспортних споруд, що знаходяться в експлуатації. // Вісник ТАУ та УТУ. – К., РВВ УТУ. – 1999. – Вип. 3. – с. 59-63.
5. Інструкція по визначенню рівнів експлуатаційного стану автомобільних доріг державного значення та їх елементів. ІН В.3.1-218-336:2010 // Укравтодор. – 48с.
6. Таха, Хемеди А. Введение в исследование операций, 7-е издание. Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс». – 2005. – 912 с.

УДК 625.723

Каськів В.І., канд. техн. наук, Каськів С.В.

ПРО НЕОБХІДНІСТЬ УТОЧНЕННЯ МОДЕЛІ ЗОВНІШНЬОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ РОЗРАХУНКАХ СТІЙКОСТІ УКОСІВ НАСИПІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. Одним із питань, яке потребує уточнення при розрахунках стійкості укосів насипів автомобільних доріг, є модель і величина зовнішнього навантаження. Наведено розрахунки, які показують значну розбіжність у величинах активного стиску ґрунту на підпірну стінку при заміні нормативного зовнішнього навантаження НК-80 еквівалентним шаром ґрунту.

Ключові слова: автомобільна дорога; насип; укіс; зовнішнє навантаження; підпірна стінка; еквівалентний шар ґрунту.

Аннотация. Одним из вопросов, который требует уточнения при расчетах устойчивости откосов насыпей автомобильных дорог, является модель и величина внешней нагрузки. Приведены расчеты, которые показывают значительное различие в величинах активного сжатия грунта на подпорную стенку при замене нормативной внешней нагрузки НК-80 эквивалентным слоем грунта.

Ключевые слова: автомобильная дорога; насыпь; откос; внешняя нагрузка; подпорная стенка; эквивалентный слой грунта.

Annotation. One of the issues which require clarification in calculating the stability of slopes of embankments of roads, is the model and the external load. The calculations, which show a significant difference in the values of the active contraction of soil on a retaining wall by replacing the regulatory burden of external НК-80 equivalent to a layer of soil.

Keywords: road; embankment; slope; external load; retaining wall; equivalent to a layer of soil.

Найбільш вагомою складовою інфраструктури шляхів сполучення є автомобільні дороги.

Зростання інтенсивності руху та питомої ваги важких автомобілів у загальному транспортному потоці, а також зростання вантажонапруженості висувають все нові підвищені вимоги до стійкості і міцності дорожньої конструкції, в цілому, і до земляного полотна, зокрема.

Оцінку загальної стійкості земляного полотна виконують за першим граничним станом – несучою здатністю (за умов граничної рівноваги). Стійкість укосів перевіряють за можливими поверхнями зсуву (круглоциліндричними, ломаними тощо) із знаходженням самої небезпечної призми обвалення, що характеризується мінімальним відношенням узагальнених граничних реактивних сил опору до активних сил зсуву.

Оцінка стійкості укосів високих насипів включає вибір розрахункової схеми, метод розрахунку і методики визначення розрахункових параметрів. При цьому необхідно враховувати різноманіття форм прояву порушень як загальної, так і місцевої стійкості укосів.

Розрахунки стійкості укосів здійснюють для розрахункових поперечників при найбільш несприятливому поєднанні конструктивних чинників, таких, як висота і крутизна укосу (їх максимальні значення), з інженерно-геологічними (потужність і розташування слабких прошарків, похил шарів, наявність горизонтів ґрунтових вод або підтоплення тощо) при мінімальних значеннях розрахункових зсувних параметрів ґрунтів укосу і його основи, а також нормативного зовнішнього навантаження.

При розрахунку стійкості укосів насипів автомобільних доріг, складених однорідними ґрунтами, як правило, використовують розрахунки за круглоциліндричними поверхнями ковзання (метод К. Терцаги, метод Г.М. Шахунянца, з використанням графіка Янбу, розрахунок по напруженням тощо).

Одним із питань, які потребують уточнення, при цих розрахунках є модель і величина зовнішнього навантаження.

У ДБН В.2.3–4 [1] регламентовано: “При розрахунках стійкості насипів земляного полотна та підпірних стінок, що розташовані з підгірного боку насипу, треба враховувати максимально допустиму повну вагу автотранспортного засобу 44 т при відстані між його крайніми осями не менше ніж 10 м”. Проте норми на розрахунок підпірних стінок ВСН 167 [2] і СНиП 2.09.03 [3] вимагають при розрахунках використовувати навантаження АК від

автотранспортних засобів, від одиничного колісного навантаження НК і гусеничного навантаження НГ. Норми на розрахунок мостів ДБН В.1.2–15 [4] також передбачають розрахунок на навантаження АК та НК. Причому навантаження НК-80 і НК-100 відповідно має вагу 80 т і 100 т, на відміну від 44 т згідно з [1].

Слід також врахувати, що при розрахунках стійкості укосів насипів дію зосередженого зовнішнього навантаження замінюють дією еквівалентного шару ґрунту, а при розрахунку інженерних споруд ні, що суттєво може вплинути на кінцеві результати розрахунків.

Приклад

Згідно з [2] при розрахунках підпірних стінок навантаження НК-80 приводять до навантаження, що рівномірно розподілене на суцільній смузі шириною 0,8 м.

Інтенсивність q нормативного навантаження в межах кожної смуги встановлюють в залежності від величини:

$$\bar{z} = x \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right), \quad (1)$$

де x – відстань між задньою площиною (фактичною або фіктивною) підпірної стінки і віссю смуги.

Значення q (т/м) для НК-80 розраховують за формулою:

$$q = \frac{50}{4,8 + z}. \quad (2)$$

Коефіцієнт надійності по навантаженню для рухомого тимчасового навантаження приймають $n = 1,1$.

Силу активного тиску ґрунту E на вертикальну площину стінки визначають як найбільше із значень E :

$$E_i = G_i \frac{\sin(\theta_i - \varphi)}{\cos(\varphi + \delta - \theta_i)}, \quad (3)$$

де G_i – сума ваги G_{ep} можливої призми зсуву і рівнодіючого навантаження, що на ній розташоване (рис. 1);

θ_i – кут між можливою поверхнею руйнування і горизонтальною площиною.

Силу E розглядають як суму сил E_{zp} від ваги призми руйнування і сил E_q від кожного зовнішнього навантаження на цій призмі. Сили E_{zp} і E_q нахилені до горизонту під кутом δ . Силу E_{zp} знаходять за формулою:

$$E_{zp} = G_{zp} \frac{\sin(\theta - \varphi)}{\cos(\varphi + \delta - \theta)}. \quad (4)$$

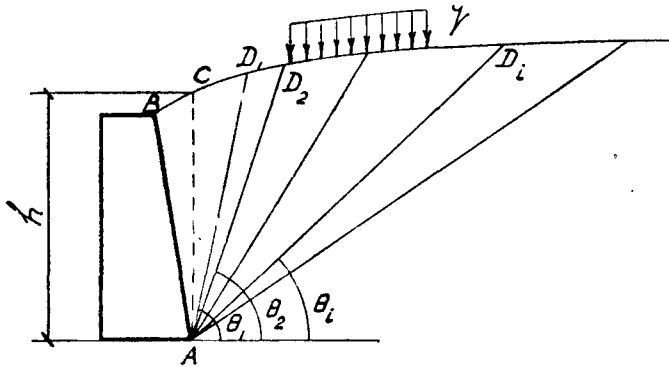


Рис. 1. Загальна схема підпірної стінки і навантаження, яке на неї діє

Силу E_q від навантаження q , яке діє по ширині a , розраховують за формулою:

$$E_q = qa \frac{\sin(\theta - \varphi)}{\cos(\varphi + \delta - \theta)}. \quad (5)$$

Приклад розрахунку підпірної стінки (наведено тільки сили, що діють на стінку) згідно з [2].

Вихідні дані:

- 1) бетонна підпірна стінка з геометричними розмірами, наведеними на рис. 2;
- 2) кут внутрішнього тертя ґрунту $\varphi_n = 35^\circ$;
- 3) розрахунковий кут тертя ґрунту по боковій поверхні підпірної

$$\text{стінки } \delta = \frac{\varphi}{2} = \frac{35^\circ}{2} = 17^\circ 30';$$

- 4) питома вага ґрунту $\gamma = 1,8 \text{ т/м}^3$;
- 5) коефіцієнт надійності при визначенні ваги призми руйнування 1,2;

6) зовнішнє навантаження НК-80.

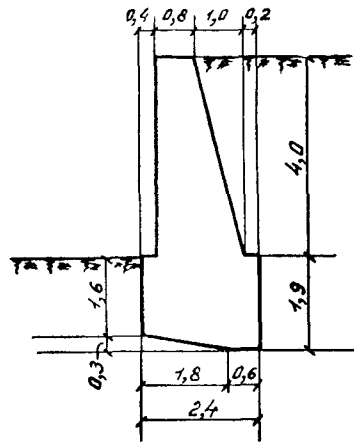


Рис. 2. Основні геометричні параметри підпірної стінки

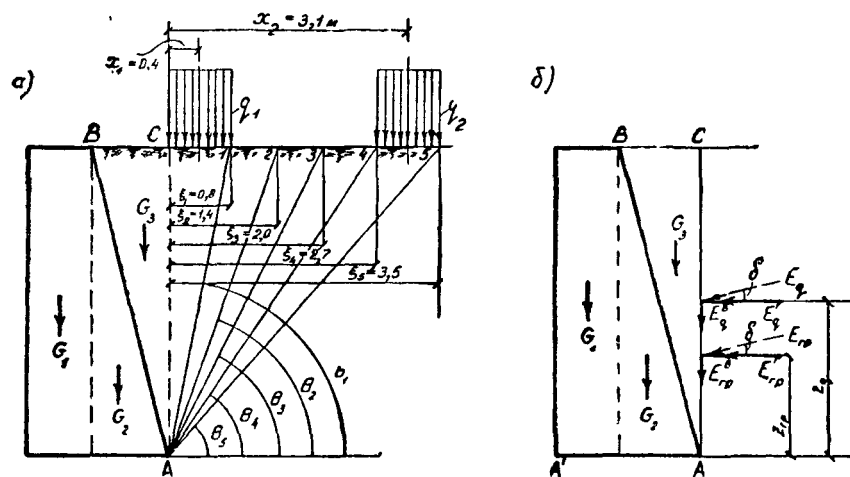


Рис. 3. Розрахункова схема

Активний тиск ґрунту визначають на фіктивну вертикальну площину стінки АС, а вагу ґрунту в призмі АВС враховують як вагу стінки. Рухоме навантаження розташовують безпосередньо за фіктивною площиною АС.

За формулою (1) розраховують значення $\bar{z}$, яке відповідає першій і другій сугам навантаження:

$$\bar{z}_1 = 0,4 \tan \left(45^\circ + \frac{35^\circ}{2} \right) = 0,77 \text{ м};$$

$$\bar{z}_2 = 3,1 \tan \left(45^\circ + \frac{35^\circ}{2} \right) = 5,9 \text{ м}.$$

За формулою (2) інтенсивність нормативного навантаження для першої і другої смуги складе:

$$q_1 = \frac{50}{4,8 + 0,77} = 9,0 \text{ т/м};$$

$$q_2 = \frac{50}{4,8 + 5,9} = 4,7 \text{ т/м};$$

З врахуванням коефіцієнта надійності по навантаженню:

$$q_{1p} = 1,1 \cdot 9,0 = 9,9 \text{ т/м};$$

$$q_{2p} = 1,1 \cdot 4,7 = 5,2 \text{ т/м}.$$

Розрахунки зведено в табл. 1.

Таблиця 1

h , м	i	ε_i , м	$tg \theta_i =$ $= \frac{h_i}{\varepsilon_i}$	θ_i	$\frac{\sin(\theta_i - \varphi)}{\cos(\varphi + \delta - \theta_i)}$	$G_{гpi} = 1,2 \gamma \xi_i h$ /2, т/м	$q_{1p} \text{ а, т/м}$	G_i , т/м	$E_i =$ $= \frac{G_i \sin(\theta_i - \varphi)}{\cos(\varphi + \delta - \theta_i)}$, т/м
4	1	0,8	5,00	78°40'	0,770	3,45	7,9	11,35	8,75
	2	1,4	2,85	70°40'	0,614	6,05	7,9	13,95	8,55
	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Замінімо навантаження НК-80 еквівалентним шаром ґрунту і знайдемо тиск ґрунту на підпірну стінку.

Розрахуємо товщину еквівалентного шару ґрунту за двома методиками.

1. Згідно з [5].

НК-80 має навантаження 20 тс (196 кН) на вісь (10 тс на колесо), при ширині ската 0,8 м питомий тиск по площі контакту складе $10/0,8=12,5$ тс/м, при відстані між колесами 2,7 м товщина еквівалентного шару ґрунту складе:

$$H = \frac{12,5 \cdot 2}{(2,7 + 0,8) \cdot 1,8} = 3,97 \text{ м}.$$

2. За допомогою програми Откос програмного комплексу CREDO.

Для ґрунту з питомою вагою $1,8 \text{ т/м}^3$ та навантаження НК-80 товщина еквівалентного шару ґрунту за розрахунками складе 1,63 м.

Тобто за різними методиками товщина еквівалентного шару ґрунту відрізняється більше ніж у 2 рази, що вказує на необхідність уточнення або розробки нової моделі задання зовнішнього нормативного навантаження.

Результати розрахунку тиску ґрунту на підпірну стінку з врахуванням еквівалентного шару ґрунту наведені у табл. 2.

Таблиця 2

$h, \text{ м}$	i	$\varepsilon_i, \text{ м}$	$tg \theta_i = \frac{h_i}{\varepsilon_i}$	θ_i	$\frac{\sin(\theta_i - \varphi)}{\cos(\varphi + \delta - \theta_i)}$	$G_{\text{гpi}} = 1,2\gamma \xi_i \frac{h}{2}, \text{ т/м}$	$q_{1p} \text{ а, т/м}$	$G_i, \text{ т/м}$	$E_i = \frac{G_i \sin(\theta_i - \varphi)}{\cos(\varphi + \delta - \theta_i)}, \text{ т/м}$
Еквівалентний шар ґрунту за розрахунками згідно з []									
7,9	1	0,8	5,00	78°40'	0,770	6,89	-	6,89	5,31
7	2	1,4	2,85	70°40'	0,614	12,05	-	12,05	7,40
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Еквівалентний шар ґрунту за розрахунками за допомогою програми Откос									
5,6	1	0,8	5,00	78°40'	0,770	4,86	-	4,86	3,74
3	2	1,4	2,85	70°40'	0,614	5,24	-	5,24	3,22
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Висновок

У результаті виконаних розрахунків встановлено, що за різними методиками величина товщини еквівалентного шару ґрунту при заміні зовнішнього навантаження відрізняється майже у 2 рази. Активний тиск ґрунту на підпірну стінку при безпосередньому врахуванні зовнішнього навантаження НК-80 і при його заміні еквівалентним шаром ґрунту знизився з 8,75 т/м до 5,31 т/т і 3,74 т/м тобто на 40 % і 57 %.

Така розбіжність у розрахунках може бути причиною руйнування споруд в період експлуатації, а також потребує розроблення нової моделі задання зовнішнього навантаження при розрахунках інженерних споруд на автомобільних дорогах і зокрема стійкості укосів насипів.

Література

1. ДБН В.2.3–4:2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 91 с.
2. ВСН 167–70. Технические указания по проектированию подпорных стен для транспортного строительства. – М.: Минтрансстрой, 1970. – 30 с.
3. СНиП 2.09.03–85. Сооружения промышленных предприятий. – М.: Госстрой СССР. – 102 с.
4. ДБН В.1.2–15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 22 с.
5. Справочник сельского дорожника. / Заворицкий В.И. и др. / Под ред. В.И.Заворицкого. – К: Урожай, 1991. – 368 с.

ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ТРИШАРОВОЇ КОНСТРУКТИВНО ОРТОТРОПНОЇ ПЛИТИ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ ПРОГОНОВИХ БУДОВИ АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ

Анотація. В даній статті розглянуто деформований стан конструктивно ортотропної плити, що представляє собою тришарову композитну плиту типу сандвіч (ПТС) з ребрам жорсткості. В результаті розрахунку даної конструкції із застосуванням методу аналогій побудовано графіки залежностей прогинів (класичного та уточненого, що враховує деформації поперечного зсуву) від висоти ребер жорсткості. Вихідні данні для методу аналогій беруться з рішень задач методом скінченних елементів (МСЕ). Оцінено вплив деформацій зсуву на деформований стан тришарової конструктивно ортотропної плити.

Ключові слова: конструктивно ортотропна плита, деформований стан, ребра жорсткості, тришарова композитна плита, метод скінченних елементів.

Аннотация. В данной статье рассмотрено деформированное состояние конструктивно ортотропной плиты, что представляет собою трехслойную плиту типа сандвич (ПТС) с ребрами жесткости. В результате расчета данной конструкции с использованием метода аналогий построены графики зависимостей прогибов (классического и уточненного, который учитывает деформации поперечного сдвига) от высоты ребер жесткости. Исходные данные для метода аналогий берутся с решений задач методом конечных элементов (МКЭ). Оценено влияние деформаций сдвига на деформированное состояние трехслойной конструктивно ортотропной плиты.

Ключевые слова: конструктивно ортотропная плита, деформированное состояние, ребра жесткости, трехслойная композитная плита, метод конечных элементов.

Annotation. This article describes the strain state of structurally orthotropic slab, which represents a three-layer sandwich slab (TSS) with ribs. On the basis of the calculation of this construction by using the analogies method, plots of the

dependence of deflection (the classic and specified, which takes into account the transverse shear strain) on the ribs height. Initial data for the analogies method is taken from the task solutions by finite element method (FEM). The effect of shear deformation on the strain state of structurally orthotropic sandwich slab is estimated.

Keywords: structurally orthotropic slab, deformed state, the ribs, three-layer composite slab, finite element method.

На сучасному етапі розвитку транспортного будівництва все частіше використовуються композитні матеріали, що виступають альтернативою залізобетонним та металевим. Прикладом композитної плити є тришарова конструктивно ортотропна плита типу “сандвіч” (ПТС), що складається з двох сталевих плит та твердого полімерного (поліуретанового) заповнювача. Така плита може бути використана як для нового мостового будівництва, так і для реконструкції існуючих ортотропних плит (рис.1.).

ПТС, що навантажена як пластина, забезпечує високий згинальний опір та згинальну жорсткість. Низька щільність матеріалу заповнювача зумовлює легкість ПТС. Крім того, вона має високі демпфуючі здатності, ізолюючі властивості та вогнестійкість.

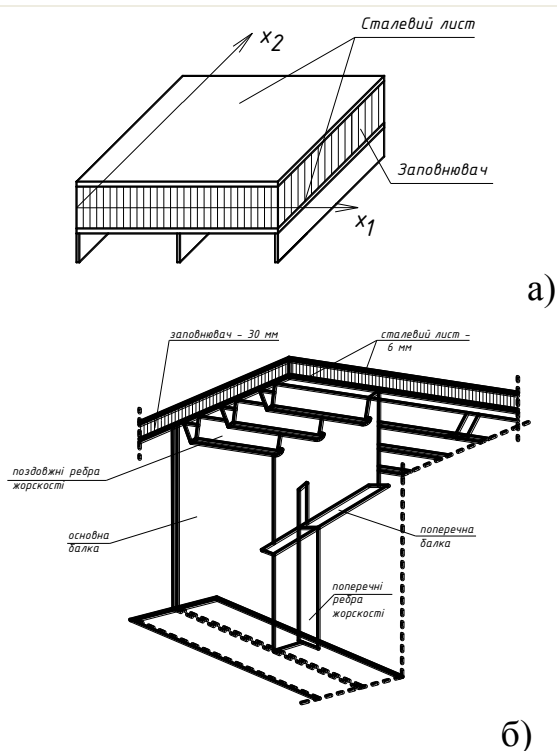


Рис. 1. (випадок а – для нового будівництва, випадок б – для реконструювання існуючих мостів з ортотропною плитою проїзної частини)

Для розрахунку тришарових композитних плит суттєвим є врахування деформацій поперечного зсуву, що дозволяє отримувати уточнені прогини, на відміну від значень, знайдених за класичною (технічною) теорією.

Уточнення виконується з використанням методу аналогій. Даний метод полягає на виявленні математичної аналогії між класичним рівнянням згину та рівнянням зсуву плити [1]. Отримання вихідних даних для розрахунку методом аналогій

передбачає використання методу скінченних елементів (МСЕ). Дискретизація зведеної композитної шаруватої ПТС виконується скінченними елементами (СЕ) оболонки нульової кривизни. В результаті розрахунку отримуються значення переміщень $w_{\hat{e}\hat{e}}$ та зусиль $M_{x_1}^{\hat{o}}$ і $M_{x_2}^{\hat{o}}$ по області плити. Значення моментів знаходяться при навантаженні плити фіктивним навантаженням (2).

Уточнений прогин з використанням методу аналогій визначається за наступною формулою [2]:

$$w_{yточ} = w_{кл} - \frac{D_{12}}{D_{11}} \cdot \chi, \quad (1)$$

де $w_{кл}$ – прогин на основі класичної теорії;

D_{11} – жорсткість при згині;

D_{12} – жорсткість, що відповідає взаємовпливу згину та зсуву;

$\chi(x_1, x_2)$ – функція зсуву, тотожна для шарнірного закріплення та защемлення по контуру плити.

Функція зсуву $\chi(x_1, x_2)$ є аналогом узагальненого фіктивного моменту $M^{\phi}(x_1, x_2)$ – формула (3), що знаходиться в результаті розв'язку класичного рівняння згину пластини від дії фіктивного навантаження q_{ϕ} :

$$q_{\phi} = -\frac{q}{D_{11}} \quad (2)$$

$$M^{\phi} = \frac{M^{\phi}_{x_1} + M^{\phi}_{x_2}}{1 + \nu_{np}} \quad (3)$$

де ν_{np} – приведений коефіцієнт Пуассона еквівалентної заданій тришаровій однорідної системи з відповідним приведеним модулем пружності.

В якості прикладу розрахунку розглянуто тришарову конструктивно ортотропну ПТС загальною товщиною 18 см з розмірами в плані 8х8м. Зовнішні шари виконані зі сталі товщиною 1см, внутрішній шар – поліуретан товщиною 16 см (рис. 2). Умови обпирання – шарнірне по контуру плити. Навантаження – розподілене вздовж ребер жорсткості, $q=100 \text{ Н/см}$. Підсилення ребрами жорсткості виконано в двох варіантах: в поздовжньому напрямку (рис. 3); в поздовжньому та поперечному напрямках (крок ребер 2 м). Ребра

жорсткості – сталеві, товщиною 1 см. Розрахунок проведено при різних значеннях висоти ребер ($0 \div 120 \text{ см}$).

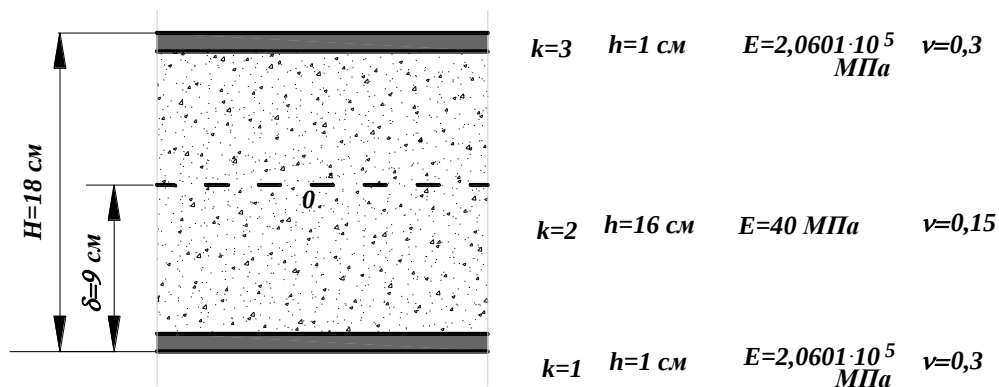


Рис. 2. Поперечний переріз ПТС

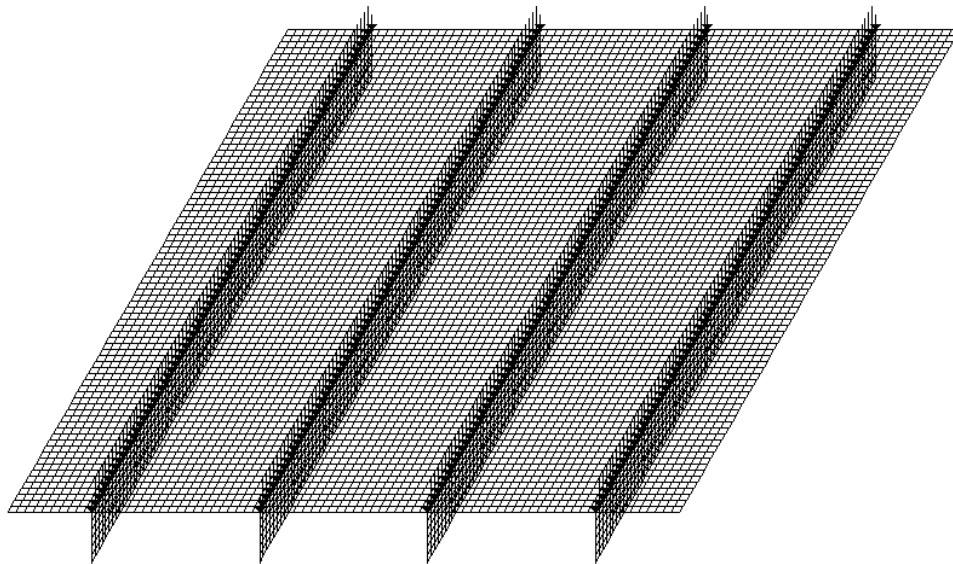


Рис. 3. Плита з ребрами в поздовжньому напрямку

В результаті розрахунку МСЕ [3,4] отримані значення класичного прогину (рис.4, 5 пунктиром) та значення розподілених моментів, на основі яких за формулою (1) обраховані значення уточнених прогинів (рис. 4, 5 суцільна лінія).

Вплив деформації зсуву оцінено як відношення уточненого прогину до класичного. Для даних конструкцій (рис.2, 3) його значення складає від 2,8 до 4,0, що вказує на досить низький опір зсуву плит ПТС. При цьому на рис.4, 5 можна побачити, що при збільшенні висоти ребер жорсткість конструктивно отротропної ПТС підвищується, проте вплив зсуву залишається суттєвим, навіть при максимальній розрахунковій висоті ребра (120 см).

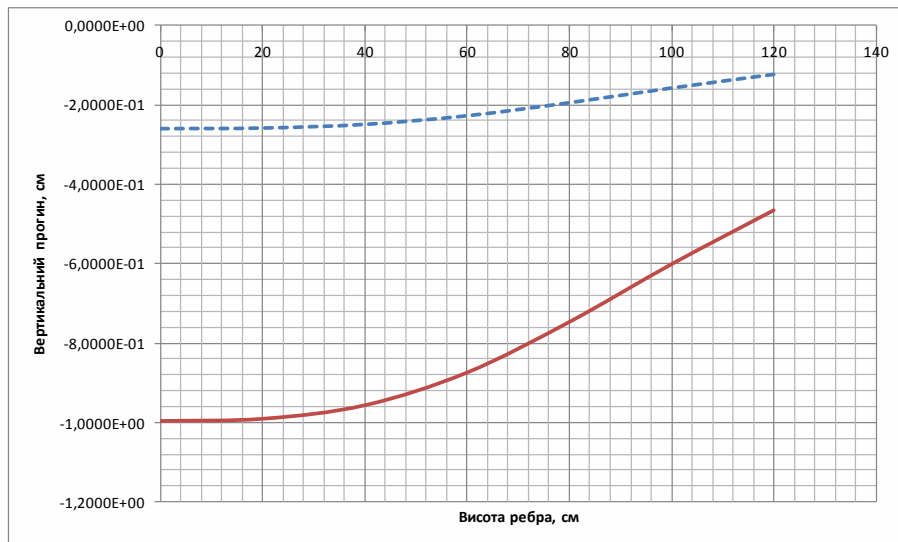


Рис. 4. Графіки прогинів для плити з ребрами в поздовжньому напрямку (пунктиром вказано класичне значення, суцільною лінією – уточнене значення), см

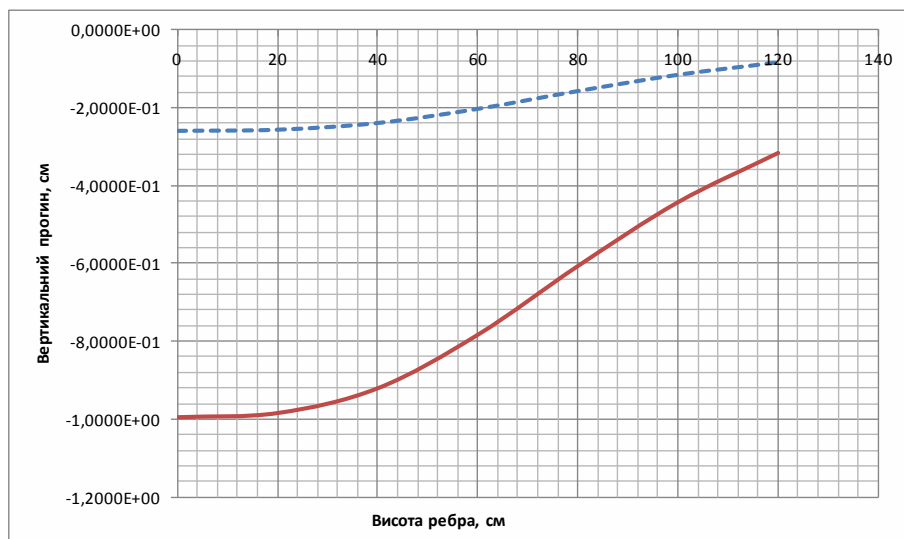


Рис. 5. Графіки прогинів для плити з ребрами в поздовжньому та поперечному напрямках (пунктиром вказано класичне значення, суцільною лінією – уточнене значення), см

Література

1. Тимошенко С.П., Войновски-Кригер. Пластины и оболочки. – М.: Наука, 1966. – 625 с.
2. Пискунов В.Г.. Расчёт металлополимерных пластин на основе уточнённой теории // В.Г. Пискунов, В.С. Сипетов, И.А. Кондрюкова // Тезисы докладов международной научно-технической конференции ИММС НАНБ. – Гомель. – Поликомтриб. – 2009. С. 179-180.
3. ЛИРА® 9.4. Примеры расчета и проектирования. Приложение к учебному пособию ЛИРА 9.2. Гензерский Ю.В., Куценко А.Н., Марченко Д.В., Слободян Я.Е., Титок В.П. – К.: Издательство НИИАСС, 2006. – 124 с.
4. Вычислительный комплекс SCAD. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Перельмутер А.В. и др.: М.: Издательство АСВ, 2004. – 592 с.

ОСОБЛИВОСТІ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ЗЕМЛЕРИЙНИХ МАШИН В УМОВАХ БЛИЗЬКО РОЗТАШОВАНОГО ДІЮЧОГО ТРУБОПРОВОДУ

Анотація. В роботі наведено особливості робочих процесів землерійних машин в умовах близько розташованого діючого трубопроводу. Результат такого дослідження дозволить оцінити навантаження на діючий магістральний трубопровід, зокрема від дії землерійних машин, що можуть спричинити зміну його напружено-деформованого стану.

Аннотация. В работе приведены особенности рабочих процессов землеройных машин в условиях близко расположенного действующего трубопровода. Результат такого исследования позволит оценить нагрузки на действующий магистральный трубопровод, в частности под действием землерейных машин, которые могут вызвать изменение его напряженно-деформированного состояния.

Annotation. The paper presents the features of Workflow earthmoving machines in a nearby existing pipeline. The result of this study will evaluate the load on the existing trunk pipeline, in particular under the influence of machines, which can cause a change in its stress-strain state.

Вступ. Робочі процеси землерійних машини (ЗМ) та обладнання для виконання земляних робіт під час виконання капітального ремонту магістральних нафто- та газопроводів суттєво відрізняються від виконання робіт з розробки ґрунтів у звичайних умовах будівництва.

Аналіз досліджень. Основною відмінністю роботи таких ЗМ є наявність близько розташованого магістрального трубопроводу (МТ), який перебуває під тиском рідких або газоподібних речовин та пролежав у ґрунті 30...40 і більше років, причому відмічаються наступні особливості:

1) у зв'язку з фізико-хімічними перетвореннями в структурі сталі такої труби внаслідок старіння границя міцності руйнування «старого» трубопроводу $[\sigma_{с.тр}]$ в залежності від марки сталі та терміну експлуатації зменшується від 10 до 35% по відношенню до границі міцності матеріалу $[\sigma_{н.тр}]$ нового трубопроводу, що виражається формулою [1]:

$$[\sigma_{с.тр}] = \frac{[\sigma_{н.тр}]}{k} \cdot c_1 \cdot k_1; \quad (1)$$

де k – коефіцієнт який враховує надійність роботи МТ по матеріалу (для трубопроводів зі сталей 17Г1СУ, 19Г1СУ, що експлуатуються більше 30 років $k=1,35$);

k_1 – коефіцієнт урахування еліпсності МТ;

c_1 – коефіцієнт урахування корозійного зношування МТ.

2) урахування корозійного зношування МТ, який розкривають від ґрунту, 30...40 і більше років пролежав в агресивному середовищі – вологому ґрунті, що спричиняє руйнування ізоляційного покриття та корозію стінки труби (рис. 1), товщина якої в окремих місцях зменшується на 40...50% і більше [2].



Рис. 1. Стан зовнішньої стінки трубопроводу, який пролежав в ґрунті 30...40 років

Проблема. Відсутність методів розрахунку додаткових навантажень на близько розташований трубопровід від дії ЗМ під час виконання земляних робіт з капітального ремонту магістральних трубопроводів за новою технологією «без підйому труби та зупинки перекачування продукту».

Мета дослідження розглянути особливості робочих процесів землерийних машин в умовах близько розташованого трубопроводу.

Задачі дослідження: встановити навантаження на діючий магістральний трубопровід, що можуть спричинити зміну його напружено-деформованого стану (НДС).

Основна частина. Урахування зменшення допустимих напружень руйнування МТ у зв'язку з корозійним зношуванням виконують у відповідності до ВБН В.2.3-00018201.04-2000 «Розрахунки на міцність діючих магістральних трубопроводів з дефектами», наприклад за даним ВАТ «Інститут транспорту нафти» технічної діагностики ділянки трубопроводу «Кременчук-Херсон» (25 км, введеного в дію 1983 р.) допустимі напруження $[\sigma_b]$ з 510 МПа зменшилась до 202,7 МПа [2, додаток 9], причому за тієї умови, що розрахунок виконувався з внутрішнім тиском перекачування $p = 4,1$ МПа. При транспортуванні сировини з проектними тисками до 8 МПа, допустимі напруження, які можуть призвести до руйнування МТ можуть складати близько 100 МПа.

Урахування еліпсності МТ пов'язане зі зміною геометричної форми МТ внаслідок зміни міцнісних та в'язкісних характеристик матеріалу. За даними [3], в залежності від терміну експлуатації трубопроводів після 15 років суттєво зменшується в'язкість основного матеріалу труби та її зварювальних швів (рис. 2).

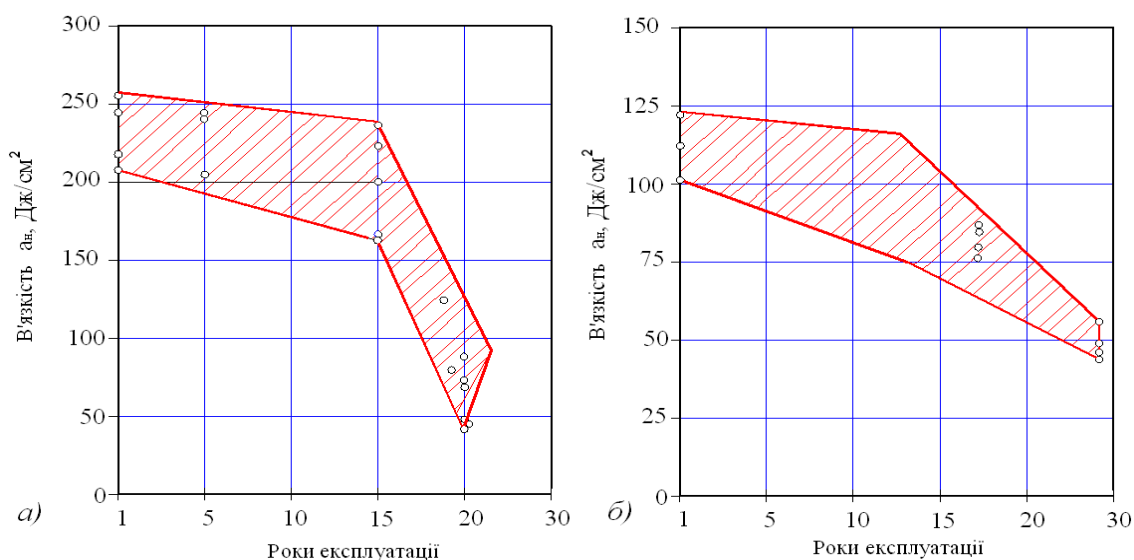


Рис. 2. Зміна механічної в'язкості металу газопроводу від років експлуатації:
а – основного металу; б – зварного шва

У результаті розглянутих факторів, що впливають на зміну допустимих напружень руйнування МТ, за формулою (1) можна зробити висновок про те, що діючі магістральні трубопроводи, які експлуатуються більше 20...30 років мають

в рази нижчі міцнісні характеристики. Це призводить до зростання кількості відмов (рис. 3) [3] та втрати роботоздатності нафто-газотранспортної системи (НГТС) і серйозних техногенних наслідків.

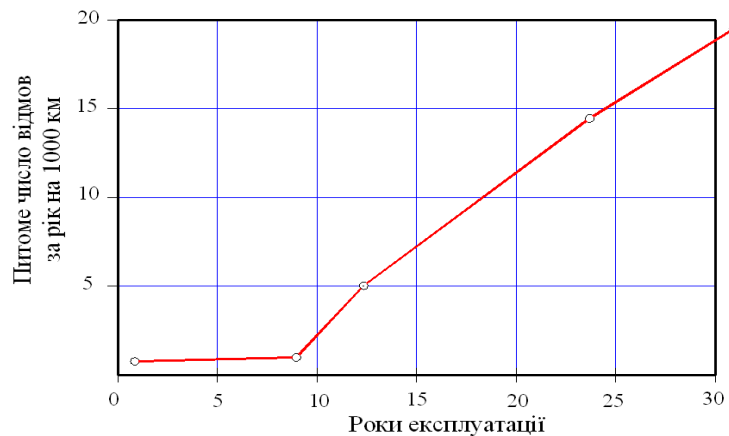


Рис. 3. Розподіл відмов магістральних газо- і нафтопроводів від років експлуатації

Крім вікових змін стану МТ, важливими факторами, що впливають на зміну НДС трубопроводу є вплив зовнішніх навантажень.

За даними експериментальних досліджень [4], встановлено вплив власної ваги ґрунту на зміну напруженого стану МТ підземного прокладання (рис. 4).

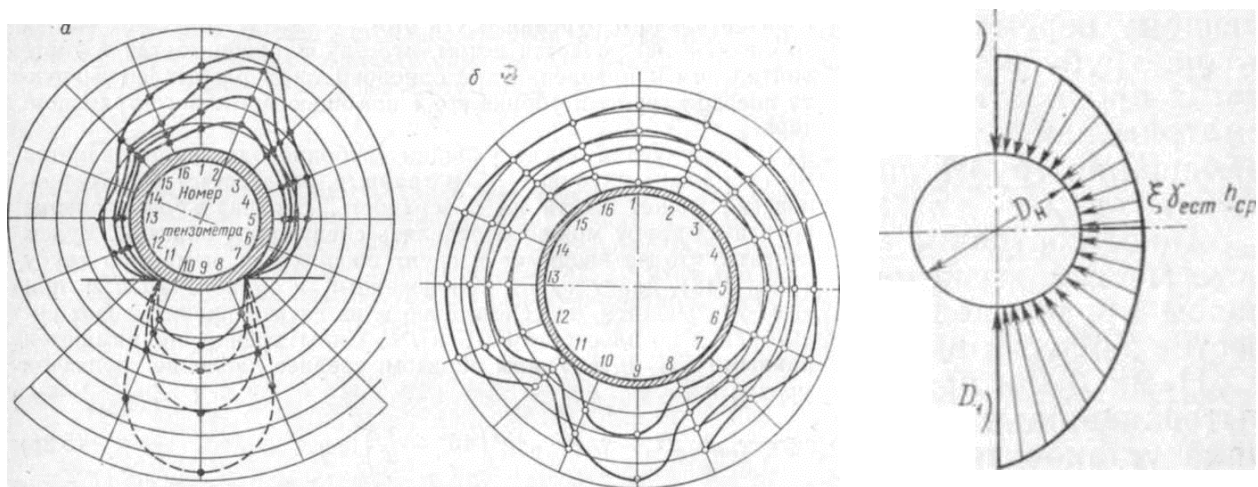


Рис. 4. Розподілення тиску ґрунту по поверхні трубопроводу: а – експериментальне для жорсткої труби, б – експериментальне для гнучкої труби, в – розрахункова епюра

Наведені експерименти показують, що тиск ґрунту по периметру труби, укладеної в ґрунті розподіляється нерівномірно. Крім того, розподіл радіальних тисків у значній мірі залежить від гнучкості перерізу труби, здатності її стінок змінювати форму під навантаженням. У випадку жорсткої стінки труби у верхній і нижній її частинах виникає вертикальний тиск значно більший від бічного

рис. 4, а. Труба з гнучкою стінкою, деформуючись, намагається прийняти таку форму, при якій тиск по периметру наближався б до рівномірного рис. 4, б. Рішення, що враховують нерівномірність розподілу тиску по периметру труби від ваги ґрунту над ним для модель лінійно-деформованого середовища, отримав Г. К. Клейн. Побудована за цими формулами епюра тисків показана на рис. 4, в. У такому випадку формула для визначення радіальних напружень має вигляд [4]:

$$\sigma = \gamma_{\text{прир}} \cdot z(\cos^2 \alpha + \xi_o \sin^2 \alpha); \quad (2)$$

де z – глибина від денної поверхні ґрунту до точки, що розглядається на поверхні труби, α – кут, що проходить через центр труби, в напрямленні на точку, яка розглядається (відлік за годинниковою стрілкою від вертикалі); ξ_o – коефіцієнт бічного тиску (якщо ґрунт є середовищем граничного напруженого стану, то ξ_o замінюється на $\text{tg}^2(45^\circ - \varphi/2)$).

Крім навантажень на трубопровід від власної ваги, ґрунту досить суттєвий вплив на зміну НДС трубопроводу чинитимуть поруч працюючі машини.

До цього часу проблема оцінки впливу роботи землерийних машин на МТ не стояла, оскільки вони виконували свої технологічні операції на брівці траншеї. З появою нової перспективної технології КР МТ без підйому труби та зупинки перекачування продукту [5] та засобів для її реалізації постала проблема, крім враховування вікового стану та навантаження на МТ, оцінити вплив робочих процесів землерийних машин на зміну напруженого стану трубопроводу.

З низки робіт [6, 7, 8, 9 та ін.] відомо, що під дією робочого обладнання землерийних машин в ґрунтовому середовищі виникатимуть ядра ущільнення, які розповсюджуються на значну глибину та ширину в залежності від величини прикладання навантаження, плями контакту, характеристик середовища.

Безумовно їх дія в умовах близько розташованого трубопроводу спричинятиме додаткову зміну напружено-деформованого стану МТ.

Розглянемо за яких умов можуть виникати додаткові напруження на МТ у результаті виконання технологічних процесів машин для капітального ремонту МТ:

а) під час виконання землерийними машинами робіт з розкривання діючого трубопроводу (у відповідності до запропонованої технології ремонту «без зупинки перекачування продукту» [10]) – по ньому транспортується нафта чи газ

під тиском, що спричиняє виникнення певного напруженого стану в металоконструкції труби;

б) у відповідності до особливостей нової технології [10] землерийні роботи виконуються без підйому труби на ґрунтове ложе та наявністю відкритих ділянок, де трубопровід провисає під дією власної ваги, що також спричиняє виникнення в ньому додаткового НДС;

в) крім власної ваги трубопроводу, на зміну його НДС впливає об'ємна вага продукту, що транспортується (особливо нафти), а також підкопувальної, очищувальної та ізоляційної машин, які рухаються безпосередньо по трубопроводу [10];

г) тягач та робочі органи землерийних машин працюють у безпосередній близькості до магістрального трубопроводу (рис. 5) та впливають на зміну його НДС.

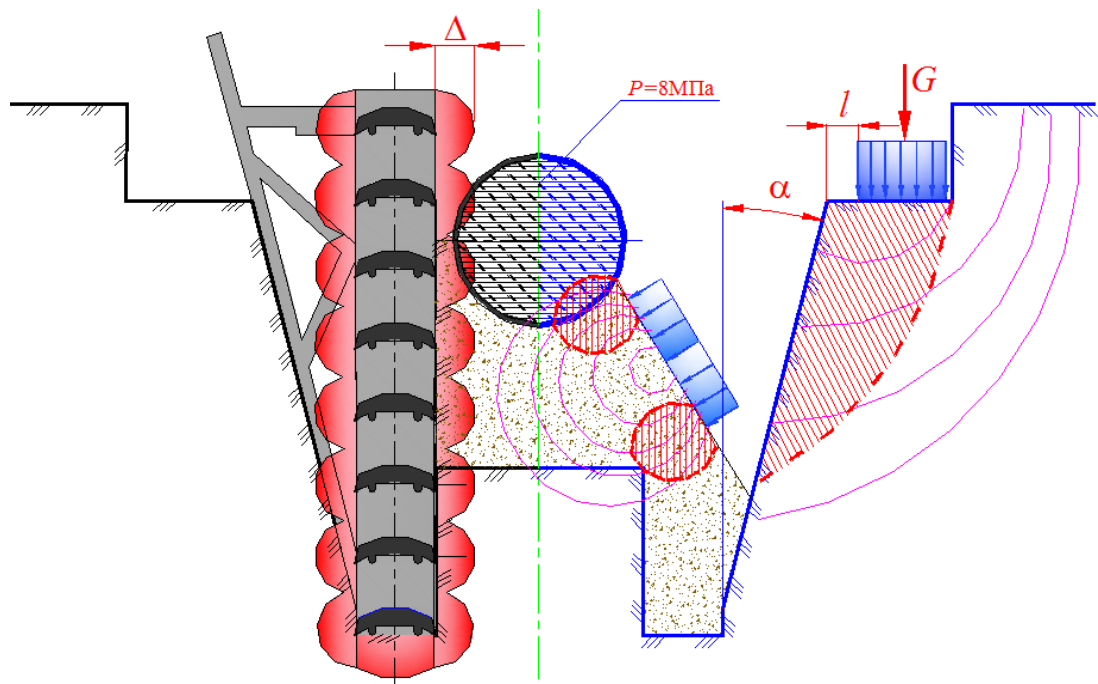


Рис. 5. Специфіка взаємодії робочого обладнання машин для капітального ремонту трубопроводів з середовищем

Таким чином, не складно дійти висновку, що при проектуванні землерийної техніки для виконання капітального ремонту МТ за новою перспективною технологією «без підйому труби та зупинки перекачування нафти» ключовою проблемою є можливість оцінки та урахування впливу процесів взаємодії тягача та робочого обладнання ЗМ з середовищем на зміну НДС магістрального трубопроводу.

У зв'язку з цим оцінка ефективності нової техніки для КР трубопроводів, поряд з високою продуктивністю та низькою енергоємністю робочих процесів має бути оцінена, насамперед, здатністю безпечно виконувати необхідні технологічні операції поблизу небезпечних об'єктів під тиском та ні в якому разі не спричинити зміну НДС тіла труби, більшу за межу руйнування (1) і не допустити серйозних, наслідків пов'язаних з цим. Саме така умова дозволить реалізувати нову та перспективну швидкісну технологію капітального ремонту МТ.

Крім того, варто звернути увагу на те, що створення ефективного комплексу ЗМ для КР магістральних трубопроводів обмежується не лише встановленням особливостей процесів копання ґрунту.

Особливості забезпечення стійкості ґрунтового масиву під час роботи землерийних машин в технологічному ланцюзі машин з капітального ремонту МТ пов'язані з:

1. Необхідністю ущільнення ґрунту під магістральним трубопроводом після нанесення нового ізоляційного покриття та забезпечення стійкості ґрунтового фундаменту;
2. Необхідністю забезпечення стійкості укосів траншеї (визначення кута закладання відкосів) в залежності від фізико-механічних властивостей ґрунту, додаткових навантажень від машин, які рухаються по бермі траншеї та впливу на стійкість укосів брустверів розробленого ґрунту.
3. Несучою здатністю ґрунтів під ходовим обладнанням тягачів ЗМ з навісним робочим обладнанням (обмеження по їх масі та тиску на ґрунт).

Не врахування таких особливостей може призводити до обвалів траншей та:

- заштибовки робочих органів, збільшення навантажень на привод і зменшення виносної здатності машин;
- впливу обвалів на зміну НДС труби та можливість досягнення критичних значень, що можуть призвести до її руйнування;
- провалювання машин в слабких ґрунтах, втрати їх керованості, пікових навантажень на окремі елементи ходового обладнання і їх руйнування, вплив на НДС магістрального трубопроводу.

Висновки

Виконаний аналіз особливостей робочих процесів землерийних машин в умовах близько розташованого трубопроводу дозволяє зробити висновок про те, що вони суттєво відрізняються від робочих процесів ЗМ в будівництві.

Тому для створення комплексу вискоефективних землерийних машин та реалізації технології швидкісного та безпечного капітального ремонту діючих магістральних трубопроводів, без підйому труби та зупинки перекачування продукту, необхідно вирішити низку теоретичних та практичних завдань пов'язаних з оцінкою впливу робочих процесів ЗМ на НДС трубопроводу та запропонувати раціональні параметри та режими роботи обладнання, які б мінімально впливали на зміну напруженого стану МТ.

Література

1. ВБН В.3.1-320.20077720.05-2003/ НАК "Нафтогаз України" Магістральні трубопроводи. Капітальний ремонт. Розрахунок міцності та стійкості лінійних ділянок магістральних нафтопроводів діаметром від 377мм до 1220 мм.
2. ВБН В.2.3-00018201.04-2000/Держнафтогазпром України. Розрахунки на міцність діючих магістральних трубопроводів з дефектами.
3. Ремонт магистральных и промышленных газопроводов: справочное пособие / [Груднистый В.Н., Зорин Е.Е. Етурцов С.А. и др.]; под ред. Степаненко А.И. – К:Интерграфик, 1996. – 192 с.
4. Бородавкин П.П. Механика грунтов в трубопроводном строительстве: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1986 – 224 с.
5. Технологія капітального ремонту магістральних нафтопроводів діаметром 530-1220 мм із заміною ізоляції без підняття трубопроводу з використанням комплексу машин підвищеної продуктивності. ВБН В.3.1-320.20077720.01-2001. – К.: НАК "Нафтогаз України", 2001. – 189 с.
6. Зеленин А. Н. Физические основы теории резания грунтов. М.-Л., изд. АН СССР, 1950. – 354 с.
7. Ветров Ю. А. Резание грунтов землеройными машинами. М., «Машиностроение», 1971. – 360 с.
8. Федоров Д.И. Рабочие органы землеройных машин.-М.: Машиностроение, 1977. – 288 с.
9. Завьялов А. М. Основы теории взаимодействия рабочих органов дорожно-строительных машин со средой : Дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.04 Омск, 1999.
10. ТТ 20-005-94 Технология капитального ремонта магистральных нефтепроводов диаметром 530-1220 мм без применения подъемных средств. – Технические требования. – Уфа: ИПТЕР, 1994. – 13 с.

Петрович В.В., канд. техн. наук, Артеменко В.А.

ЗАСТОСУВАННЯ АПАРАТА НЕЛІНІЙНОЇ ДИНАМІКИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЧАСОВИХ РЯДІВ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Анотація. Запропоновано метод оцінки часових кліматичних рядів, що базується на використанні характеристик апарата нелінійного аналізу динамічних систем. Проведені дослідження поведінки часового ряду температур та атмосферних опадів у м. Києві з використанням запропонованого метода.

Ключові слова. Кліматичні ряди, апарат нелінійного аналізу динамічних систем, пропозиції щодо побудови прогнозної математичної моделі.

Анотация. Предложен метод оценки временных климатических рядов, основанный на использовании характеристик аппарата нелинейного анализа динамических систем. Исследовано поведение временного ряда температур атмосферных осадков в г. Киеве с помощью предложенного метода.

Ключевые слова. Климатические ряды, аппарат нелинейного анализа динамических систем, предложения по построению прогнозной математической модели.

Annotation. Offered method for the evaluation of the temporary climatic series. This method is founded on use the methods of the analysis of the nonlinear dynamical systems. By means of offered method were investigated behavior of the temporary temperature series and temporary atmospheric precipitation series of Kiev-city.

Keywords. Climatic series, methods of the analysis of the nonlinear dynamical systems, the considerations on creation of the fore casting model.

Вступ

Автомобільні дороги зазнають постійного впливу кліматичних факторів, що спричиняють пошкодження дорожнього одягу, штучних споруд, викликають появу різного роду деформацій земляного полотна, зсувів та селевих виносів на прилеглих територіях, і т. і.

Особливо від негативного впливу кліматичних факторів потерпають гірські автомобільні дороги, на які дія цих факторів є найбільш агресивною [1].

Для запобігання дії стихійних лих, що постійно виникають внаслідок дії різноманітних факторів, та прийняття конструктивних рішень щодо необхідного захисту дорожньої конструкції слід детально аналізувати хід кліматичних процесів у часі та робити висновки про їх майбутню зміну. Як відомо, більшість природних систем, у тому числі і кліматичних, демонструють дуже складну поведінку.

Для кліматичної системи складна хаотична поведінка у переважній більшості випадків є нормою, в той час як періодична або навіть квазіперіодична поведінка практично не зустрічається [2-5].

В останні роки для дослідження поведінки часових рядів, які виявляють складну (у тому числі і хаотичну) поведінку, з успіхом застосовують апарат нелінійної динаміки (динамічного хаосу) [6-10].

У статті розглядається метод аналізу часових кліматичних рядів, що базується на використанні певних характеристик теорії динамічного хаосу. Це дозволяє попередньо характеризувати прогнозну математичну модель процесу, що розглядається.

Характеристики хаотичного процесу

Для складної динамічної системи прийнятим уявленням розвитку певного процесу у часі є побудова її “портрету” у фазовому просторі [6-8]. При цьому, незалежно від того, якими були початкові умови, така система, еволюціонуючи, завжди “приходить” в певну область фазового простору (де знаходиться її фазовий “портрет”). Цей фазовий портрет носить назву аттрактора системи (від англ. to attract – притягувати), оскільки всі траєкторії стану системи стягуються в “портрет”, при цьому, однак, ніколи не перетинаючись.

Аттрактори систем, у тому числі і кліматичних, що демонструють хаотичну поведінку, носять назву дивного (рос. “странного”) аттрактора, перш за все в зв’язку з незвичайністю їх вигляду [11,12]. Найбільш часто для характеристики математичної моделі хаотичного процесу використовується термін *розмірність фазового простору* N , де N – кількість змінних, що визначають стан даної динамічної системи.

Наприклад, якщо математична модель динамічної системи буде задаватися у вигляді системи звичайних диференціальних рівнянь першого порядку виду

$\vec{X} = \vec{F}(\vec{X})$, $\vec{X} \in R^N$, то в цьому випадку N визначається числом даних рівнянь (R^N – N -вимірний простір). Розмірність дивного аттрактора звичайно менше, ніж розмірність фазового простору системи, де цей аттрактор спостерігається.

Для характеристики особливостей геометрії дивного аттрактора використовується таке поняття, як фрактальна розмірність (фрактали – об’єкти, які характеризуються нецілочисельною розмірністю). Слід чітко розрізняти розмірність моделі динамічної системи N (ціле позитивне число) та фрактальні розмірності дивного аттрактора (матеріальні позитивні числа). Однією із важливих кількісних характеристик аттрактора є *кореляційна розмірність* D_C .

Алгоритм розрахунку D_C базується на обчисленні кореляційного інтеграла, у якості якого виступає функція $C(\varepsilon, N)$:

$$C(\varepsilon, N) = \frac{1}{N^2} \cdot \sum_{I=1}^{I=N} \sum_{II=1}^{II=N} H(\varepsilon - |\vec{X}_I - \vec{X}_{II}|), I \neq II, \quad (1)$$

де N – кількість точок дискретного часового ряду (у загальному випадку багатомірного);

$H()$ – функція Хевісайда: $H(X) = 0$, якщо $X < 0$ та $H(X) = 1$, якщо $X > 0$;

ε – величина відстані, що задається (порогова відстань);

$|\vec{X}_I - \vec{X}_{II}|$ – норма, що визначає відстань між точками $(\vec{X}_I$ та $\vec{X}_{II})$ ряду, що досліджується.

Таким чином, $C(\varepsilon, N)$ – це, по суті, відношення пар точок, відстань між якими $|\vec{X}_I - \vec{X}_{II}|$ менше ε , до повного числа пар точок ряду (N^2).

Визначення кореляційного показника D_C (кореляційної розмірності) базується на властивостях масштабної інваріантності кореляційного інтеграла

$$D_C = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left(\frac{\ln(\lim_{N \rightarrow \infty} [C(\varepsilon, N)])}{\ln \varepsilon} \right), \quad (2)$$

де під масштабною інваріантністю кореляційного інтеграла припускається наявність ступеневої залежності

$$C(\varepsilon, N) \sim \varepsilon^{D_C}. \quad (3)$$

При цьому залежність (3) справедлива при малих значеннях ε . Тому формулу для D_C можна представити у вигляді

$$D_C = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left(\lim_{N \rightarrow \infty} \left(\frac{\ln[C(\varepsilon, N)]}{\ln(\varepsilon)} \right) \right). \quad (4)$$

Слід зазначити, що в числових експериментах кількість точок даних, що аналізуються (число точок дискретного часового ряду N) завжди є кінцевим (та, як правило, постійним), тобто $N = \text{const}$.

Тому замість математичних границь розглядається саме співвідношення

$$D_C = \frac{\ln[C(\varepsilon, N = \text{const})]}{\ln(\varepsilon)}. \quad (5)$$

Для практичного обчислення D_C будують залежність $\ln[C(\varepsilon, N = \text{const})]$ від $\ln(\varepsilon)$ у широкому діапазоні значень ε .

Далі виділяємо область лінійної залежності (області скейлінга) і функція апроксимується прямою лінією (наприклад, методом найменших квадратів). Тоді тангенс кута нахилу і є розмірністю D_C [10].

Найменше число незалежних змінних, що однозначно визначає сталий рух динамічної системи (у часі, наприклад), носить назву розмірність вкладення M .

Для відомої динамічної системи D_C та M визначити легко, оскільки відомі всі компоненти вектора

$$\vec{x}(t) = \{x_1(t); x_2(t); \dots; x_M(t)\},$$

що описують поведінку такої системи у фазовому просторі. Однак при аналізі природних систем, у тому числі кліматичних або гідрологічних, звичайно оперують тільки з однією динамічною змінною $x_1(t)$.

Розроблені методики [6-8] дозволяють відтворити деякі властивості аттрактора навіть за часовою послідовністю тільки однієї складової $x(t) = x_1(t)$. Такі методики базуються на побудові псевдоаттрактора, де в якості компонент вектора виступає сама визначена послідовність $x(t)$, але з деякою оптимальною часовою затримкою τ

$$\overrightarrow{x_{pv}}(t) = \{x(t); x(t + \tau); x(t + 2\tau); \dots; x(t + (M - 1)\tau)\}.$$

Оскільки компоненти псевдоаттрактора $\overrightarrow{x_{pv}}(t)$, що характеризує поведінку динамічної системи, повинні бути незалежними, у якості величини τ на практиці вибирають таке значення часу, при якому автокореляційна функція має перший локальний мінімум (значення, яке близьке до нуля).

Таким чином, визначаючи розмірність вкладення, можливо отримати інформацію про поведінку складної динамічної системи в цілому.

В зв'язку з великою значущістю кореляційної розмірності D_C при дослідженні складної поведінки динамічних (у тому числі і кліматичних) систем у статті розглянуті деякі властивості D_C , про які не згадується у відповідній літературі. Запропонований підхід до аналізу часових рядів гідрометеорологічної інформації має практичне використання і добре себе зарекомендував при відповідних дослідженнях.

Вплив вихідних даних на величину кореляційної розмірності

Введемо на базі простого прикладу поняття інвертованого ряду. Нехай 1;2;3;1;5;2;0 – вихідний ряд. Тоді 0;2;5;1;3;2;1 – ряд інвертований.

Оскільки час до виразу (1) не входить, можна вважати, що $C(\varepsilon, N)$ для вихідного та $C_{inv}(\varepsilon, N)$ для інвертованого рядів будуть мати одне і те ж саме значення при рівних значеннях ε , тобто

$$C(\varepsilon, N) = C_{inv}(\varepsilon, N). \quad (6)$$

Враховуючи, що до виразів (2), (4) та (5) час також не входить, а присутня тільки величина $C(\varepsilon, N)$, слід вважати, що для вихідного та інвертованого ряду значення кореляційних розмірностей також будуть рівними, тобто

$$D_C = D_{C_{inv}}. \quad (7)$$

Для перевірки цього положення у якості об'єкта чисельного експерименту розглянемо логістичне рівняння виду [10]

$$x[n + 1] = A \cdot x[n] \cdot (1 - x[n]), \quad (8)$$

Якщо задати конкретне числове значення для A та перше (початкове) значення x , то шляхом ітерацій виразу (8) можна одержати ряд значень x .

Отриманий таким чином ряд можна розглядати як часовий ряд з дискретним часом, враховуючи, що початкове значення відповідає моменту часу $t = 1$, друге значення ряду отримуємо в результаті першої ітерації ($t = 2$) і т.д.

У числовому експерименті задавали значення $A = 4$; $x[1] = 0,1$ та $n = 9999$, отримуючи таким чином ряд довжиною 10000 значень. При таких значеннях A та $x[1]$ відбувається динамічний хаос. Графік такого ряду (залежність $x[n]$ від n) візуально дуже подібний до графіка ряду випадкових величин. Далі, на основі цього згенерованого ряду, одержали відповідний інвертований ряд довжиною 10000 значень.

Для визначення кореляційної розмірності вихідного та інвертованого ряду використовували програму **FRACTAN 4.4**, що була розроблена в інституті математичних проблем біології РАН В.Сичовим. При проведенні числових експериментів враховувався факт, що максимальна розмірність фазового простору може бути не більше 37. У результаті відповідних розрахунків для вихідного та інвертованого рядів одержане значення кореляційної розмірності $D_c = 0,894$ та розмірності фазового простору, тобто вираз (7) чітко виконується.

Також паралельно були проведені дослідження інших часових модельних рядів, що одержані в результаті рішень відповідних диференціальних та різницевих рівнянь за програмою, розробленою авторами. В результаті числових експериментів також підтверджено висновок про те, що при оберненні ряду за часом кореляційна розмірність не змінюється (спостерігається інваріантність відносно операції інверсії).

Відзначимо, що незалежністю від інверсії ряду володіють і деякі інші характеристики, що використовуються при дослідженні часових рядів. Як показують попередньо проведені розрахунки, спектр потужності Фур'є також буде одним і тим самим як для вихідного, так і інвертованого рядів.

Далі розглянемо часовий ряд, складові якого були переставлені у довільному порядку у порівнянні із вихідним рядом, назвемо такий ряд сурогатним, а відповідну операцію – операцією сурагатизації ряду. Така операція змінює властивості вихідного ряду значно більше, ніж його інверсія.

Для попереднього дослідження впливу сурагатизації на величину D_c вихідний ряд, що був згенерований ітераціями рівняння (8), оброблявся за допомогою спеціально розробленої програми (на MATLAB 7), що дозволяло представляти у довільному порядку складові ряду. При цьому використовувався генератор “випадкових” чисел. Далі, використовуючи програму **FRACTAN 4.4**, була визначена величина $D_c = 10,910$ та розмірність фазового простору $N = 21$.

Перш за все слід відзначити, що сурагатизація вихідного ряду значно збільшує кореляційну розмірність та розмірність фазового простору, що дозволяє при відповідному порівнянні вихідних рядів відрізнати маломірні детерміновані ряди від рядів “випадкових”. При такому способі ідентифікації детермінованих маломірних рядів взагалі відпадає необхідність у точному визначенні їх характеристик.

Розглянемо поведінку багатомірних рядів з позиції величини кореляційної розмірності. При цьому до детермінованих віднесемо ряд, що одержаний на основі функції $x = \sin(T)$, а також ряд, одержаний при розв’язанні системи диференціальних рівнянь Лоренца виду

$$\dot{x}[I] = x[I - 1] \cdot (x[I + 1] - x[I - 2]) - x[I] + A,$$

де N – порядок рівняння (не менше 4), I – індекс, що змінюється циклічно за правилом $x[I - N] = x[I + N] = x[I]$.

При числових експериментах досліджувалось рівняння (9) сотого порядку ($N = 100$) при значенні константи $A = 12$ при початковій умові $T = 0$, тобто $x[1] = \frac{1}{100}$; $x[2] = \frac{2}{100}$; $x[3] = \frac{3}{100}$; ...; $x[100] = \frac{100}{100}$.

Для розв’язання використовувався метод Рунге-Кутта четвертого порядку у класичній реалізації (крок 0,01 на часовому інтервалі $T = 0 \dots 100$). З метою усунення перехідних процесів при розв’язанні рівняння були відкинуті перші “стомірні” точки розв’язку і таким чином сформований стомірний ряд довжиною 10000 значень (матриця розміром 10000 рядків і 100 стовбців). Далі з цього ряду відбирались тільки значення для координати $x[1]$, тобто

використовувався тільки “вертикальний” вектор (з позицій програмування системи MATLAB) розміром 10000 на 1.

Оскільки визначення детермінованості та “випадковості” рядів є дуже важливим при подальшій побудові моделі процесу, що породжує такі ряди, були досліджені і деякі “випадкові” ряди. До останніх віднесені ряди довжиною також 10000 значень, що були згенеровані за допомогою функцій MATLAB RAND() та RAND N(). При цьому використовувались команди MATLAB RAND(10000, 1) та RAND N(10000,1).

Всі ряди зберігалися в окремих текстових файлах у форматі ASCII з подвійною точністю представлення чисел з “плаваючою” крапкою (DOUBLE).

Далі текстові файли оброблялись за допомогою програми **FRACTAN 4.4**. В результаті відповідних розрахунків були одержані дані, що наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Ряд, що одержаний на базі	Характеристики ряду		
	Оптимальна часова затримка τ	Кореляційна розмірність D_c	Розмірність фазового простору N
Функції синуса	21	1,067	2
Розв’язання стомірного рівняння Лоренца (перша координата $x[1]$)	28	4,723	16
Генерації за допомогою функції MATLAB RAND()	1	10,857	16
Генерації за допомогою функції MATLAB RAND N()	1	10,664	15

При розв’язанні стомірного рівняння Лоренца для величин D_c та N були одержані дещо занижені результати, що пов’язане із обмеженою довжиною ряду.

Графіки залежностей $D_c = F(N)$ для $\sin()$ та LOR100DX1() наведені на рис.1 та рис.2 (методику побудови див. у [10]).

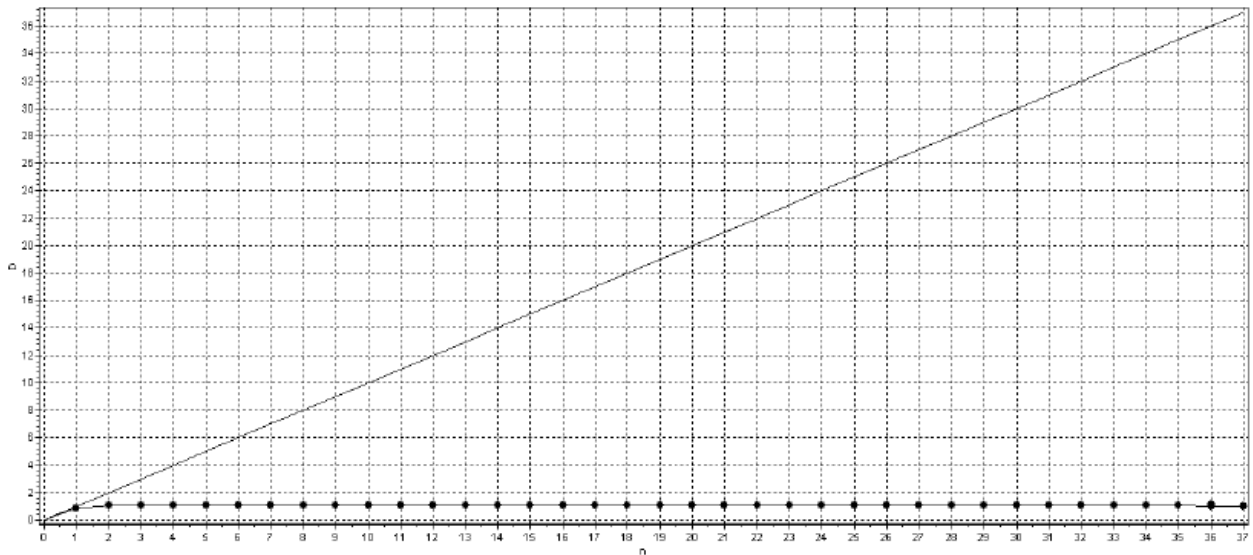


Рис. 1. Графік залежності $D_c = F(N)$ для $\sin()$

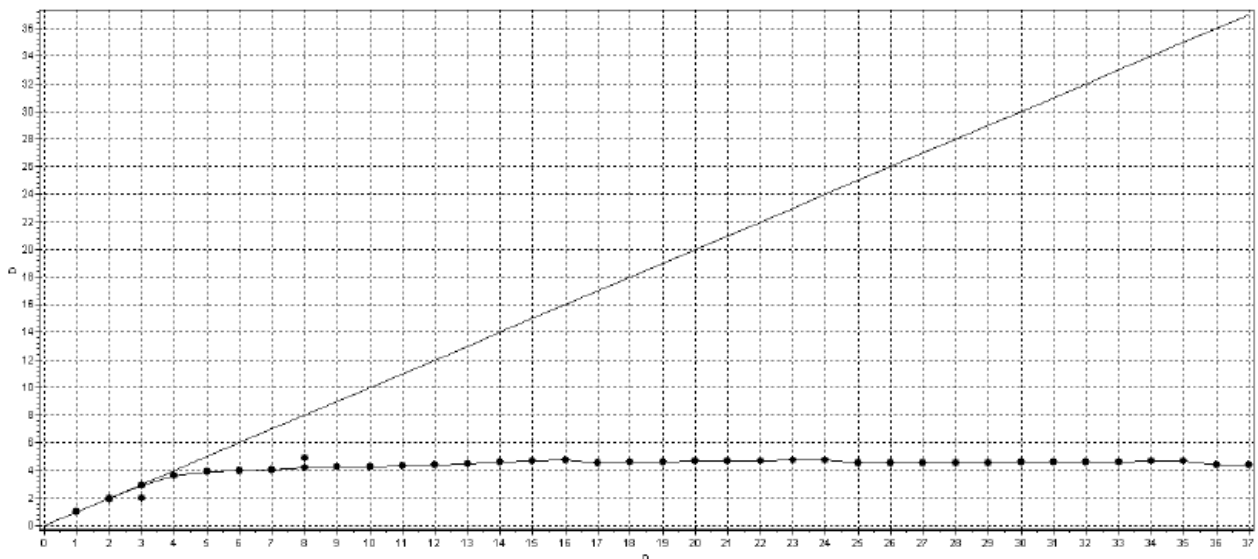


Рис. 2. Графік залежності $\text{LOR100DX1}()$

Як видно, графіки мають багато спільного та відрізняються від ідентичних графіків для $\text{RAND}()$ та $\text{RAND N}()$, що наведені на рис. 3.

Так, для детермінованих рядів даних характерний вид графіка, що практично паралельний осі N . При цьому його осциляції практично відсутні. Для “випадкових” даних характерні різкі зміни (падіння) величини D_c досить близько до нуля, а далі графік іде паралельно горизонтальній осі N .

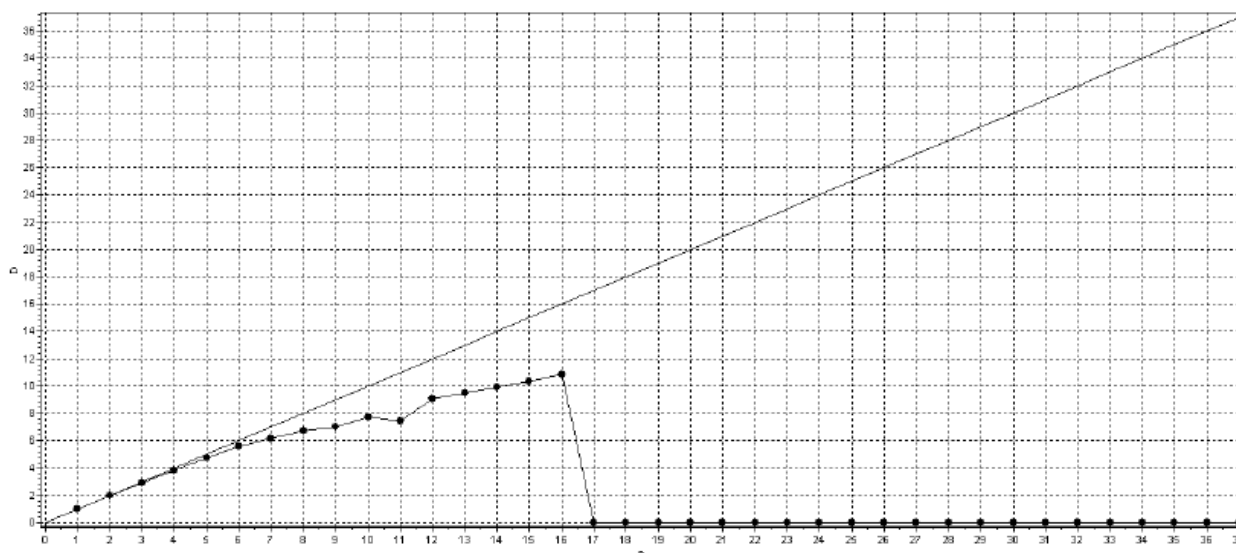


Рис. 3. Уhfairb lkz RAND() nf RAND N()

Таким чином, попередній аналіз графіків $D_c = F(N)$ дозволяє чітко відрізняти детерміновані багатомірні ряди від “випадкових” (навіть якщо довжина рядів надто мала і складно надійно визначити величину D_c). Графіки $D_c = F(N)$ для цих рядів після їх сурагатизації наведені на рис.4- рис.6 (відповідно ряди SIN_SURR(), LOR100DX1_SURR() та RAND_SURR(), що практично ідентичний графіку RAND N_SURR()).

Однак зазначимо, що для багатомірних детермінованих рядів сурагатизація їх не призводить до таких очевидних висновків, як відповідному при аналізі детермінованих маломірних рядів. Так, кореляційна розмірність може ще більше зростати, але розмірність фазового простору при цьому може зменшитися (звісно, з позицій результатів, що одержані за розрахунками програми **FRACTAN 4.4**).

Для “випадкових” рядів сурагатизація їх може привести до зменшення кореляційної розмірності та розмірності фазового простору (для рядів, що генеруються функцією RAND() одержані відповідні значення 8,783 та 10, що менше значень, наведених в таблиці).

Тому використання тільки остаточних значень величин D_c та N без використання даних аналізу графіків $D_c = F(N)$ не дозволяє надійно визначати дійсну природу ряду, що досліджується.

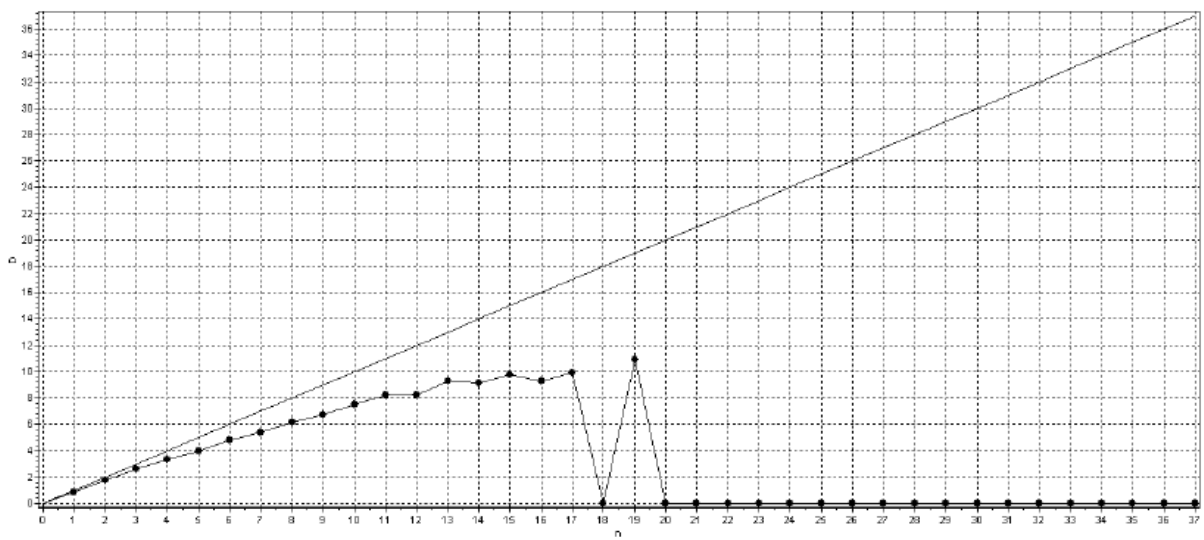


Рис. 4. Графік $D_c = F(N)$ для SIN_SURRE()

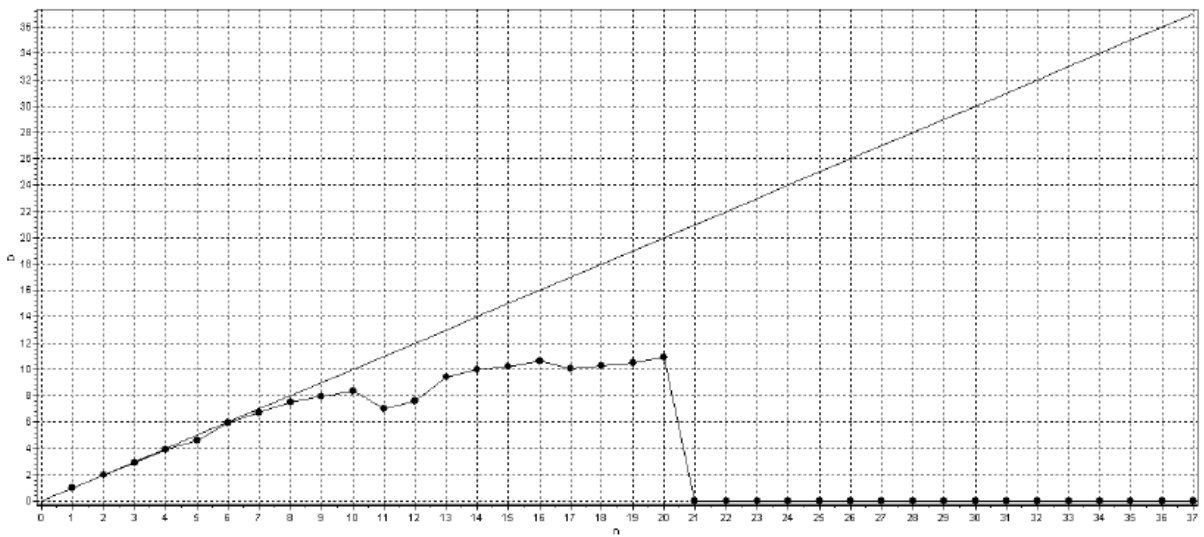


Рис. 5. Графік $D_c = F(N)$ для LOR100DX1_SURRE()

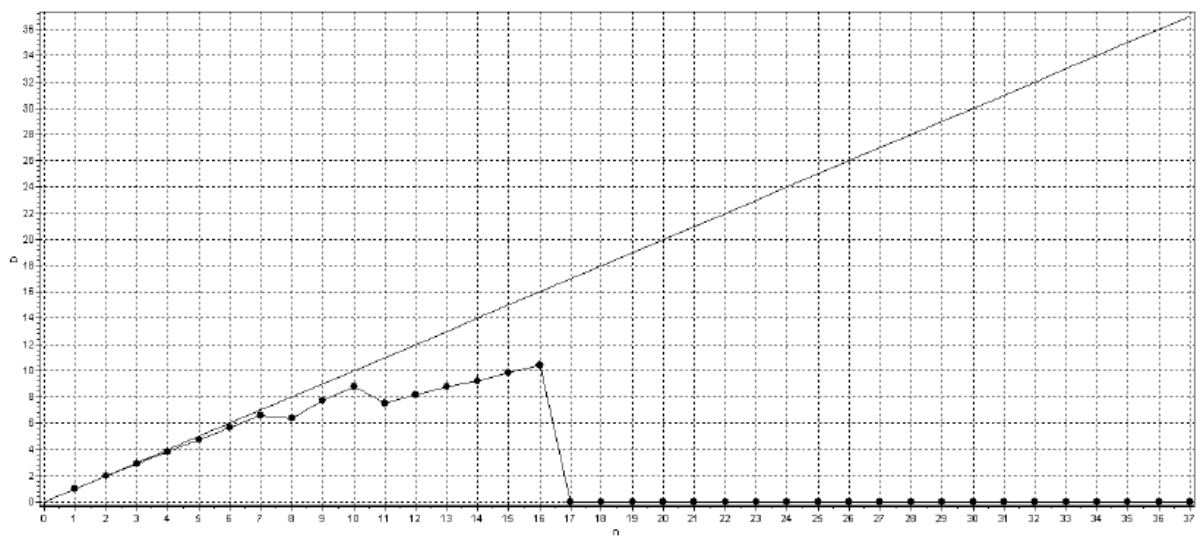


Рис. 6. Графік $D_c = F(N)$ для RAND_SURRE()RAND_SURRE()

При ідентифікації відповідних часових рядів певну допомогу можна одержати при визначенні величини оптимальної часової затримки τ , оскільки ця величина безпосередньо залежить від взаємозв'язку попередніх значень (складових ряду) з його наступними значеннями.

Для детермінованих часових рядів величина τ може істотно відрізнятися залежно від моделі, за допомогою якої був згенерований даний ряд. Наприклад, для рядів, модель яких може бути описана різницевими рівняннями так званих “каскадних” рядів, величина τ є відносно невеликою (кілька одиниць). Для рядів, модель яких може бути описана звичайними диференціальними рівняннями, тобто “потоківих” рядів, величина τ може складати вже кілька десятків (а іноді і більше) одиниць.

Тому, знаючи величину τ , можна також зробити деякі попередні висновки про модель, яка може описувати поведінку певного детермінованого ряду. При сурагатизації детермінованих часових рядів істотно порушується дальній взаємозв'язок між наступними та попередніми значеннями ряду. Це призводить до того, що величина τ для “потоківих” рядів при цьому буде істотно зменшуватись (складати одну...декілька одиниць замість десятків одиниць).

Відносно “випадкових” рядів, то величина τ для цих рядів складає у більшості випадків одну...кілька одиниць як до, так і після сурагатизації (певний взаємозв'язок між складовими ряду відсутній первісно). Крім того, оптимальна часова затримка τ може бути використана при аналізі природи рядів. Наприклад, величина τ дозволяє попередньо відрізнити “потоківі” ряди від рядів “каскадних” та “випадкових” (відрізнити “випадкові” ряди від “каскадних” не може).

Аналіз часових рядів гідрометеорологічної інформації

Для демонстрації практичного аналізу кліматичних часових рядів розглянемо три ряди з різними типами поведінки: середньомісячні значення атмосферних опадів (ряд R) та середньомісячні значення температур (ряд T) у м. Києві за період 1860-2004 роки довжиною 1740 значень, а також, враховуючи безпосередній вплив сонячної активності на клімат [13], ряд середньомісячних значень чисел Вольфа W (див. рис. 7-9).

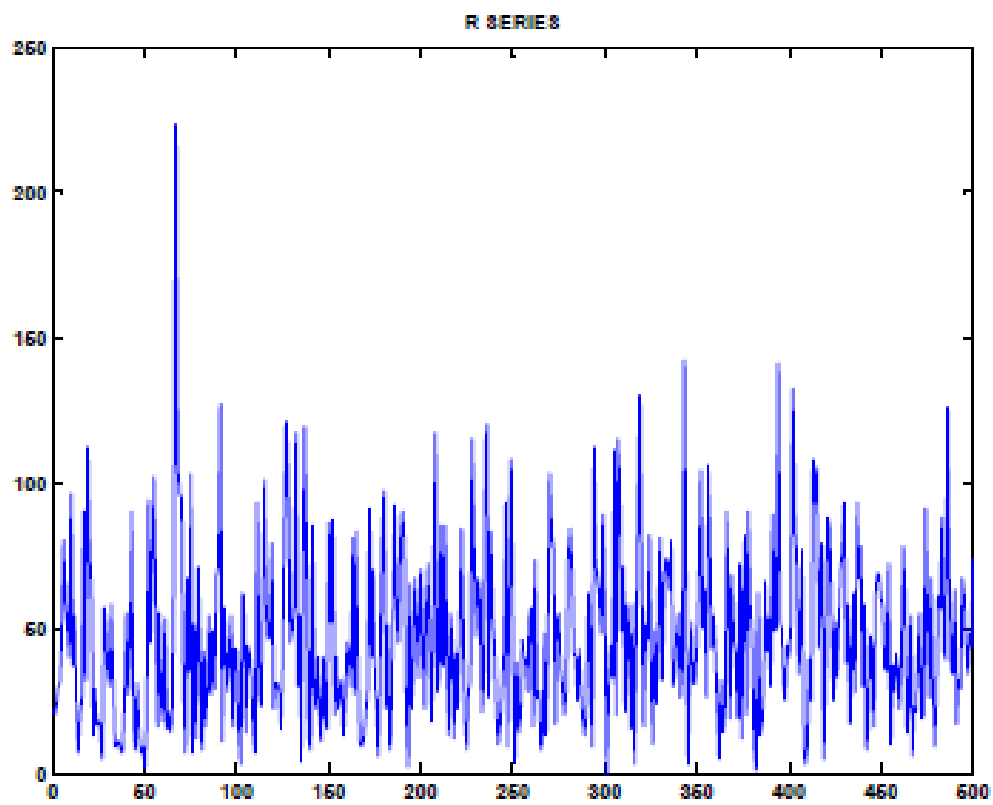


Рис. 7. Середньомісячні значення атмосферних опадів (ряд R)

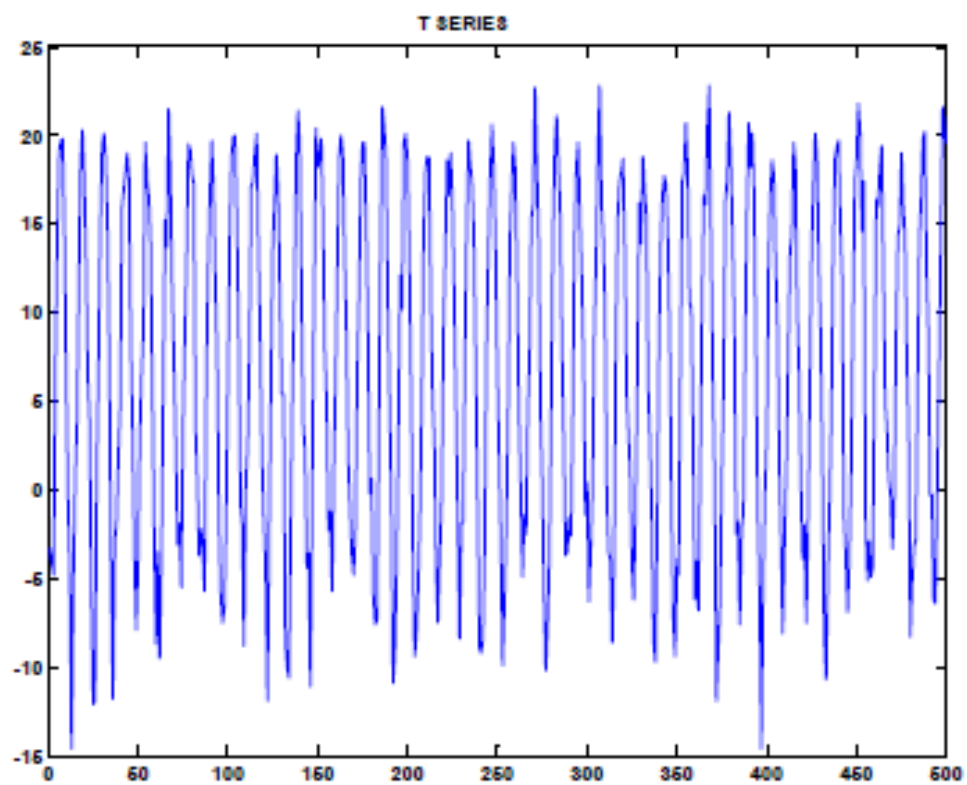


Рис. 8. середньомісячні значення температур (ряд T)

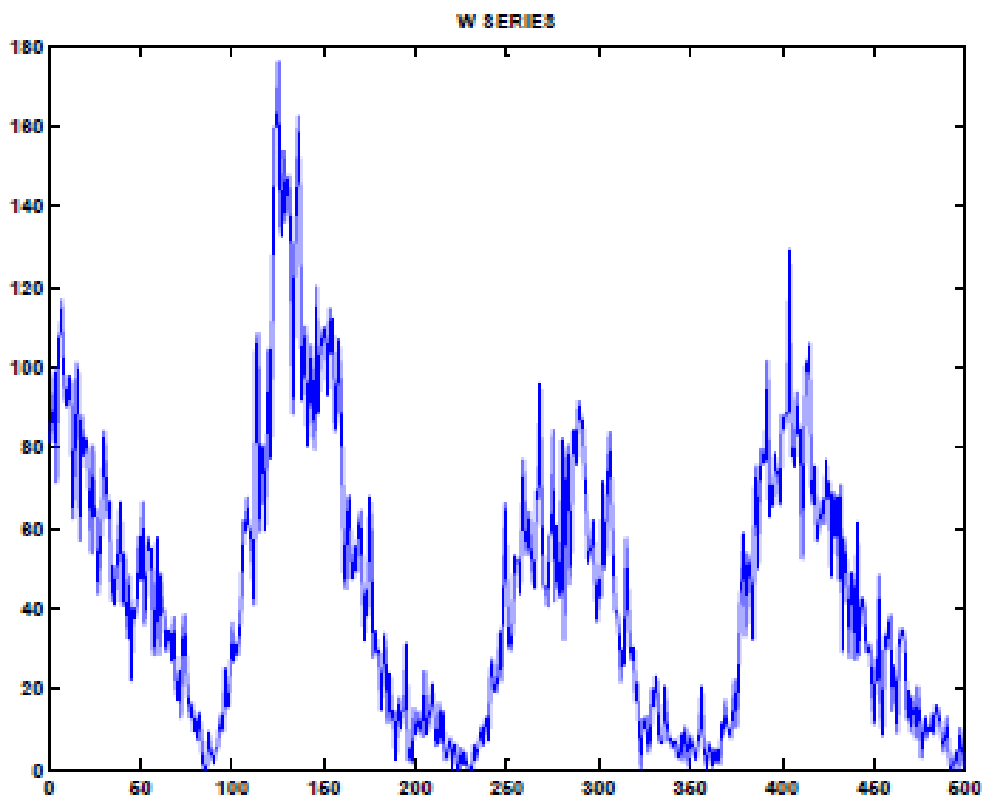


Рис. 9. ряд середньомісячних значень чисел Вольфа W

В результаті проведених розрахунків для ряду R була визначена величина оптимальної часової затримки $\tau = 2$, кореляційної розмірності $D_c = 6,569$ та величина розмірності фазового простору $N = 8$, а також побудований відповідний графік $D_c = F(N)$ для цього ряду (див. рис. 10). Для сурагатизованого ряду R ці величини склали відповідно $\tau = 1$, $D_c = 7,886$ та $N = 14$. Графік $D_c = F(N)$ для цього ряду наведений на рис. 11.

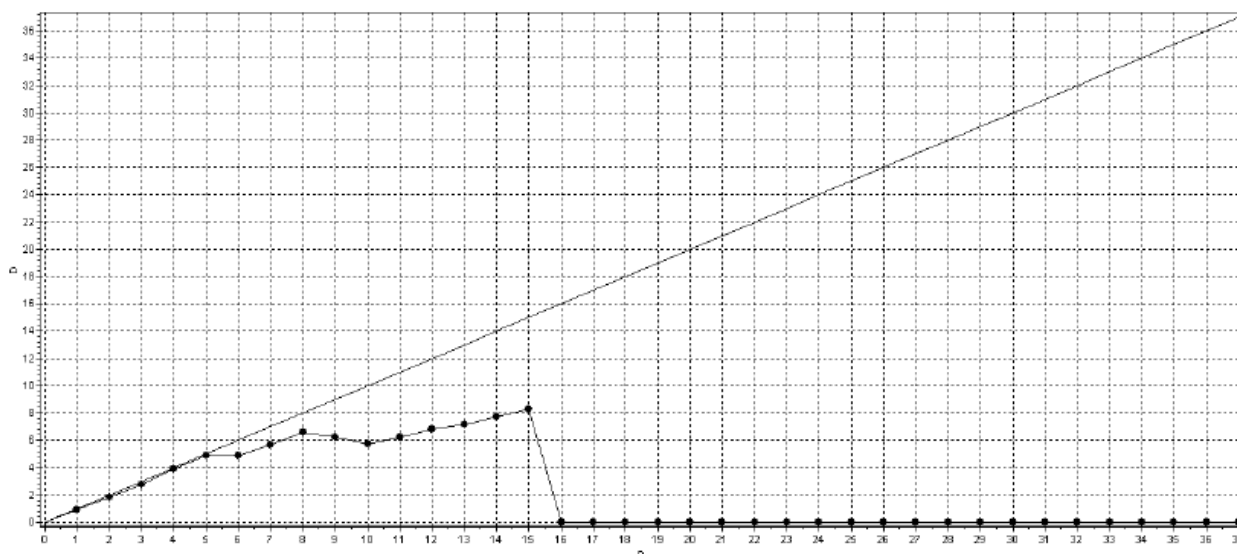


Рис. 10. графік $D_c = F(N)$ для ряду R

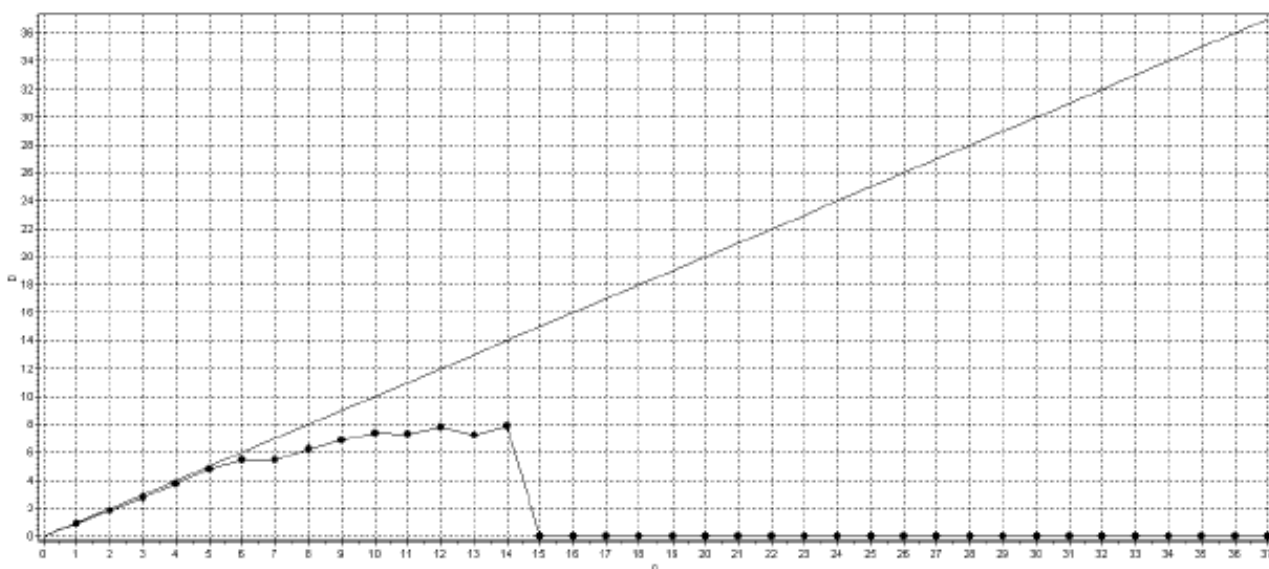


Рис. 11. Графік $D_C = F(N)$ для ряду сурагатизованого ряду R

Були розраховані для ряду T величини $\tau = 2$, $D_C = 3,901$ та $N = 4$. Для сурагатизованого ряду T ці величини склали відповідно $\tau = 1$, $D_C = 8,334$ та $N = 15$.

Графіки $D_C = F(N)$ для ряду T та сурагатизованого ряду T наведені на рис. 12 та рис. 13.

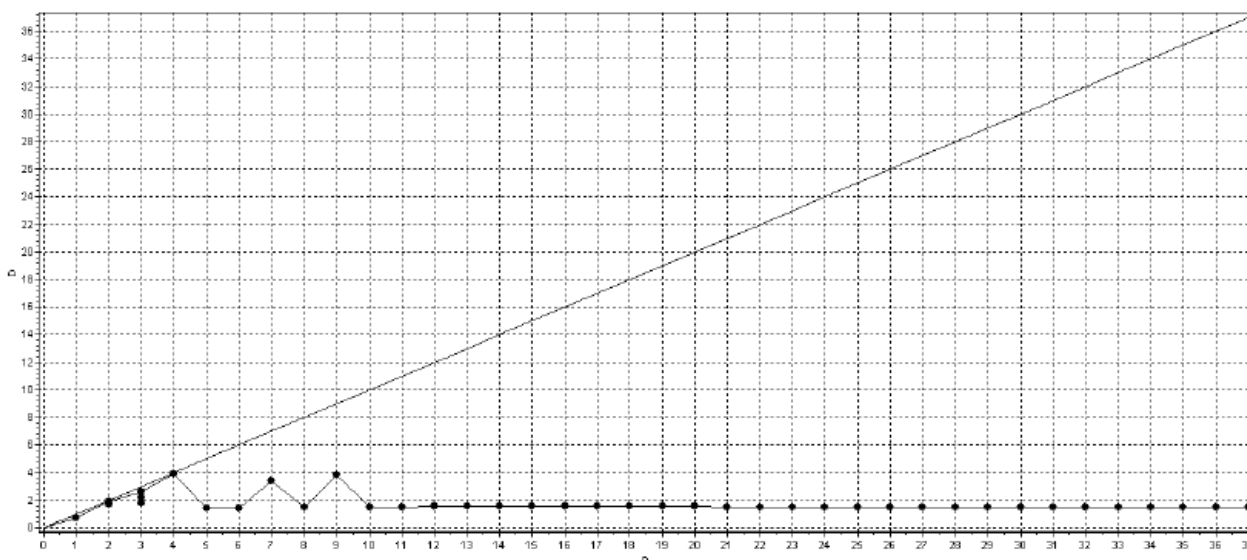


Рис. 12. Графік $D_C = F(N)$ для ряду T

Для ряду W ці величини були відповідно $\tau = 17$, $D_C = 4,509$, $N = 5$, а після сурагатизації ряду склали: $\tau = 1$, $D_C = 7,666$ та $N = 10$. Графіки $D_C = F(N)$ для ряду W та сурагатизованого ряду T наведені на рис. 14 та рис. 15.

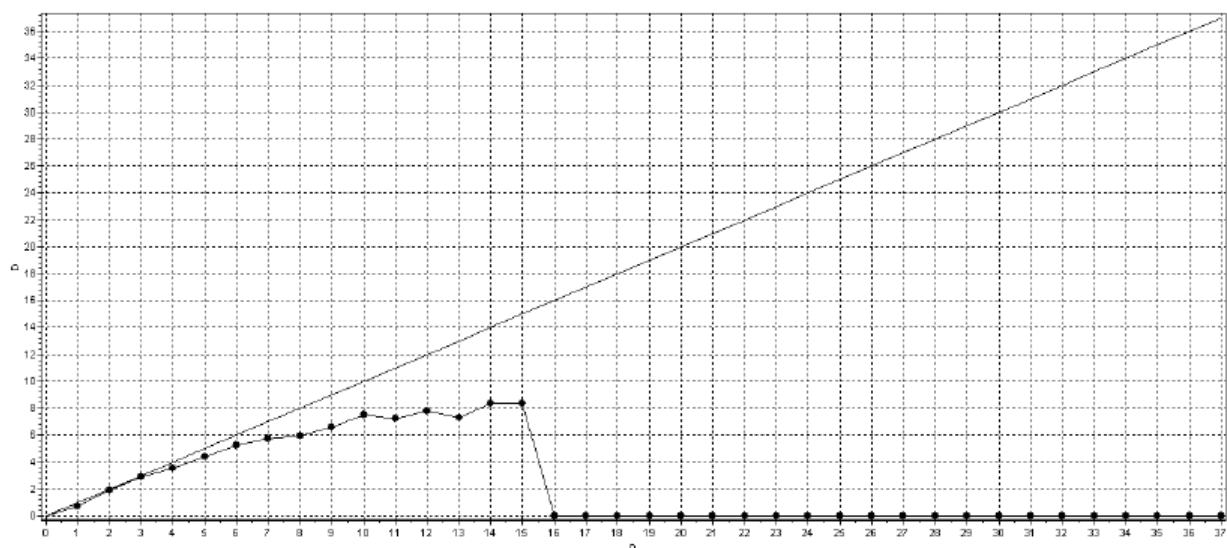


Рис. 13. Графік $D_c = F(N)$ для сурагатизованого ряду T

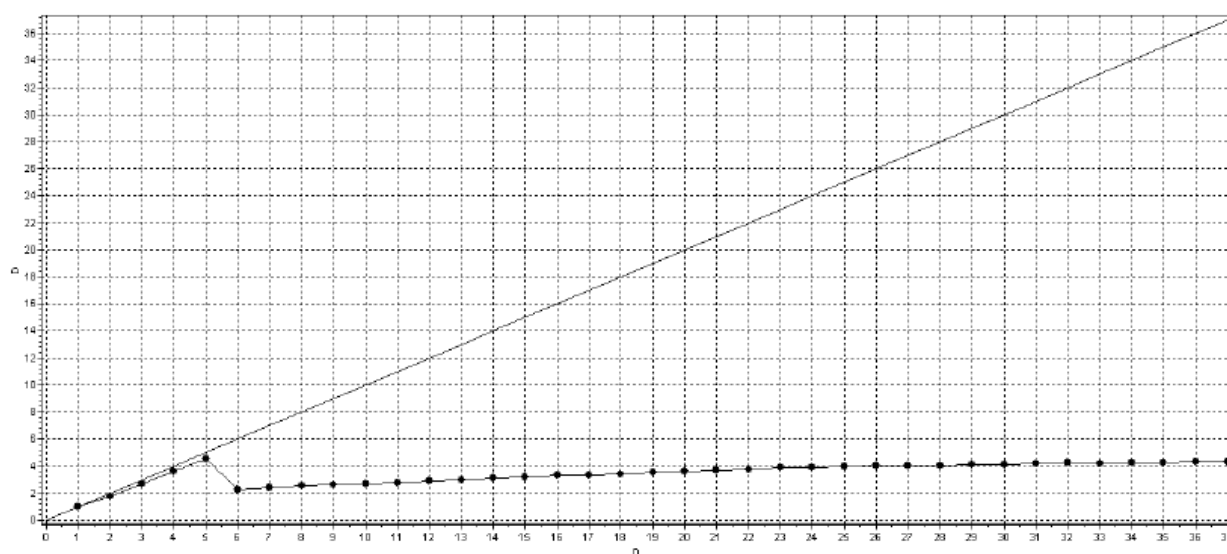


Рис. 14. Графік $D_c = F(N)$ для ряду W

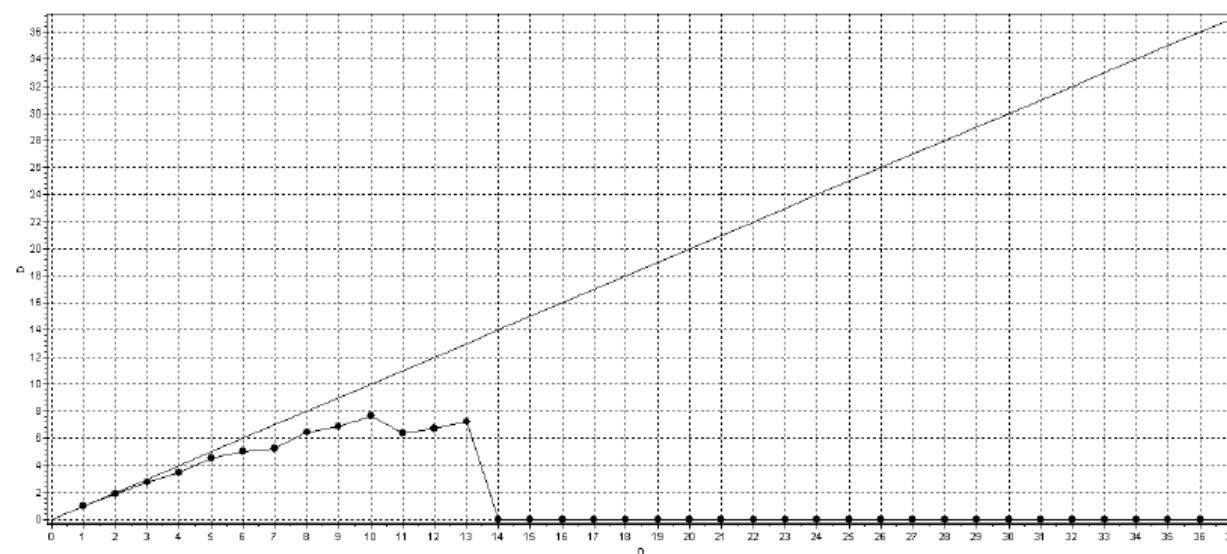


Рис. 15. Графіки $D_c = F(N)$ для сурагатизованого ряду T

Проведемо ідентифікацію цих рядів за попередньо запропонованою методикою.

Як бачимо, графік на рис. 10 дуже схожий з графіком $D_c = F(N)$ для ряду RAND (), який зображено на рис. 3. Тобто часовий ряд атмосферних опадів демонструє поведінку, яка притаманна у більшому ступені “випадковим” рядам. Про це у певній мірі свідчить схожість графіків $D_c = F(N)$ для ряду R (рис. 10) та сурагатизованого ряду R (рис. 11).

Однак у повній мірі ряд R визначити як “випадковий” не можна. Так, аналіз даних розрахунків показує, що при сурагатизації цього ряду значення τ зменшується з 2 до 1. Для ряду RAND () це значення не змінюється.

Крім того, сурагатизація ряду R призводить до збільшення значення D_c (з 6,569 до 7,886), в той час як при сурагатизації ряду RAND () маємо відповідне зменшення D_c (з 10,857 до 8,783). Також сурагатизація ряду R призводить до збільшення розмірності фазового простору (значення N зростає з 8 до 14), в той час як сурагатизація ряду RAND () – до зменшення величини N (з 16 до 10). Таким чином, математична модель часових рядів атмосферних опадів повинна враховувати оптимальне сполучення випадковості та детермінованості, що також відмічалось у процесі дослідження таких рядів методом рекурентних графіків [14].

З деяких позицій величина $\tau = 2$ для ряду R свідчить про доцільність використання різницевих рівнянь при моделюванні поведінки цього ряду.

Щодо часового ряду температур T , то навіть вид графіка $D_c = F(N)$ до та після сурагатизації вже однозначно свідчить про те, що поведінка такого ряду у більшому ступені буде детермінованою (див. вище). Про це свідчать також малі величини кореляційної розмірності та розмірності фазового простору.

Враховуючи невеликі значення оптимальної часової затримки, що були одержані для цього ряду, можна припустити, що його математична модель може бути побудована на основі різницевих рівнянь.

Однак однозначно стверджувати про використання тільки такої моделі, базуючись на певному значенні τ при детермінованій поведінці ряду, не є коректним. У даному випадку можливе також використання альтернативної математичної моделі ряду T на базі системи звичайних диференціальних рівнянь четвертого порядку (або навіть вищого порядку, наприклад п'ятого).

Відносно ряду W , то відзначимо, що графік $D_C = F(N)$ у даному випадку дуже схожий з графіком першої координати стомірного рівняння Лоренца, що говорить про детерміновану поведінку ряду W . Невеликі значення кореляційної розмірності (4,509) та розмірності фазового простору (5), а також порівняльний аналіз графіків $D_C = F(N)$ вихідного та сурагатизованого рядів W також свідчать на користь детермінізму у поведінці цього ряду. Математичну модель поведінки ряду W доцільно побудувати на основі системи звичайних диференціальних рівнянь п'ятого порядку (враховуючи у першому наближенні, що $N = 5$). При цьому, звичайно, слід переконаватися у погодженості величини кореляційної розмірності та розмірності фазового простору з довжиною ряду.

Висновки

1. Запропонований метод оцінки часових кліматичних рядів, що базується на використанні деяких характеристик апарата нелінійного аналізу динамічних систем. За допомогою цього метода можна робити висновки про характер поведінки рядів навіть без побудови та повного аналізу графіка цих рядів.
2. Цей метод дає можливість аналізувати дуже короткі ряди, а також ряди з великою розмірністю, і дозволяє обходити фундаментальні обмеження, які звичайно накладаються на довжину рядів. Враховуючи це, метод може бути також корисним при дослідженні гідрологічних рядів спостережень.
3. Поведінка часового ряду чисел Вольфа W згідно запропонованого методу є детермінованою, що узгоджується із загальноприйнятими поглядами з цього питання. Математична модель цього ряду може бути побудована за допомогою маломірних систем звичайних диференціальних рівнянь.
4. Поведінку часового ряду T також можна вважати детермінованою. Математичну модель такого ряду можна представити як маломірну модель у вигляді системи різницевих рівнянь або системи звичайних диференціальних рівнянь (остання більш прийнятна).
5. У зв'язку з тим, що поведінка часового ряду атмосферних опадів R є досить складною, математична модель у сукупності повинна відобразити як "випадкову", так і детерміновану складову характеристики ряду.

Існуючі методи аналізу нелінійної динаміки [6] дозволяють адекватно оцінювати поведінку та будувати прогнозну математичну модель для конкретних кліматичних рядів з такими властивостями.

Література

1. Гірські автомобільні дороги України // Під ред. В.О.Герасимчука. – Коломия, вид. “Вік”, 1998. – 348 с.
2. Raidl A. Is Weather Chaotic? – Nostradamus. 1-st National Prediction Workshop. – Dep. Of Automatic Control, TUBrno. – 1998. – P. 44-48.
3. Orrell D., Smith L., Barkmeijer J., Palmer T.N. Modal error in weather forecasting. – Nonlinear Processes in Geophysics. – 2001. – № 8. – P.357-371.
4. Wan S.Q., Feng G.L., Wahg L. et al. A nonlinear method for detecting climate mutation. Climate of the Past Discussions is the access reviewed discussion forum of Climate of the Past, 2008. – P. 1047-1060.
5. Гамеляк І.П., Якименко Я.М. Аналіз впливу метеорологічних факторів на роботу здатність конструкції дорожнього одягу // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, вип. 75. – К.: НТУ, 2008. – С. 336-340.
6. Малинецкий Г.Г., Потапов А.В. Современные проблемы нелинейной динамики. – М.: Эдиториал УРСС. – 2000. – 336 с.
7. Анищенко В.С. Знакомство с нелинейной динамикой. Лекции соросовского профессора. – М. – Ижевск, “Институт компьютерных исследований”. – 2002. – 144 с.
8. Постнов Д.Э., Павлов А.Н., Астахов С.В. Методы нелинейной динамики. – Саратов, СГУ. – 2008. – 127 с.
9. Шустер Г. Детерминированный хаос. Введение. – М.: Мир. – 1988. – 240 с.
10. Кузнецов С.П. Динамический хаос. – М.: Физмат лит. – 2001. – 296 с.
11. Fraedrich K. Estimating the Dimensions of Weather and Climate Attractors. – Journal of the Atmospheric Sciences. – 1986. – Vol. 43, № 5. – P. 419-432.
12. Найденов В.И., Кожевникова И.А. Хаотическая динамика гидросферы и климата. – Доклады РАН. – М.: 2002, Т. 384, № 3. – С. 385-390.
13. Герман Дж. Р., Голдберг Р.А. Солнце, погода и климат. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 319 с.
14. Петрович В.В., Артеменко В.А. Дослідження особливостей часового ряду кліматичних даних методом рекурентних графіків // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, вип. 78. – К.: НТУ, 2010. – С. 92-107.

Усиченко О.Ю., канд.техн.наук, Скрыпник Т.В., канд.техн.наук,
Скрыпник В.Ю., Лысенко А.М.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ УКРЕПЛЕННОГО ГЕОСЕТКОЙ

Аннотация. Рассмотрен вопрос использования геосинтетических материалов при армировании асфальтобетонного покрытия.

Ключевые слова: автомобильная дорога; асфальтобетонное покрытие; геосинтетические материалы; армирование.

Вопрос повышения эксплуатационных показателей асфальтобетонных покрытий во времени считается достаточно актуальным на сегодняшний день, поскольку асфальтобетонные покрытия существующих дорожных одежд не соответствуют повышающимся требованиям прочностных характеристик покрытия и постоянно растущей транспортной нагрузке – все это служит причиной деформаций и разрушений слоёв дорожного покрытия.

Увеличение толщин асфальтобетонных слоёв дорожного покрытия затратно и не решает существующих проблем, т.к. вызывает появление колеиности и других сдвиговых деформаций.

Альтернативой может служить армирование асфальтобетонных покрытий геосетками из стекловолокна, которое позволит эксплуатировать данное покрытие в течение перспективного периода для капитального типа нежесткой дорожной одежды (15 лет) без снижения уровня надежности (0,95).

Целью данной работы является совершенствование методики расчета трещиностойкости асфальтобетонных слоев армированных геосеткой из стекловолокна для увеличения срок аэксплуатации.

Геосетки из стекловолокна могут быть использованы в сочетании с любым типом асфальтобетонных смесей. Поверхность материала геосетки составляет 5% и не нарушает сцепление слоев асфальтобетона между собой. Сочетание физико-механических свойств геосетки и асфальтобетона делает эффективным их совместное применение. Низкая деформативность (удлинение до 3%),

высокая прочность на растяжение, отсутствие ползучести (0%) и сохранение свойств в широком диапазоне температур (от -100°C до +290°C), все эти качества позволяют геосетке из стекловолокна эффективно компенсировать негативные свойства асфальтобетона (зависимость свойств от температуры окружающей среды, вязкопластичность при длительном и многократном приложении нагрузки, низкую прочность при изгибе, недостаточную распределяющую способность).

Геосетка из стекловолокна армирует асфальтобетонный слой, перенаправляет вертикальные нагрузки в горизонтальную плоскость, перераспределяет горизонтальные напряжения в слое асфальтобетона и снижает активные местные напряжения, поглощая их.

Высокая прочность и физические особенности стекловолокна делают эффективным применение геосетки на дорогах высших категорий и в любых климатических условиях. Возможность увеличения ширины рулона повышает технологичность применения и снижает перерасход материала на нахлесты полотен.

Конструкция асфальтобетонного покрытия армированного геосетками в целом удовлетворяет требованиям прочности и надежности по величине упругого прогиба при условии (1):

$$E_{\text{общ. арм.}} \geq E_{\min} \cdot K_{\text{пг}}^{\text{тп}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{общ. арм.}}$ - расчетный общий модуль упругости армированной конструкции МПа;

$E_{\min}$ - минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции, МПа;

$K_{\text{пг}}^{\text{тп}}$ - требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба.

Величину минимального требуемого общего модуля упругости конструкции вычисляют по эмпирической формуле:

$$E_{\min.} = 98.65 \cdot \left[\lg \left(\sum N_p \right) - c \right], \quad (2)$$

ΣN_p - суммарное расчетное число приложений нагрузки за расчетный срок службы для армированной дорожной конструкции;

s - эмпирический параметр, принимаемый равным для расчетной нагрузки на ось 100 кН - 3,55; 110 кН - 3,25; 130 кН - 3,05.

$$E_{общ.арм.} = \alpha \cdot E_{общ.}, \quad (3)$$

где α - коэффициент усиления (коэффициент увеличения общего модуля упругости армированной дорожной конструкции).

$E_{общ}$ - расчетный общий модуль упругости неармированной конструкции вычисляется послойно, снизу вверх, начиная с рабочего слоя МПа.

Исходя из условия (1) возможно определить величину увеличения срока службы дорожной конструкции за счет увеличения расчетного общего модуля упругости неармированной конструкции. В связи с увеличением общего модуля упругости армированной конструкции увеличивается запас прочности, который увеличивает срок службы и дает возможность изменять толщины слоев дорожной конструкции.

Эффективность армирования определяется экономией средств за счет увеличения межремонтных сроков службы дорожных одежд и сокращения затрат на текущее содержание покрытия автомобильных дорог. Определение минимального гарантированного срока службы покрытия, армированного геосеткой из стекловолокна и его межремонтных сроков службы определяем по формуле (4):

$$T_{общ} = T_{сл} + T_{доп} = T_{сл} + \log q \left[1 + \frac{\Sigma N_p \cdot \left(1 - k_{N_p} \right) \cdot (q - 1)}{0.7 \cdot N_p \cdot T_{pdг} \cdot k_n} \right], \quad (4)$$

где $T_{сл}$ - расчетный срок службы асфальтобетонного покрытия;

$T_{доп}$ - величина увеличения срока службы дорожной конструкции, вследствие применения геосетки из стекловолокна;

$T_{pdг}$ - расчетное число расчетных дней в году, соответствующих определенному состоянию деформируемости конструкции;

N_p - приведенное к расчетной нагрузке среднесуточное (на конец срока службы) число проездов всех колес, расположенных по одному борту расчетного автомобиля, в пределах одной полосы проезжей части (приведенная интенсивность воздействия нагрузки);

q - показатель изменения интенсивности движения автомобиля данного типа по годам;

k_n - коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого;

k_{Np} - коэффициент, учитывающий уменьшение влияния усталостных процессов на прочность, вследствие армирования асфальтобетонного покрытия.

В случае принятия конструктивно-технологического решения по уменьшению толщины слоёв асфальтобетонного покрытия за счет его армирования геосетками из стекловолокна сроки проведения капитального и текущего ремонтов дорожных одежд принимаются без изменений.

В случае принятия конструктивно-технологического решения без уменьшения толщины слоёв асфальтобетонного покрытия, рассчитанного по формуле (4), сроки проведения капитального и текущего ремонтов дорожных одежд рекомендуется увеличить. Увеличение сроков не рассматривается при участковой схеме укладки геосетки. Это увеличение обосновано возникновению трещин, колеиности и выбоин на армированном покрытии, что, в свою очередь, способствует сохранению ровности покрытия и безопасности движения автомобилей на данном участке автомобильной дороги.

Література

1. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд.
2. ОДМ 218.5.002-2008. Методические рекомендации по применению полимерных геосеток (георешеток) для усиления слоёв дорожной одежды из зернистых материалов.
3. Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог (взамен ВСН 49-86). ФГУП «Информавтодор». - М., 2003.

УДК 656.13.072:629.114.001.45

Хмельов І. В., канд.техн.наук

МЕТОДИКА АНАЛІЗУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОПОЇЗДА З УРАХУВАННЯМ ДОРОЖНІХ ХАРАКТЕРИСТИК

Анотація. Концепція комплексного збереження енергії та ресурсів є пріоритетним напрямком розвитку автотранспортної системи України. Для реалізації цієї концепції необхідно враховувати усе різноманіття умов експлуатації, зокрема, дорожніх. Запропоновано математичні моделі для аналізу показника енергетичної ефективності автотранспортних засобів при зміні характеристик дороги.

Ключові слова: міжнародні вантажні перевезення, енергоресурсна ефективність, автотранспортний засіб, дорожні характеристики, коефіцієнт зчеплення.

Аннотация. Концепция комплексного сбережения энергии и ресурсов является приоритетным направлением развития автотранспортной системы Украины. Для реализации этой концепции необходимо учитывать всё разнообразие условий эксплуатации, в частности, дорожных. Предложены математические модели для анализа показателя энергетической эффективности автотранспортных средств при изменении характеристик дороги.

Ключевые слова: международные грузовые перевозки, энергоресурсная эффективность, автотранспортное средство, дорожные характеристики, коэффициент сцепления.

Annotation. The conception of integrated energy and resources saving is a priority for the Ukraine's road transport system development. To realize this

conception must take into account the variety of conditions, including road. It is offered mathematical models to analyze the vehicles' energy efficiency when changing the road characteristics.

Keywords: international freight transportation, energy-resource efficiency, vehicle, road characteristics, coefficient of adhesion.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Забезпечення збереження енергії та ресурсів при створенні та експлуатації автотранспортних засобів (АТЗ) є основною ідеєю управління розвитком рухомого складу (РС) у автотранспортній системі. Різноманітність умов експлуатації обумовила широку спеціалізацію автомобілів, які відрізняються специфічними властивостями, що забезпечують їх використання в конкретних умовах з найбільшою ефективністю [1]. Особливо це стосується міжнародних автомобільних перевезень, оскільки вони мають наступні специфічні ознаки, зокрема, широкий діапазон транспортних і дорожніх умов перевезень.

Крім того, перехід економіки на шлях ринкового розвитку обумовив підвищення вимог споживачів до якості товарів і послуг. Як на світовий, так і на український ринок все більше впливає конкуренція якості, а не цін. Це безпосередньо стосується і послуг з перевезень вантажів автомобільним транспортом [2]. За прогнозами Асоціації міжнародних автоперевізників, у 2011 році очікується збільшення обсягів міжнародних автомобільних перевезень приблизно на 20% у порівнянні з 2010 роком. Але на сьогодні автомобільний транспорт України не готовий до забезпечення перевезень у таких обсягах на високому якісному рівні. Це можна пояснити недостатнім платоспроможним попитом вітчизняних автоперевізників, а також гіршим станом дорожнього покриття України у порівнянні з країнами Євросоюзу. В цих умовах виникає потреба у дослідженні впливу характеристик дороги на ефективність вантажних перевезень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В теорії експлуатаційних властивостей автомобіля [1] розглядається вплив характеристик поверхні кочення на технічні показники тягово-швидкісних якостей АТЗ. Між тим, вплив цих характеристик на показники ефективності роботи РС у перевізному процесі залишається поза аналізом. Тому для досягнення позитивного результату необхідні нові рішення та підходи. При виборі РС необхідно

враховувати еволюцію конструктивних параметрів АТЗ і різноманіття дорожніх умов перевезень. Крім того, цей вибір повинен відповідати концепції комплексного збереження енергії та ресурсів, яка є пріоритетним напрямком розвитку автотранспортної системи України в умовах очікуваного дефіциту енергетичних (паливо) та подорожчання технічних (АТЗ) носіїв ресурсів транспорту [3].

Виклад основного матеріалу дослідження. В умовах дорожнього руху енергоємність перевезень обумовлюється конструктивними параметрами автопоїзда (АП), режимами переривчасто-нерівномірного руху і характеристиками поверхні кочення [3]. Останні впливають на рівень безпеки перевезень і швидкість руху, яка, в свою чергу, забезпечує додержання термінів доставки вантажу. Це в значній мірі визначає конкурентоспроможність українських автоперевізників. В зв'язку з цим, у Національному транспортному університеті розроблено методику аналізу впливу дорожніх характеристик на енергетичну ефективність АП.

Багатьма дослідженнями встановлено, що характеристики дороги впливають на тягово-швидкісні та гальмівні властивості РС [1]. Зокрема, коефіцієнт зчеплення характеризує зчіпні властивості шин, а коефіцієнт опору коченню впливає на тягово-зчіпні властивості колеса. В даній роботі проводиться дослідження впливу коефіцієнта зчеплення φ на показники енергетичної ефективності АТЗ.

Для розробки даної методики використано теорію енергоресурсної ефективності автомобіля [3]. Шляхом співставлення величин енергетичних показників АП та його еталонного прототипу визначаються енергетичні коефіцієнти пробігу K_e та швидкості K_v . Вони підставляються у модель показника енергетичної ефективності АТЗ. Цей показник є відношенням транспортної енерговіддачі даного АП у тестовій операції ρ до транспортної енерговіддачі еталонного АП у еталонній операції ρ_{em} :

$$\Pi_{ep} = \frac{\rho}{\rho_{em}} = \frac{K_{vc} \gamma_{cm}}{K_{ec} (\eta_q + \gamma_{cm})} \rightarrow \max, \quad (1)$$

де K_{vc} – коефіцієнт швидкості (відношення середньої швидкості АП в тестовому циклі до швидкості еталонного АП), $K_{vc} = f(\varphi)$;

γ_{cm} – коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності;

K_{ec} – енергетичний коефіцієнт пробігу (відношення витрати палива даного АП в циклі до витрати палива еталонного АП, який рухається з постійною еталонною швидкістю), $K_{ec} = f(\varphi)$;

η_q – коефіцієнт спорядженої маси АП.

Цей показник необхідно враховувати у комплексі з показником паливної ефективності Π_{epq} , який являє собою відношення показників транспортної паливовіддачі даного АП у тестовій операції ρ_n до паливовіддачі еталонного АП у еталонній операції ρ_{nem} :

$$\Pi_{epq} = \frac{\rho_n}{\rho_{nem}}. \quad (2)$$

Контакт деформованого колеса з опорною поверхнею здійснюється на певній ділянці, тому, при дії, спрямованій у будь-яку сторону дотичної реакції цієї поверхні відбувається ковзання деякої частини елементів шини [1]. Зі збільшенням дотичної реакції (у тяговому чи гальмівному режимі) змінюється окружна деформація колеса і його радіус і, отже, при тій самій кутовій швидкості змінюється і поступальна швидкість колеса. Одночасно відбувається зміна відносної швидкості (тобто швидкості ковзання елементів шини).

Найбільше значення дотичної реакції, яка діє в опорній поверхні та може бути реалізована колесом, визначається зчіпними властивостями між ними. Ці властивості характеризуються коефіцієнтом зчеплення.

Під коефіцієнтом зчеплення φ розуміється відношення максимальної сили зчеплення вісі коліс (при визначеному коефіцієнті буксування δ_φ) до осьового навантаження. Даний коефіцієнт впливає на гальмівні властивості РС, і, як наслідок, в значній мірі визначає безпеку дорожнього руху при перевезенні [2]. Крім того, цей коефіцієнт також здійснює великий вплив на паливну економічність АТЗ (рис. 1). Цей коефіцієнт задається за характеристикою кривої буксування $\varphi = f(\delta)$, де δ – коефіцієнт буксування, $\delta \in (0; 1)$:

$$\delta = 1 - \frac{V_n}{\omega r}, \quad (3)$$

де V_n – поступальна швидкість вісі коліс;

ω – кутова швидкість коліс;

r – динамічний радіус колеса.

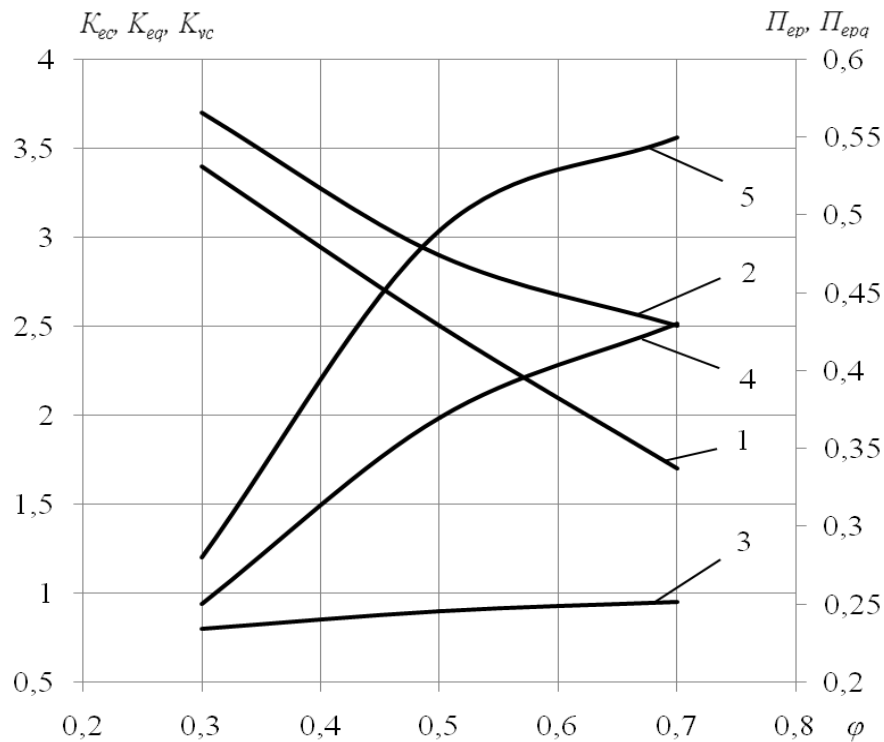


Рис. 1. Графік залежності показників енергетичної ефективності автопоїзду VOLVO FH-12 + FRUEHAUF DSND-32 від коефіцієнту зчеплення ϕ :

1 – $K_{ес}$, 2 – $K_{еq}$, 3 – $K_{вс}$, 4 – $\Pi_{ер}$, 5 – $\Pi_{ерq}$.

В модель вводяться два параметра кривої буксування:

ϕ_m – максимальне значення коефіцієнта зчеплення;

δ_ϕ – коефіцієнт буксування при ϕ_m .

Аналіз графіка (рис. 1) показує, що при $\phi \in (0,3; 0,5)$ показники енергетичної $\Pi_{ер}$ та паливної $\Pi_{ерq}$ ефективності стрімко зростають; при подальшому збільшенні значень аргументу темп зростання зменшується.

За допомогою методів регресійного аналізу встановлено функціональні залежності показника енергетичної ефективності P_{ep} від характеристик дороги наступного виду:

$$P_{ep} = -0,75\varphi + 1,2\varphi - 0,042. \quad (4)$$

Для спрощених розрахунків можна користуватися лінійною залежністю:

$$P_{ep} = 0,45\varphi + 0,125. \quad (5)$$

Для залежності (4) коефіцієнт кореляції $R^2 = 0,99$, для залежності (5) $R^2 = 0,96$. Таким чином, коефіцієнт кореляції в другому випадку дещо менше, але його значення ($R^2 > 0,7$) показує можливість застосування цих лінійних залежностей при розрахунках.

Висновок

1. Встановлено, що для реалізації концепції збереження енергії та ресурсів в автотранспортній системі необхідно враховувати усе різноманіття умов експлуатації, зокрема, дорожніх. 2. Розроблено методику, яка дозволяє у непрямому вигляді аналізувати вплив шорсткості покриття дороги на енергетичну ефективність автопоїздів. 3. Визначено функціональні залежності, які можуть бути використані для прогнозування зміни показника енергетичної ефективності автотранспортних засобів при зміні характеристик дороги.

Література

1. Волков В. П. Основи теорії експлуатаційних властивостей автомобіля / В. П. Волков, О. П. Кравченко. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2009. – 248 с.
2. Організація автомобільних перевезень, дорожні умови та безпека руху / В. М. Герзель, М. М. Марчук, М. А. Фабрицький. – Рівне: НУВГП, 2008. – 200 с.
3. Хабутдінов Р. А. Енергоресурсна ефективність автомобіля / Р. А. Хабутдінов, О. Я. Коцюк. – К.: УТУ, 1997. – 137 с.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИДИМОСТІ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

Вступ

Будівництво якісних доріг є стратегічно важливим завданням для розвинених країн. Геополітичне положення України сприяє її становленню як транзитної держави, тож саме від якості та стану дорожньої мережі залежить реалізація потенційних можливостей, використання їх для розвитку економіки.

Проведення в Україні Євро-2012 стало своєрідним поштовхом для будівництва та реконструкції вітчизняних доріг, оскільки за оцінками експертів стан безпеки дорожнього руху та наслідки дорожньо-транспортних пригод є одними з найгірших у Європі.

Тож інтегрування України в Європу неможливе без покращення якості доріг, підвищення рівня безпеки та комфортності руху та дорожній мережі, приведення умов дорожнього руху до європейських стандартів.

У 2011 році в Україні планується побудувати 2 тис. км доріг. Вирішення проблем забезпечення високого транспортно-експлуатаційного стану доріг мусить закладатися вже на стадії їх проектування при використанні сучасно обґрунтованої нормативної бази.

Важливим параметром, який забезпечує транспортно-експлуатаційні якості дороги, безпеку руху та комфортність перевезень, є відстань видимості.

Обмеження видимості перш за все впливає на швидкості руху. Характер дії видимості на режими руху в поздовжньому профілі та плані дороги є різним. Якщо обмеження видимості в поздовжньому профілі більш як на 100-150 м майже не впливає на впевненість дій водіїв одиночних автомобілів і не викликає зниження швидкостей, то при русі в умовах обмеження видимості в плані, вплив видимості спостерігається в значно більших межах.

Тож виникає необхідність проаналізувати методи забезпечення видимості дороги, вплив конфігурації дороги на величину видимості.

Актуальність роботи полягає у підвищенні транспортно-експлуатаційних якостей автомобільних доріг.

Новизна роботи - у дослідженні впливу дорожніх умов на об'єми робіт, які необхідно виконувати для забезпечення видимості на криволінійних ділянках автомобільних доріг.

Практична цінність - у розробці методики техніко-економічного обґрунтування вибору методів забезпечення безпеки руху на криволінійних ділянках доріг при варіантному проектуванні.

Основна частина

Величина відстані видимості є визначальною при забезпеченні безпеки руху, оскільки в її основі закладений гальмівний шлях автомобіля. Відстань видимості визначається як відстань, яку повинен бачити водій, щоб, помітивши перешкоду, прийняти рішення для своєчасного гальмування чи об'їзду.

Оскільки закладені при проектуванні та будівництві параметри визначають транспортно-експлуатаційні якості майбутніх доріг, виникло питання, чи відповідає європейським стандартам дорожнього руху розрахункова відстань видимості, що закладається у вітчизняних нормах на проектування доріг. Теоретичний аналіз методів визначення відстані видимості, які пропонуються в інших країнах, засвідчив різний підхід у врахуванні таких складових її визначення як коефіцієнти опору кочення, коефіцієнти зчеплення, також в Україні, на відміну від багатьох інших країн, при визначенні відстані видимості не враховується поздовжній похил [4].

Обстеження дорожнього руху, які проводилися на вітчизняних автомобільних магістралях [4], та їх аналіз показали, що при швидкостях менших за 80 км/год. відстані видимості, закладені в діючих українських нормах ДБН 2.3-4-2007 [1], є дещо вищими за отримані по німецьких методиках. При русі ж на високих швидкостях відстані видимості, розраховані за німецькою методикою, значно перевищують розраховані за українською методикою. При швидкостях руху 100 км/год таке перевищення складає близько 50 м. Швидкостям руху 120-150 км/год відповідають перевищення відстані видимості, відповідно, на 100 -300 м. Тож вітчизняна методика закладає нижчі за європейські відстані видимості саме для автомагістралей, до яких належать і міжнародні транспортні коридори, на яких необхідно забезпечувати безпечний та комфортний рух саме на високих швидкостях.

З метою врахування похилу та залежності коефіцієнтів зчеплення та опору кочення від швидкостей руху були побудовані графіки, які є графічним вирішенням системи рівнянь:

$$f(V) = f + \varphi \pm i$$

$$f(V) = \frac{KV^2}{254 \left(S - \frac{V}{3,6} \right)}, \quad (1)$$

де V – швидкість автомобіля;

f – коефіцієнт опору кочення;

φ – коефіцієнт зчеплення колеса з покриттям автомобільної дороги (f і φ величини, залежні від V), i – поздовжній похил траси.

Величини f і φ характеризують дорожні умови і є залежними від швидкості V .

Перша складова системи відображає суму опорів, які зазнає автомобіль під час руху, тобто коефіцієнту опору кочення та коефіцієнту зчеплення (величин, залежних від швидкостей руху), а друга - залежність відстані видимості від швидкості.

Запропонована номограма дозволяє визначати безпечну швидкість руху незалежно від умов, які обмежують видимість дороги. Проведені натурні обстеження руху транспортних потоків на автомагістралях засвідчили достовірність отримуваних даних.

На прямих горизонтальних ділянках водій бачить перед собою дорогу на більшій відстані, ніж на кривих у плані. Перешкоди для видимості в плані можуть виникнути на заокругленнях, розташованих в закритій місцевості або у виїмці.

Забезпечуючи видимість на всій довжині автомобільної дороги, особливу увагу при проектуванні та будівництві слід приділяти видимості на горизонтальній кривій.

Для визначення зони видимості будується крива межі зони видимості. Існують графічний та аналітичний способи побудови цієї кривої.

Графічний спосіб полягає в тому, що на викресленому в великому масштабі плані заокруглення наносять траєкторію руху автомобіля. На траєкторії руху автомобіля позначається ряд точок, від яких відкладаються відрізки відстані видимості. Кінці відрізків сполучають прямими лініями, огинаючи яких і буде зображувати криву межі зони видимості (рис. 1). Цей спосіб трудомісткий і не достатньо точний. У зв'язку з чим були запропоновані способи, засновані на математичному описі кривої видимості.

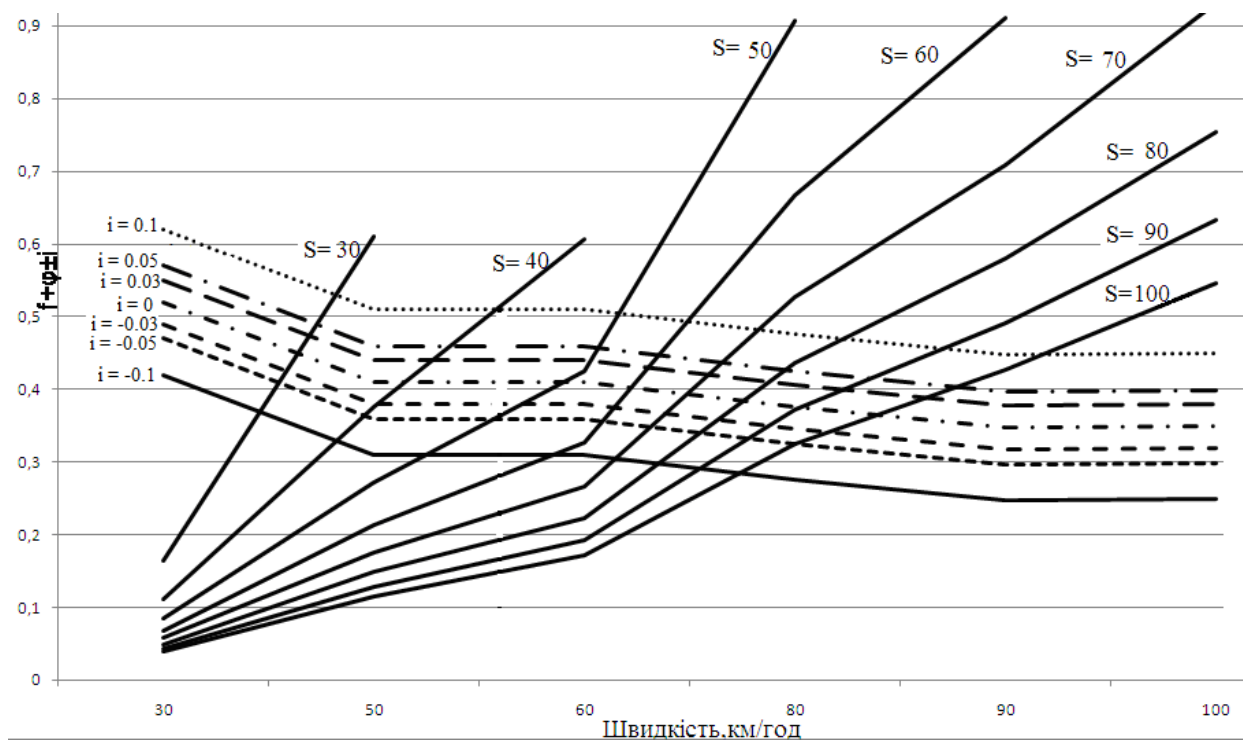


Рис. 1. Визначення безпечної швидкості руху в залежності від видимості в даних дорожніх умовах

Питанням визначення відстаней видимості на кривих у плані присвячені дослідження Ю.Н. Даденкова, С.А. Лопатто, В.И. Ксенохондова, О.А. Білятинського, О.М. Таранова [2]. Математичний опис кривої видимості дає змогу за допомогою ЕОМ розв'язувати різні інженерні задачі, такі, як визначення площі та об'єму зрізання укусу, встановлення радіуса кривої на заокругленні, виходячи з умов забезпечення видимості, та інші.

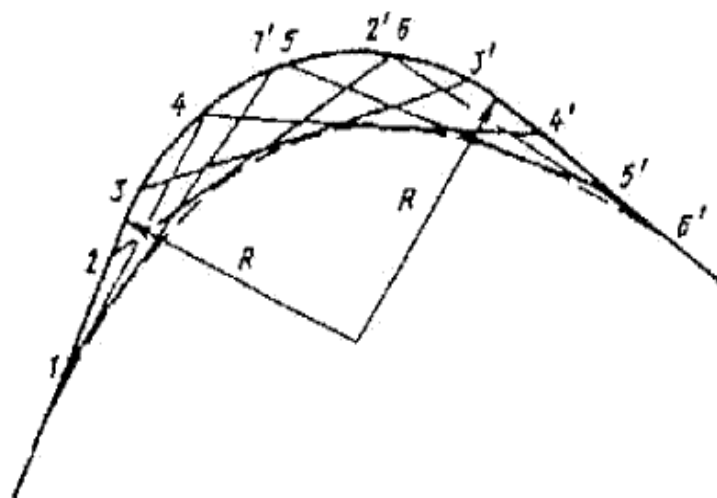


Рис. 2. Схема визначення границі зрізки

Важливим чинником при проектуванні дороги є визначення площі зрізки з метою забезпечення видимості на горизонтальних кривих.

Досліджуючи зміну величини площі від зміни параметрів дороги за допомогою програмного комплексу MathCad, виявлено такі закономірності:

- площа зрізки при сталій видимості при зміні радіусу майже не змінюється;
- при збільшенні відстані видимості збільшується й площа зрізки;
- при збільшенні довжини перехідної кривої площа зрізки видимості зменшується;
- при зменшенні кута повороту траси дороги площа зрізки зменшується.

Основним параметром, який впливає на величину об'єму робіт при проведенні зрізки, є величина відстані видимості. Тому при виконанні варіантного проектування зміна інших параметрів дороги значної зміни не викличе.

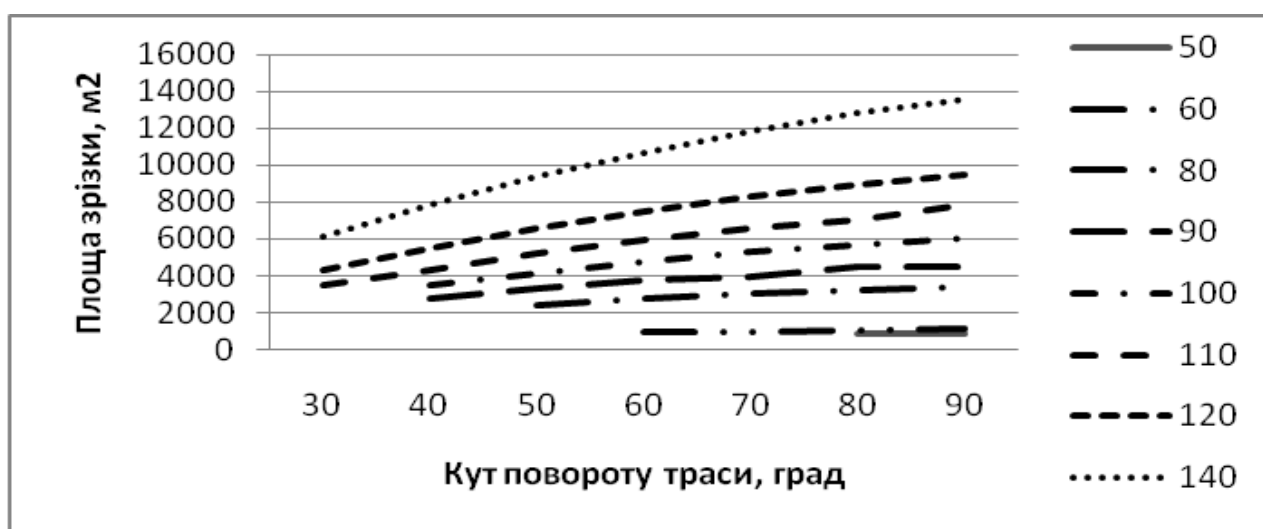


Рис. 3. Залежність площі зрізки від кута повороту для заданої технічної категорії дороги

На основі визначеної категорії дороги та умов прокладення траси в залежності від рельєфу місцевості приймають розрахункову швидкість, для якої згідно діючих норм призначають величину радіусу, перехідної кривої та величину відстані видимості.

Залежності, які були використані при розрахунку [2], є досить громіздкими. Тож була зроблена спроба спростити розрахунок, встановлюючи площу зрізки відповідною до середині кривої по бісектрисі. Графічне порівняння обох

методів за допомогою програмного комплексу AutoCad дозволяє говорити про незначне зменшення величини площі зрізки.

Тож для перевірки забезпечення видимості дороги в плані і побудови границь зони видимості обмежуємось встановленням розміру зрізки в середині кривої по бісектрисі, тобто визначаємо так звану «стрілу» видимості. Для найбільш загального випадку, коли відстань видимості менша довжини кривої, величина зрізки становить:

$$f = R(1 - \cos \frac{S}{2R}) \quad (2)$$

де S – відстань видимості, м;
 R – радіус кривої в плані [5],

В США величина зрізки обчислюється за схожою формулою [8]:

$$f = R(1 - \cos \frac{29,65S}{R}) \quad (3)$$

Різниця між вищезгаданими формулами полягає у тому, що величина позначає величину кута у радіанах, а - у градусах.

Результати побудови "стріли" видимості за вказаними залежностями наведено на рис. 4.

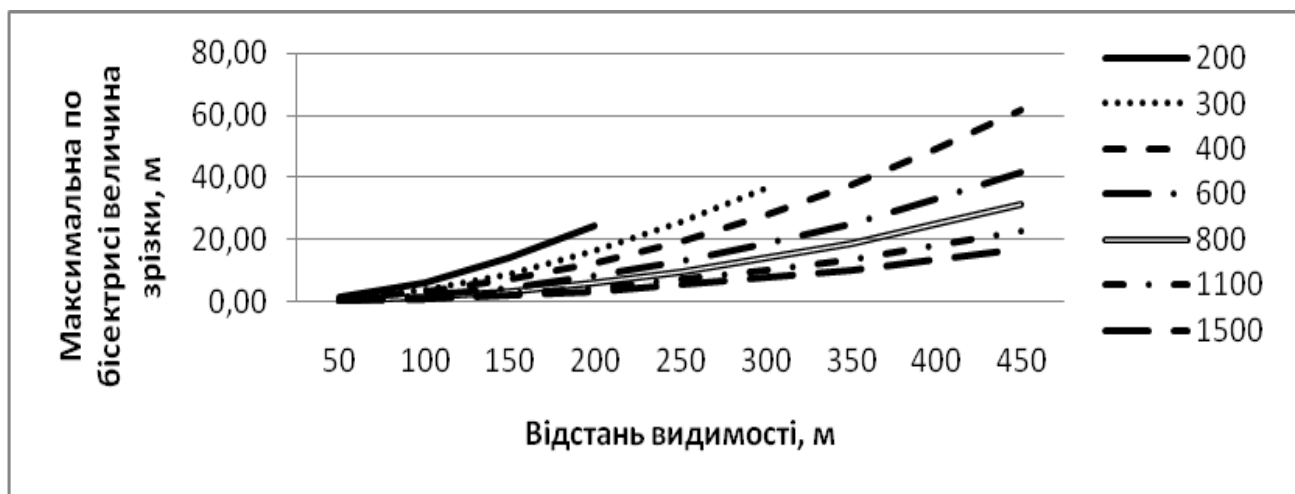


Рис. 4. Залежність максимальної по бісектрисі величини зрізки від відстані видимості та радіуса горизонтальної кривої

З графіків видно, що при збільшенні величини видимості «стріла» видимості збільшується, а при збільшенні радіусів кривих – зменшується.

Видимість дороги в плані можна забезпечувати двома шляхами: обмежити швидкість руху по кривій або провести зрізку. Отримані залежності дають можливість вирішувати відповідні техніко-економічні задачі.

Запропонована методика вибору варіанту забезпечення видимості на кривих в плані є наступною.

Встановлюється інтенсивність та склад руху на дорозі.

Для розрахунку приймаємо усереднений склад руху на автомагістралях, отриманий за результатами проведених натурних обстежень:

Легкових автомобілів 30-50%

Вантажних автомобілів 30-50%

Автобусів 5-15%

Автопотягів 5-10%

Визначаємо наявну «стрілу» видимості, по ній за рисунком 4 визначаємо видимість для заданого радіусу горизонтальної кривої.

Оскільки на сьогоднішній день немає точних залежностей, які дозволяють визначити, як змінюється коефіцієнт зчеплення зі зростанням швидкості, тому виникла необхідність певного коректування графіків, зображених на рисунку 1. На рисунку 5 зображена номограма для обмеження швидкості з умови видимості, враховуючи, що коефіцієнт зчеплення сталий на ділянці дороги при різних швидкостях.

Примітка: Графіки, зображені на рисунках 1 і 5, можна використовувати не лише для обмеження швидкості, а й для визначення видимості для заданих умов, а також визначення необхідного коефіцієнту зчеплення чи поздовжнього похилу для певної швидкості та видимості.

Підраховуються транспортні витрати за умов, коли швидкість на криволінійній ділянці не обмежується, а видимість забезпечується зрізкою і при обмеженій швидкості, коли зрізка не виконується.

$$T = t \cdot N \cdot 365 \cdot c, \quad (4)$$

де T – транспортні витрати, грн;

t – час проїзду автомобіля по ділянці дороги, год.;

– добова інтенсивність руху, авт./добу;

c – вартість 1 авто·год, яка визначається:

$$C = aC_1 + bC_2 + dC_3 + kC_4, \quad (5)$$

a, b, d, k – кількість автомобілиниць відповідно легкових, вантажних автомобілів, авто потягів.

C_1, C_2, C_3, C_4 – вартість 1 авто/год для легкових автомобілів – 80 грн/год, вантажних – 120 грн/год, автобусів – 150 грн/год, автопотягів – 180 грн/год.

За рисунком 6 визначаємо об'єм робіт, що відповідає визначеним транспортним витратам.

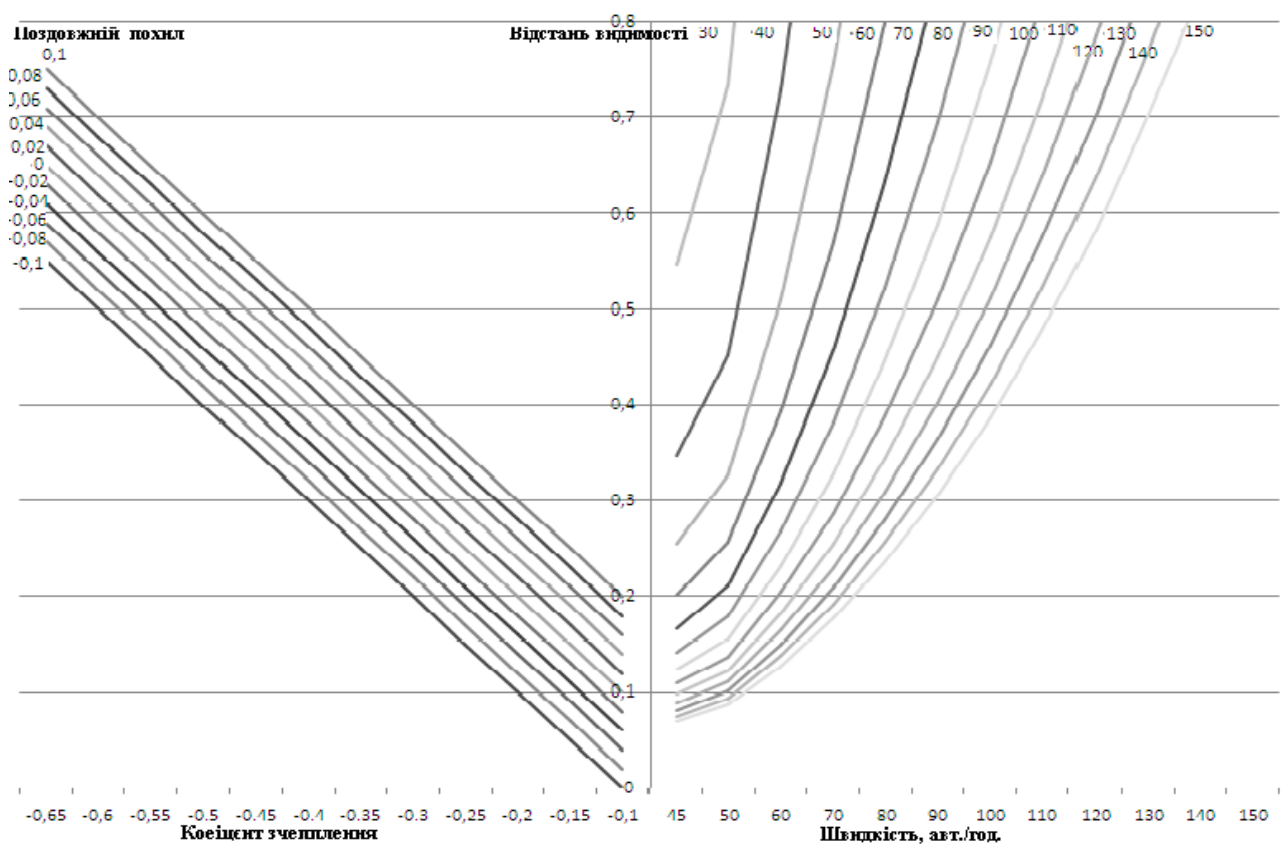


Рис. 5. Номограма для обмеження швидкості за умови забезпечення видимості із врахуванням дорожніх умов

Примітка: Для побудови графіка було прийнята орієнтовна вартість 1м^3 розробки ґрунтів, що складає 0,0772 тис. грн.

Для заданої категорії дороги визначається необхідний об'єм земляних робіт, які треба виконувати для проведення зрізки з метою забезпечення видимості, використовуючи дані рис. 3.

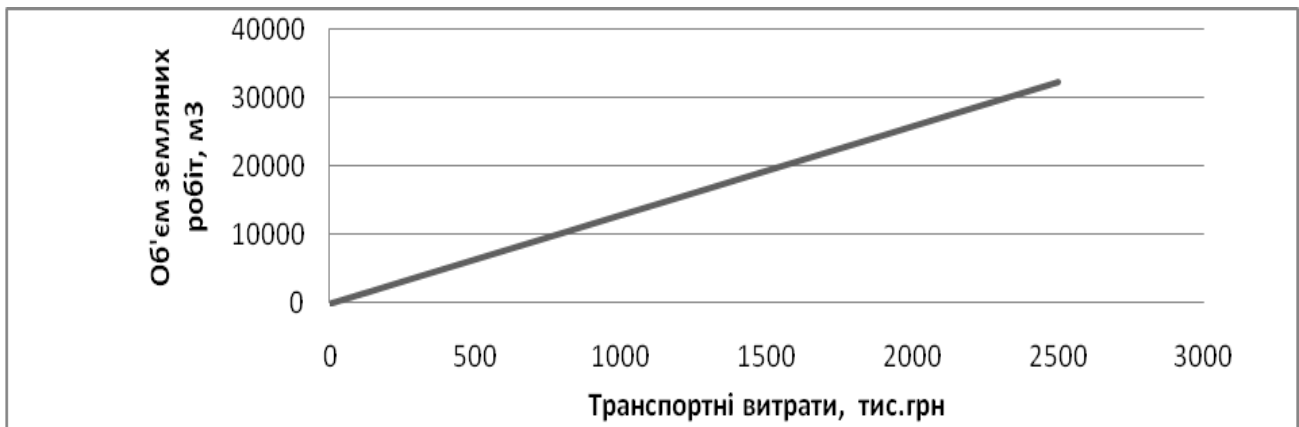


Рис. 6. Графік для визначення об'єму земляних робіт, що відповідає визначеним транспортним витратам

Якщо необхідний об'єм робіт менший за отриманий з графіка, зображеного на рисунку 6, то забезпечення видимості доцільніше виконувати шляхом зрізки необхідного об'єму ґрунту, якщо більший – то треба обмежувати швидкість руху автомобілів.

Запропонована методика може використовуватися як при різних дорожніх умовах, так і при різному складі транспортних потоків.

При неможливості виконання зрізки величина обмеження швидкості може обґрунтовуватися за графіками, зображеними на рисунку 5.

Висновки

Забезпечення відстані видимості є важливим чинником для досягнення безпечних та комфортних перевезень.

Аналіз теоретичних даних та порівняння вітчизняних норм з нормативами різних країн світу привів до висновку, що при розробці українських норм не враховується вплив деяких параметрів, що визначають видимість. Вітчизняні норми ґрунтуються переважно на розробках 80-их років минулого сторіччя і не можуть забезпечувати сучасний рух на автомобільних дорогах на належному рівні. Виконані дослідження показали, що вітчизняна методика закладає нижчі за європейські відстані видимості саме для автомагістралей, до яких належать і міжнародні транспортні коридори, на яких особливо важливо гарантувати безпеку та комфортність поїздок на високих швидкостях.

Найскладнішим є забезпечення видимості на ділянках горизонтальних кривих. Проаналізовані існуючі методи. Важливим чинником є визначення площі зрізки з метою забезпечення видимості на криволінійних ділянках.

Проведений аналіз об'ємів робіт - площі зрізки, яку треба виконувати для забезпечення відстані видимості, показав, що серед інших параметрів, які досліджувалися (радіуси кривих, кути повороту траси тощо), саме відстань видимості найбільшою мірою визначає величину необхідної площі зрізки.

Розроблена методика техніко-економічного обґрунтування вибору методів забезпечення безпеки руху на криволінійних ділянках доріг при варіантному проектуванні: забезпечення відстані видимості шляхом виконання зрізки чи обмеження швидкостей руху на кривих.

Побудовані графіки для визначення безпечної швидкості руху незалежно від дорожніх умов, які обмежують видимість дороги. Отримані графіки є зручними для практичного застосування.

Література

1. Автомобільні дороги. ДБН В.2.3-4-2007. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 87 с.
2. Белятынський А.А., Таранов А.М. Определение видимости при проектировании автомобильных дорог. – К.: Будівельник, 1983. – 95 с.
3. Білятинський О.А., Заворицький В.Й., Старовойда В.П., Хом'як Я.В. Проектування автомобільних доріг: Підручник. У 2 ч. Ч.1. – К.: Вища шк., 1997 – 518 с.
4. Хом'як А.Я., Назіна М.О. Дослідження відстані видимості на автомобільних дорогах. – К.: Вісник НТУ, № 21, частина 1, 2010. – С. 86-90.
5. Пособие по проектированию элементов плана, продольного и поперечного профилей, инженерных обустройств, пересечений и примыканий автомобильных дорог. – М.: Союздорнии, 1989. – 123 с.
6. Федотов Г.А. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1986. - 317 с.
7. Daniel B. Fambo, Kay Fitzpatric, Rodger J. Koppa. The Transportation Research Board of the National Academies. The National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 400: The Determination of Stopping Sight Distance. Washington, D.C., National Academy Press – 1997. – 138 p.