

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТРАНСФОРМАЦІЇ РУСЛОВОЇ ВИТРАТИ НА ВЕЛИЧИНУ ЗАГАЛЬНОГО РОЗМИВУ

RESEARCH THE INFLUENCE OF THE TRANSFORMATION OF RIVERBED CONSUMPTION ON THE SIZE OF GENERAL WASHOUT



Башкевич Ірина Василівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, кафедра «Мости та тунелі», асистент, e-mail: iv.bashkevych@gmail.com, +380509292285

<https://orcid.org/0000-0001-7640-4317>



Солодкий Сергій Йосифович, доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», завідувач кафедри «Автомобільні дороги та мости», e-mail: s.solodkyu@ukr.net, тел. +380322582517

<https://orcid.org/0000-0001-9829-5123>

Анотація. Проектування мостових переходів передбачає довгострокове прогнозування загального розмиву під мостами за багаторічний період [1], але його широке впровадження загальмовується відсутністю теоретичного обґрунтування деяких засадничих принципів. Зокрема способу визначення залишкового розмиву від попередніх паводків.

Ключові слова: мостовий перехід, руслові деформації, загальний розмив, залишковий розмив.

Вступ. Гідрологічний режим ріки й гідроморфологічні параметри її русла являють собою систему, що може підсилювати або послабляти інтенсивність загальних руслових деформацій у зоні впливу мостових переходів. Однак головним фактором розвитку загального розмиву є величина й характер трансформації руслової витрати, обумовлена стисненням ріки підходами до моста. Загальний розмив під мостом залежить як від абсолютної величини коефіцієнта трансформації руслової витрати, так і від характеру його зміни в границях зони стиску. Тому варто встановити зв'язок між величиною загального розмиву під мостом і різними характеристиками трансформації руслової витрати.

Мета і методи. З метою встановлення зв'язка між величиною загального розмиву під мостом і різними характеристиками трансформації руслової витрати, формула для визначення характеристики трансформації руслової витрати записується з узагальненим показником степеня [2]:

$$\beta = \frac{1}{\left(1 - \frac{l}{R}\right)^n} \quad (1)$$

де l – відстань від початку стиснення; R – параметр центральної струмини, який становить

$$R = \frac{\beta_m \cdot l_c}{\beta_m - 1} \quad (2)$$

де β_m - коефіцієнт стиснення потоку під мостом; l_c - довжина зони стиснення.

Якщо врахувати (2) в (1), матимемо

$$\beta = \frac{1}{(1 - \frac{l}{l_c} \cdot b)^n} \quad (3)$$

де $b = 1 - \frac{1}{\beta_m^n}$.

Для перевірки зроблених перетворень розглядаються граничні умови:

коли $l = 0$, маємо $\beta_m = 1$ - початок зони стиснення;

коли $l = l_c$, маємо $\beta_m = \beta_m$ - під мостом.

Надаючи показнику степеня різні значення від 0,1 до 1,3 одержимо різні характеристики трансформації руслової витрати, які наведені на рис. 1.

Як свідчать теоретичні дослідження, при невеликому стисненні (рис. 1), тобто в момент залишкового розмиву, характеристики трансформації руслової витрати змінюється практично за лінійним законом. Для залишкового розмиву ця витрата повинна бути щонайменшою з можливих, тобто не менше допустимої похибки її гідрометричного визначення в натурних умовах, яка за даними О.А.Лучшевої [3] становить 2%. Таким чином, найменша витрати заплавного потоку, яку можна заміряти, дорівнює двом відсоткам витрати руслового потоку в брівках, який на цей момент дорівнює загальній витраті ріки $0,02 \cdot Q_{p.б.} = Q$.

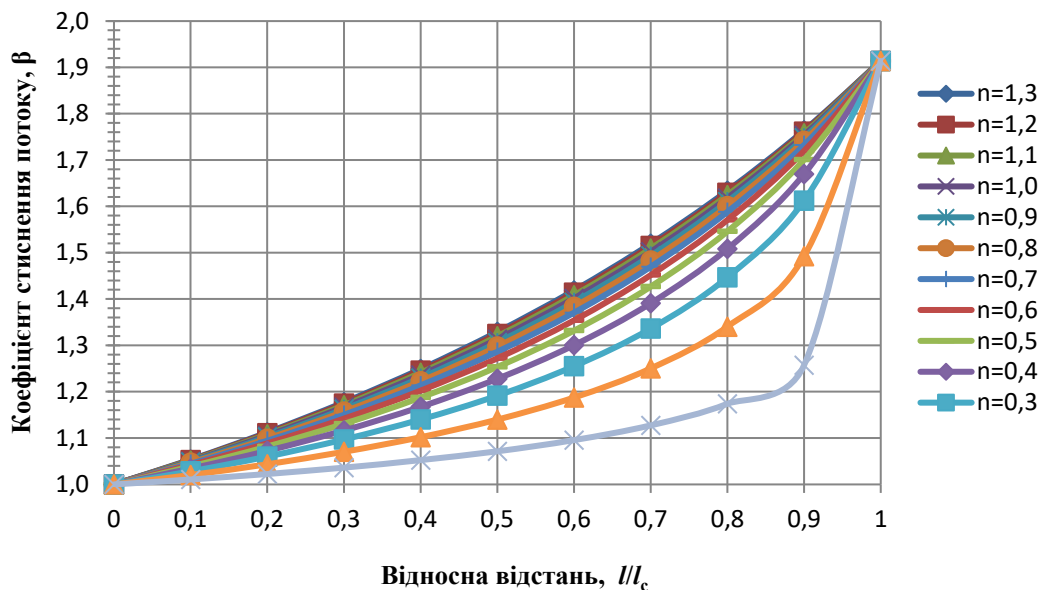


Рисунок 1 – Узагальнені характеристики трансформації руслової витрати.

Figure 1 – Generalized characteristics of channel flow transformation.

Якщо збільшити зону, яка відповідає залишковому розмиву, отримаємо рисунок 2.

Аналізуючи дані, які наведені на рисунку 2 видно, що при невеликому стисненні, тобто в момент залишкового розмиву, характеристика трансформації руслової витрати змінюється практично за лінійним законом.

Для одержання змістовних результатів, що відбивають сутність впливу різних умов формування змінного уздовж шляху руслової витрати на величину загального розмиву під мостом, досить обмежиться аналізом його верхньої межі. У зв'язку із цим виникає необхідність в одержанні аналітичного виразу для верхньої межі загального розмиву, що враховує різні характеристики трансформації руслової витрати.

Математична модель для рішення поставленого завдання має вигляд [4] і складається з диференціального рівняння балансу наносів, транспортуючої спроможності потоку, рівняння витрати потоку, характеристики трансформації руслової витрати з узагальненим показником степені:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial G}{\partial l} - B_p \cdot \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \\ G = A \cdot Q_p \cdot Fr^{1,5} \\ Q_p = \int_0^B V \cdot h \cdot db \\ \beta_p = \left(1 - \frac{l}{l_c} \right)^{-n} \end{array} \right. \quad (4)$$

де G і Q – витрати наносів і води;
 h і B_p – глибина і ширина русла;
 V – швидкість руслового потоку;
 A – коефіцієнт, що враховують фізичні властивості наносів;
 β_p – коефіцієнт трансформації руслової витрати в зоні стиснення;
 l – відстань від початку стиснення;
 l_c – коефіцієнт стиснення потоку під мостом.

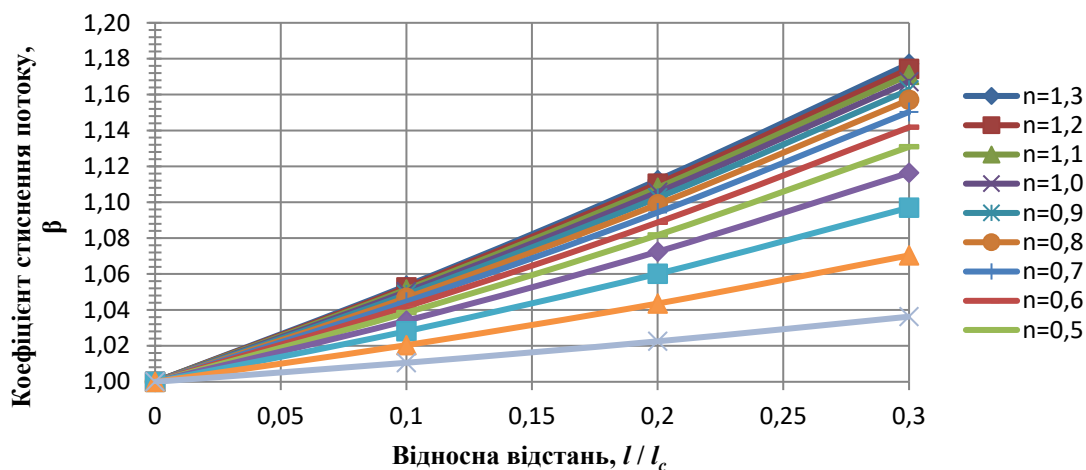


Рисунок 2 – Коефіцієнт стиснення потоку на початку зони стиснення.

Figure 2 – The compression ratio of the flow at the beginning of the compression zone.

Найпростішою розрахунковою схемою буде така, коли перша в серії повинь проходити по нерозмитому (пласкому) дну. В цьому випадку початкові умови мають вид: $h = h_{pn}$.

Перехід від змінної l до змінної β здійснюється за правилом:

$$\frac{\partial G}{\partial l} = \frac{\partial G}{\partial \beta} \cdot \frac{d\beta}{dl} \quad (5)$$

Похідна $\frac{d\beta}{dl}$ буде такою:

$$\frac{d\beta}{dl} = - \frac{n}{\left(1 - \frac{l}{l_c} \cdot b \right)^{n+1}} \cdot \left(- \frac{b}{l_c} \right) \quad (6)$$

Якщо показник ступені $n+1$ помножити і поділити на n , то вираз похідної буде:

$$\frac{d\beta}{dl} = \frac{n \cdot b}{l_c} \cdot \beta^{\frac{1}{n}} \quad (7)$$

З врахуванням отриманої похідної $\frac{d\beta}{dl}$ похідна $\frac{\partial G}{\partial l}$ записується таким чином:

$$\frac{\partial G}{\partial l} = \frac{n \cdot b}{l_c} \cdot \beta^{1+\frac{1}{n}} \cdot \left(\frac{4\beta^3}{B_p^3 \cdot h^{4,5}} - \frac{3\beta^4}{B_p^3 \cdot h^{4,5}} \frac{dB_p}{d\beta} - \frac{4\beta^4}{B_p^3 \cdot h^{5,5}} \frac{dh}{d\beta} \right) \cdot A_g \cdot Q_{pn}^4. \quad (8)$$

Після підстановки рівняння балансу наносів матимемо квазілінійне рівняння загального розмиву:

$$\begin{aligned} & \frac{4 \cdot A_g \cdot Q_{pn}^4 \cdot n \cdot b \cdot \beta^{5+\frac{1}{n}}}{l_c \cdot B_p^3 \cdot h^{5,5}} \cdot \frac{dh}{d\beta} + B_p \frac{dh}{dl} = \\ & = \frac{4 \cdot A_g \cdot Q_{pn}^4 \cdot n \cdot b \cdot \beta^{4+\frac{1}{n}}}{l_c \cdot B_p^3 \cdot h^{4,5}} - \frac{3 \cdot A_g \cdot Q_{pn}^4 \cdot n \cdot b \cdot \beta^{5+\frac{1}{n}}}{l_c \cdot B_p^4 \cdot h^{4,5}} \cdot \frac{dB_p}{d\beta} \end{aligned} \quad (9)$$

В теорії диференціальних рівнянь з частинними похідними доводиться, що квазілінійному рівнянню з двома незалежними змінними відповідає система з двох звичайних диференціальних рівнянь, яка в симетричній формі набуває виду:

$$\begin{aligned} & \frac{\frac{d\beta}{\frac{4 \cdot A_g \cdot Q_{pn}^4 \cdot n \cdot b \cdot \beta^{5+\frac{1}{n}}}{l_c \cdot B_p^3 \cdot h^{5,5}}}}{\frac{dh}{\frac{4 \cdot A_g \cdot Q_{pn}^4 \cdot n \cdot b \cdot \beta^{4+\frac{1}{n}}}{l_c \cdot B_p^3 \cdot h^{4,5}} - \frac{3 \cdot A_g \cdot Q_{pn}^4 \cdot n \cdot b \cdot \beta^{5+\frac{1}{n}}}{l_c \cdot B_p^4 \cdot h^{4,5}}}} = \frac{dt}{B_p} = \\ & = \frac{dh}{\frac{4 \cdot A_g \cdot Q_{pn}^4 \cdot n \cdot b \cdot \beta^{4+\frac{1}{n}}}{l_c \cdot B_p^3 \cdot h^{4,5}} - \frac{3 \cdot A_g \cdot Q_{pn}^4 \cdot n \cdot b \cdot \beta^{5+\frac{1}{n}}}{l_c \cdot B_p^4 \cdot h^{4,5}}} \end{aligned} \quad (10)$$

Складові елементи системи (10) являють собою відношення диференціалів незалежних змінних до коефіцієнтів при відповідних похідних розшукуваної функції. Для складання двох звичайних рівнянь треба згуртувати їх попарно в будь-якому порядку. Таких неповторюючих самих себе комбінацій може бути тільки три. Наприклад, перше з другим, перше з третім і третє з другим. З метою отримання загального рішення квазілінійного рівняння нема потреби розв'язувати їх всі три. Досить розв'язати будь-які два. Вибір цих рівнянь залежить від складності їх рішення і пов'язані з цим ускладнень, що виникають при врахуванні початкових умов.

Перше звичайне диференціальне рівняння утворюється внаслідок комбінації крайніх членів системи (10):

$$\begin{aligned} & \frac{4 \cdot A_g \cdot Q_{pn}^4 \cdot n \cdot b \cdot \beta^{5+\frac{1}{n}}}{l_c \cdot B_p^3 \cdot h^{5,5}} \cdot dh = \\ & = \frac{4 \cdot A_g \cdot Q_{pn}^4 \cdot n \cdot b \cdot \beta^{4+\frac{1}{n}}}{l_c \cdot B_p^3 \cdot h^{4,5}} \cdot d\beta - \frac{3 \cdot A_g \cdot Q_{pn}^4 \cdot n \cdot b \cdot \beta^{5+\frac{1}{n}}}{l_c \cdot B_p^4 \cdot h^4} \cdot \frac{dB_p}{d\beta} \cdot d\beta \end{aligned} \quad (11)$$

Після зведення подібних членів, рівняння (11) набувають виду звичайного з відокремленими змінними:

$$\frac{dh}{h} = \frac{d\beta}{\beta} - \frac{3}{4} \frac{dB_p}{B_p}. \quad (12)$$

Проінтегрувавши ліву і праву частину, отримується його загальне рішення:

$$B_p^{3/4} \cdot \frac{h}{\beta} = \psi_1. \quad (13)$$

Друге рівняння доцільно утворити, поєднавши перший і другий члени системи (10):

$$\frac{4 \cdot A_g \cdot Q_{pn}^4 \cdot n \cdot b \cdot \beta^{5+\frac{1}{n}}}{l_c \cdot B_p^4 \cdot h^{5,5}} \cdot dt = d\beta. \quad (14)$$

Проінтегрувавши ліву і праву частину рівняння:

$$\frac{4 \cdot A_g \cdot n \cdot b}{l_c \cdot B_p^4 \cdot h^{5,5}} \cdot \int Q_{pn}^4 dt = \int \frac{d\beta}{\beta^{5+\frac{1}{n}}}, \quad (15)$$

розв'язок якого становить:

$$\frac{4 \cdot A_g \cdot n \cdot b \cdot \Gamma}{l_c \cdot B_p^4 \cdot h^{5,5}} + \frac{1}{(4 + \frac{1}{n}) \cdot \beta^{4+\frac{1}{n}}} = \psi_2, \quad (16)$$

де $\Gamma = \int Q_{pn}^4 dt$ – інтегральна функція гідрографу. У виразах (13) і (16) ψ_1 та ψ_2 – сталі інтегрування.

На відміну від звичайних диференціальних рівнянь, для яких загальне рішення повністю визначається невідомою сталою величиною, загальне рішення диференціальних рівнянь з частинними похідними являє собою невизначену функцію Φ від інтегралів (13) і (16). Таким чином, загальне рішення квазілінійного рівняння (10) становить:

$$\Phi \left(B_p^{\frac{3}{4}} \frac{h}{\beta}, \frac{4 \cdot A_g \cdot n \cdot b \cdot \Gamma}{l_c \cdot B_p^4 \cdot h^{5,5}} + \frac{1}{(4 + \frac{1}{n}) \cdot \beta^{4+\frac{1}{n}}} \right) = 0.$$

Вид функції Φ визначається шляхом врахування початкових умов, тобто розв'язання задачі Коші.

Для здобуття частинного рішення, треба інтеграли (13) і (16) записати стосовно початкового моменту $t_0 = 0$. Тобто всім членам явно залежним від часу t надати значення, які вони повинні мати в початковий момент. Такою величиною є тільки природна руслова витрата води Q_{pn} . Тому в початковий момент розвитку руслових деформацій інтегральна функція гідрографу $\Gamma = \int Q_{pn}^m dt = 0$. Інтеграл (13) залишається без змін, а інтеграл (16) позбувається другої складової:

$$B_p^{\frac{3}{4}} \cdot \frac{h}{\beta} = \overline{\psi_1}, \quad (17)$$

$$\frac{1}{(4 + \frac{1}{n}) \cdot \beta^{4+\frac{1}{n}}} = \overline{\psi_2}. \quad (18)$$

Визначивши з останніх виразів функцію h та аргумент β , матимемо їх явні залежності від інтегралів $\overline{\psi_1}$ та $\overline{\psi_2}$:

$$h = \frac{1}{B_p^{\frac{3}{4}}} \cdot \overline{\psi_1} \cdot \beta \quad (19)$$

$$\beta = \left[\frac{1}{\left(4 + \frac{1}{n}\right) \cdot \overline{\psi_2}} \right]^{\frac{1}{4 + \frac{1}{n}}} \quad (20)$$

Тепер, якщо підставити у (19) початкові умови $h = h_{pn}$, отримаємо

$$h_{pn} = \frac{1}{B_p^{\frac{3}{4}}} \cdot \overline{\psi_1} \cdot \left[\frac{1}{\left(4 + \frac{1}{n}\right) \cdot \overline{\psi_2}} \right]^{\frac{1}{4 + \frac{1}{n}}} \quad (21)$$

Підставимо (17) і (18) у вираз (21), отримаємо:

$$h_{pn} = \frac{h}{\beta} \cdot \left[\frac{1}{\frac{1}{\beta^{4 + \frac{1}{n}}} + \frac{4 \cdot \left(4 + \frac{1}{n}\right) \cdot A \cdot b \cdot \Gamma}{l_c \cdot B_p^4 \cdot h^{5,5}}} \right]^{\frac{1}{4 + \frac{1}{n}}} \quad (22)$$

Виконавши звичайні алгебраїчні перетворення, отримуємо:

$$h = h_{pn} \cdot \beta \cdot \left[\frac{1}{\beta^{4 + \frac{1}{n}}} + \frac{4 \cdot \left(4 + \frac{1}{n}\right) \cdot A_g \cdot b \cdot \Gamma}{l_c \cdot B_p^4 \cdot h^{5,5}} \right]^{\frac{1}{4 + \frac{1}{n}}} \quad (23)$$

Тоді основна розрахункова залежність набуває такого виду:

$$h = h_{pn} \cdot \left[1 + \frac{4 \cdot \left(4 + \frac{1}{n}\right) \cdot A_g \cdot b \cdot \Gamma \cdot \beta^{4 + \frac{1}{n}}}{l_c \cdot B_p^4 \cdot h^{5,5}} \right]^{\frac{1}{4 + \frac{1}{n}}} \quad (23)$$

Якщо треба визначити глибину загального розмиву тільки під мостом, одержуємо таку залежність:

$$h = h_{pn} \cdot \left[1 + \frac{4 \cdot \left(4 + \frac{1}{n}\right) \cdot A_g \cdot b \cdot \Gamma \cdot \beta_m^4 \cdot (\beta_m^{1/n} - 1)}{l_c \cdot B_p^4 \cdot h^{5,5}} \right]^{\frac{1}{4 + \frac{1}{n}}} \quad (24)$$

Результати і пояснення. Дослідження залежності глибини, що відповідає загальному розмиву, від параметра n , що визначає характеристику трансформації руслової витрати, виконано за допомогою аналітичної формули (24) для мостового переходу через річку Вільшанка [5 – 7].

Загальний опис р. Вільшанка. Річка Вільшанка бере початок поблизу села Моринці Звенигородського р-ну Черкаської області на висоті 230 м над рівнем моря. Спершу тече на південний схід, у середній течії круто повертає на північ, від міста Городище тече на північний схід. Впадає до Дніпра неподалік від села Лозівки на висоті 76 м над рівнем моря. Довжина річки від гирла 100 км. Площа водозбірного басейну 1260 км². Середній похил річки 0,9 м/км. Долина трапецієподібна. Річка протікає в лісостеповій зоні. Заплава у нижній течії заболочена. Річище звивисте, завширшки 20 – 25 м. Глибина змінюється від 2 до 3 років. Живлення змішане. Замерзає наприкінці листопада, скресає у березні. Використовується на водопостачання, зрошення.

Вихідними даними до гідравлічного розрахунку були: морфологічні характеристики р. Вільшанка (табл. 1), ряди спостережень, криві витрат, водомірні графіки [8]. Для визначення глибини в розмитому руслі (24), були побудовані гідрограф руслової та загальної витрати 1% забезпеченості та інтегральна функція гідрографа 1% забезпеченості. Графічне зображення результатів дослідження показано на (рис. 3).

Table 1 – Морфологічні характеристики р. Вільшанка
 Таблица 1 – Morphological characteristics of the river Vilshanka

Ширина розливу ріки, м	B	149
Середня ширина русла, м	B_p	60
Природна відмітка дна, м	Z_d	76,75
Середня відмітка заплав, м	Z_z	82
Коефіцієнт, залежний від крупності наносів	A_g	0,000681
Поздовжній похил дна	I	0,00033

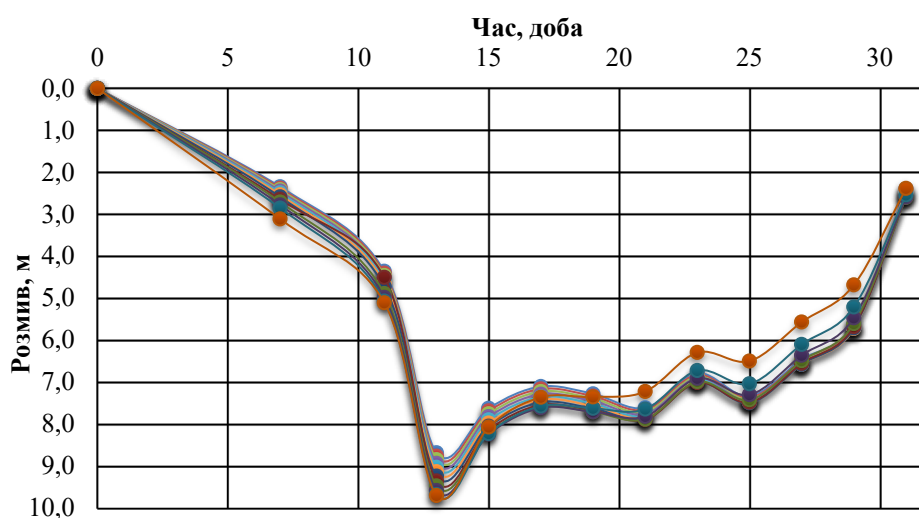


Рисунок 3 – Залежність загального розмиву від характеру трансформації загальної витрати під час проходження паводку

Figure 3 – Dependence of the total erosion on the nature of the transformation of the total flow during the flood

Висновки та рекомендації. Аналізуючи дані, які наведені на рисунку 2.14, можна побачити, що при зміні показника степеня n від $n = 0,4$ до $n = 1,3$ графіки, що показують глибину в розмитому руслі під час проходження паводку, майже накладаються один на одного. Це свідчить про те, що величина загального розмиву на мостових переходах не залежить від характеру трансформації руслової витрати. Значення величини загального розмиву зростають зі збільшенням показника степеня n в характеристиці трансформації руслової витрати.

Коефіцієнт стиснення потоку під мостом β_m при залишковому розмиві практично лінійно зменшується до 1,0 на початку зони стиснення.

Характеристика руслової витрати з показником степеня $n = 0,1$ виходить за межі теоретичної області існування коефіцієнтів n і в подальшому може бути виключена із аналізу.

Витрата потоку для залишкового розмиву повинна бути щонайменшою з можливих, тобто не менше допустимої похибки її гідрометричного визначення в натурі і приймається рівною $0,02 \cdot Q_p$.

Отримані результати дозволяють здійснити аналітичну реалізацію математичної моделі залишкового розмиву з лінійною характеристикою трансформації руслового потоку в системі багаторічного прогнозу руслових деформацій на мостових переходах.

Перелік посилань

1. ДБН В.2.3-22:2009 Мости та труби. Основні вимоги проектування. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 367 с.
2. Андреев О.В. Проектирование мостовых переходов. М.: Транспорт, 1980. 215 с.
3. Лучшева А.А. Практическая гидрометрия. Л.: Гидрометеиздат, 1972, 380 с.
4. Ткачук С. Г. Прогнозування руслових деформацій на мостових переходах. Частина 3 і 4. К.: Редакційно-видавничий відділ НТУ, 2004. 98 с.
5. Вишневецький В. І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. Київ: Ніка-Центр, 2003. 324 с.
6. Малі річки України: Довідник за ред. А. В. Яцика. К.: Урожай, 1991. 296 с.
7. Паламарчук М. М. Водний фонд України: Довідниковий посібник за ред. В. М. Хорєва, К. А. Алієва, Н. Б. Хакочевга. К.: Ніка-Центр, 2001. 392 с.
8. Ткачук С. Г. Гідравліка. Гідрологія. Гідрометрія: підручник. Київ: Кафедра, 2013. 392 с.

RESEARCH THE INFLUENCE OF THE TRANSFORMATION OF RIVERBED CONSUMPTION ON THE SIZE OF GENERAL WASHOUT

Bashkevych Iryna V. Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Department of Bridges and Tunnels, Assistant, e-mail: iv.bashkevych@gmail.com, +380509292285, <https://orcid.org/0000-0001-7640-4317>

Solodky Serhiy Yo. Doctor of Technical Sciences, Professor, Lviv Polytechnic National University, Head of the Department of Motor Roads and Bridges, e-mail: s.solodky@ukr.net, tel. +380322582517, <https://orcid.org/0000-0001-9829-5123>

Summary. The design of bridge crossings involves the long-term prediction of the overall erosion of bridges over many years, but its widespread implementation is hampered by the lack of theoretical substantiation of some basic principles. In particular a method for determining residual erosion from previous floods.

Keywords: bridge crossing, channel deformations, general washout, residual washout.

References

1. DBN V.2.3-22:2009 Mosti ta trubi. Osnovni vimogi proektuvannya. K.: Minregionbud Ukraini, 2009. 367 s.
2. Andreev O.V. Proektirovanie mostovykh perekhodov. M.: Transport, 1980. 215 s.
3. Luchsheva A.A. Prakticheskaya gidrometriya. L.: Gidrometeoizdat, 1972. 380 s.
4. Tkachuk S. G. Prognozuvannya rusloviy deformacij na mostovih perekhodah. CHastina 3 i 4. K.: Redakcijnno-vydavnicij viddil NTU, 2004. 98 s.
5. Vishnevskij V. I., Kosovec' O.O. Gidrologichni harakteristiki richok Ukraini. Kiiv: Nika-Centr, 2003. 324 s.
6. Mali richki Ukraini: Dovidnik za red. A. V. YAcika. K.: Urozhaj, 1991. 296 s.
7. Palamarchuk M. M. Vodnij fond Ukraini: Dovidnikovij posibnik za red. V. M. Horeva, K. A. Alieva, N. B. Hakochevga. K.: Nika-Centr, 2001. 392 s.
8. Tkachuk S. G. Gidravlika. Gidrologiya. Gidrometriya: pidruchnik. Kiiv: Kafedra, 2013. 392 s.

DETERMINATION OF TRAFFIC INTENSITY AND COMPOSITION OF TRAFFIC ON PUBLIC HIGHWAYS

ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ ТА СКЛАДУ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ



Gameliak Ihor Pavlovych - Doctor of Engineering Science, Professor, National Transport University, Professor of Airports Department,
e-mail: gip65n@gmail.com, tel. +380503524124,

<https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>



Raykovsky Vitaliy Frantsevich, Postgraduate Student of the National Transport University, Head of the Sector of Scientific and Technical Support of the Department of Normative and Technological Support of Road Works, SE DerzhdorNDI,
e-mail: v.raykovskiy@ukr.net, tel. +30982846899

<https://orcid.org/0000-0002-6391-7647>

Summary. The paper presents materials for determining the traffic volume and composition of traffic flow on a public highways network which will provide a reliable assessment of the traffic volume and composition of the traffic flow and will ensure that the actual traffic volume values fall within a specified range of values with a given probability.

Probabilistic estimation of traffic flow volume is constructed which allows providing the actual traffic volume values in a certain range with a given probability and obtaining a reliable basis for planning the new construction, reconstruction, repair and maintenance of highways throughout the entire road network.

Keywords. Highway, traffic intensity, traffic volume, traffic flow, traffic composition, vehicles, reduction ratio.

Introduction. Traffic volume of traffic flows is an essential element for justification of works on design, new construction, reconstruction, repair and operating maintenance of highways. Its values are considered while choosing the rational options for traffic management and in resolving other issues of design and planning of roads development.

Analysis of the current situation. Usually for these purposes, the determined estimate of the number of vehicles on the site over a certain period of time is used. But, in essence, traffic volume is a random variable which can vary widely for one section. This is confirmed by the coefficients listed in the Methods M 218-05416892-409:2004 "Methods of economic research for the design of roads", according to which even the average daily number of vehicle driving on the highway section depending on the day of week and time of year can vary in 2, 3, 4 times. Thus, the dispersion of the average value is much smaller than the variance of the random variable, in essence, i.e. the traffic volume. Therefore, the specific values of average daily traffic volume fluctuate much more widely.

Given the fact that any specific value of traffic volume depends mainly on the way of its obtaining, it is clear that the point estimate of traffic volume of traffic flows is insufficient for a complete description of traffic flow on the highway section. Additional proof of this is the value of the linear correlation coefficient between actual traffic volume of the average daily flow of vehicles in 2006 and 2011, which is only 56,6%.

Since this measure eliminates the factors of traffic volume growth, such value indicates a very low level of compliance of traffic flows at different times for the same highway sections.

In these conditions, it is possible to ensure the reliability of forecast value traffic flows only through probabilistic estimates based on study type and parameters of the distribution of the random variable depending on its mean.

Building a probabilistic assessment of traffic flows volume will guarantee the actual traffic volume values in a certain range with a certain probability which will provide a solid basis for planning the new construction, reconstruction, repair and operating maintenance of roads throughout the network of public roads.

Materials and Methods. Currently in Ukraine, there is no procedure at the regulatory level of reducing the visual short time recording to the average daily traffic volume value.

The method proposed in state building norms B.V.2-3-4 DBN has a large error and is 30-60%.

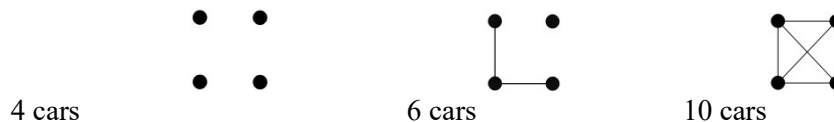
The researchers of an Information-Analytical Department of SE "Ukrdiprodor" proposed the the technique of reducing the short time visual recording (starting with one hour) to the average annual daily traffic volume value using the data obtained from the counters of automatic recording of traffic installed the state highways of Ukraine in the amount of 220 pieces.

According to the counter's data which has been in operation for one year, 1,200 factors were received that account for the month, day, hour registration and vehicle type according to the international classification of "Euro 6", through which you can get the average daily annual traffic volume, both by type and by the flow of vehicles. Current number of the counters provides an adequate situation regarding the traffic volume during the year and covers 40% of the road network.

Also, such counters provide data on the speed distribution of vehicles and their length.

The procedure of determining the short-term traffic volume

1. For the definition of traffic volume (traffic flow composition) the Form for the record of vehicles must be filled: Figure 1 - road name, location of the recorder (km + m), date, day of week, time of observation start-up, (fig. 1).
2. After finishing the observation the time and duration of counting should be recorded.
3. For counting traffic volume, only one person is sufficient and in the case of heavy traffic on roads with four or more lanes - two people should be provided.
4. When making stationary counting, the vehicles in direct and reverse directions should be considered. During the counting from the moving car - only opposing vehicles including those standing on the roadside should be counted.
5. For ease of recording, the symbols (dots and dashes "of the closed envelope") are used, each of which displays 10 vehicles "the example is shown in Fig. 1 "
- 6.



Note: ● or - corresponds to 1 car

Figure 1 – Legend for counting traffic volume.

Рисунок 1 – Умовні позначення для підрахунку інтенсивності руху

7. After completion of the observation, the total number of cars during the period of observation (if necessary determination of traffic composition, traffic volume are recorded separately by type of vehicles and determine their percentage) is counted. Traffic per day (N_{day}) is calculated as follows (1):

$$N_{day} = \frac{N_{hour}}{K_1 \cdot \sum K_3}, \quad (1)$$

where N_{hour} - traffic volume for 1 hour, cars / hour;

K_1 – Change in traffic volume by the months of the year, table 2;

K_3 – Change in traffic volume by hours of the day and by days of the week, table 2.

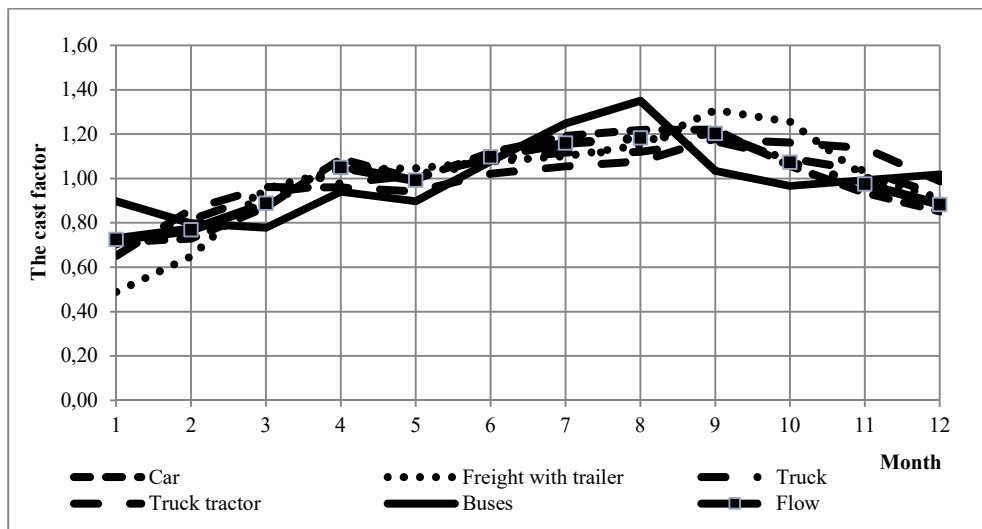
8. Determining the average daily traffic volume is performed in-office using the orrection factors K_1 and K_3 , To ensure that the measurement error does not exceed 5%, the measurement should be carried out within two hours, [7].

a speed of traffic flow) - only opposing vehicles are counted, including those standing on the roadside.

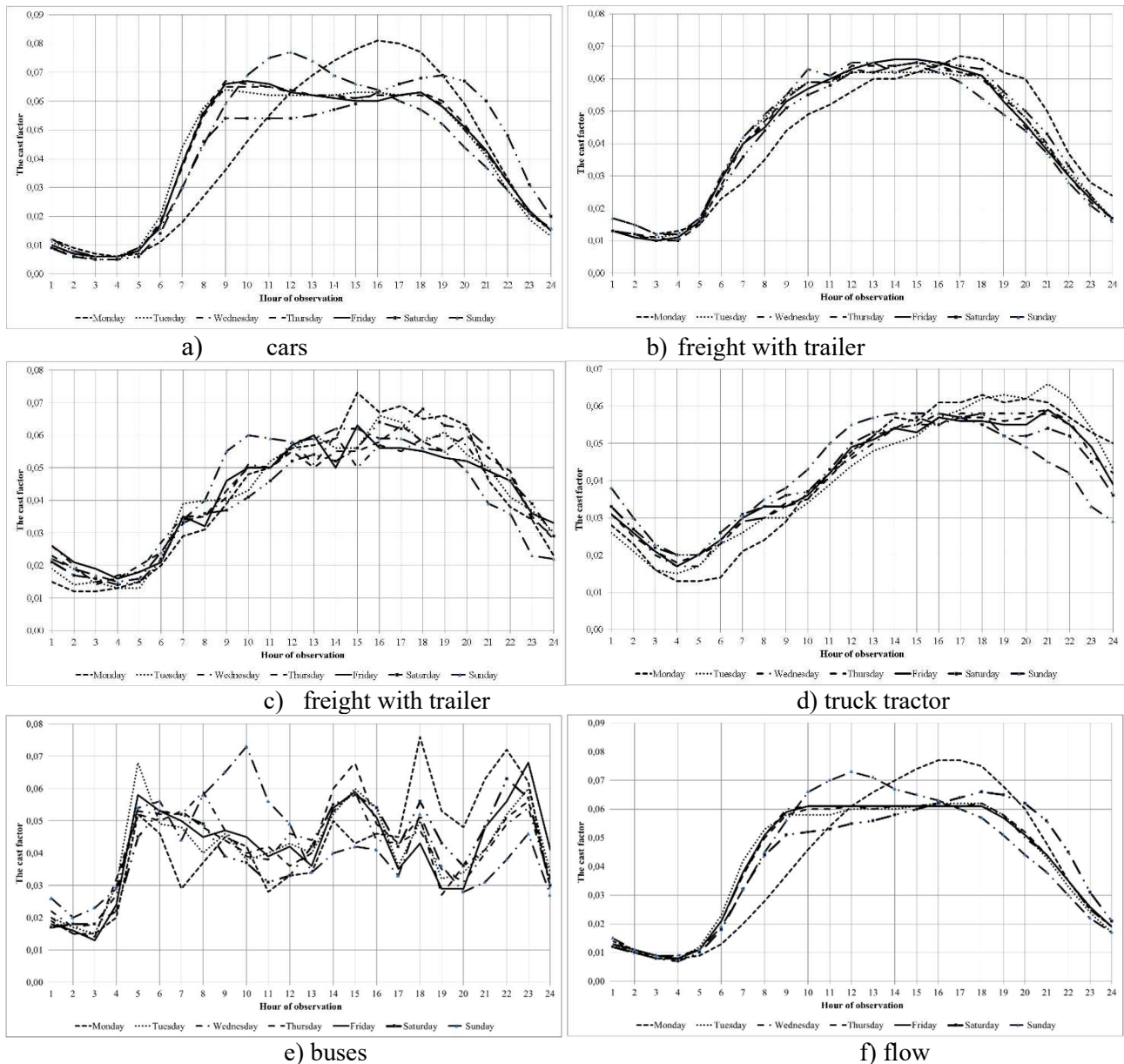
[illegible]

Figure 2 – Form of a visual recording of road vehicles
Рисунок 2 – Бланк візуального обліку дорожніх транспортних засобів

In Fig. 3 – shows an example of graphical change in reduction coefficients K_1 and K_3 for the data from the counters of automatic recording of vehicles movement on the road H-07 Kyiv – Sumy – Yunakivka (direction to Kursk), km - 77, Nova Basan.



a) K_1 – change in monthly reduction coefficients
a) K_1 – зміна місячних коефіцієнтів приведення



b) K_3 - change in hourly coefficients by weekdays
б) K_3 – зміна годинних коефіцієнтів по днях тижня
a) car, b) truck, c) freight with trailer d) truck tractor, e) buses, f) flow

Figure 3 – Change in the reduction coefficients K_1 and K_2 for the data obtained from the counters of automatic recording of vehicles movement on the road H-07 Kyiv – Sumy – Yunakivka (direction to Kursk), km – 77, Nova Basan

Рисунок 3 – Зміна коефіцієнтів приведення K_1 та K_2 для даних отриманих з лічильника автоматичного обліку руху транспортних засобів на автомобільній дорозі H-07 Київ – Суми – Юнаківка (на Курськ), км – 77, Нова Басань

The conclusions on the variation coefficients calculated on the average annual daily traffic volume can be drawn from the table, where, as an example, the data processing results for the road H-07 Kyiv – Sumy – Yunakivka km – 77, village Nova Basan , Chernihiv region, are given.

Table 1 – The results of determination of the spread of conversion factors for the road H-07 Kyiv – Sumy– Yunakivka km 77, village Nova Basan, Chernihiv region

Таблиця 1 – Результати визначення розкиду коефіцієнтів перерахунку для а/д Н-07 Київ – Суми – Юнаківка, км 77 с. Нова Босань, Чернігівська обл

Characteristics of the analysis reduction coefficients			Unclassified	Cars	Freight with trailer	Truck	Truck tractor	Buses	Flow
K_I	Monthly	<i>Mean</i>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		σ	0,19	0,20	0,39	0,11	0,20	0,27	0,18
		C_V	0,19	0,20	0,39	0,11	0,20	0,27	0,18
K_3	Cars	<i>Mean</i>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
		σ	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03
		C_V	0,81	0,60	0,59	0,60	0,58	0,66	0,66
	Truck with trailer	<i>Mean</i>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
		σ	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
		C_V	0,58	0,50	0,51	0,50	0,49	0,49	0,54
	Truck tractors	<i>Mean</i>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
		σ	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
		C_V	0,40	0,34	0,32	0,31	0,29	0,32	0,29
	Buses	<i>Mean</i>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
		σ	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04
		C_V	0,92	0,87	1,02	0,83	0,83	0,85	0,96
	Vehicles flow	<i>Mean</i>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
		σ	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
		C_V	0,77	0,55	0,53	0,54	0,53	0,60	0,63

Note, *Mean* - the average value; σ - squared deviation (standard); C_V - coefficient of variation,

Table 2 – Conversion factors for average annual daily traffic volume M-19 Domanove-Kovel - Chernivtsi - Terebleche, 320 km exit for Lutsk

Таблиця 2 – Коефіцієнти перерахунку на середньорічну добову інтенсивність руху М-19 Доманове-Ковель-Чернівці-Тереблече, км 320 виїзд на Луцьк

Monthly (K_I)							
Month	Coefficient of transition						Flow
	Non-classified vehicles	Cars	Freight with trailers	Trucks	Truck tractors	Buses	
January	0,70	0,91	0,59	0,84	0,83	1,47	0,89
February	0,38	0,23	0,12	0,26	0,26	0,38	0,24
March	1,21	1,04	1,12	1,04	1,02	0,13	1,04
April	1,25	1,04	1,08	0,95	0,96	0,18	1,02
May	0,84	1,05	1,12	1,08	1,06	0,24	1,06
June	1,18	1,13	1,15	1,23	1,24	0,21	1,16
July	1,32	1,20	1,28	1,19	1,22	0,17	1,20
August	1,34	1,16	1,25	1,14	1,21	0,33	1,15
September	1,19	1,15	1,09	1,08	1,05	2,63	1,13
October	0,89	1,11	1,17	1,12	1,10	2,49	1,11
November	0,95	1,01	1,00	1,07	1,05	1,98	1,03
December	0,76	0,98	1,03	1,01	0,99	1,79	0,99

	Hourly (K_3) Cars						
	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
000-100	0,007	0,005	0,006	0,007	0,006	0,009	0,010
100-200	0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,007	0,009
200-300	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,006	0,008
300-400	0,005	0,007	0,003	0,004	0,004	0,005	0,012
400-500	0,010	0,011	0,005	0,005	0,005	0,007	0,019
500-600	0,030	0,028	0,009	0,012	0,011	0,015	0,025
600-700	0,052	0,046	0,026	0,031	0,026	0,030	0,032
700-800	0,063	0,062	0,053	0,055	0,050	0,045	0,042
800-900	0,070	0,071	0,065	0,068	0,060	0,056	0,052
900-1000	0,070	0,072	0,073	0,073	0,065	0,064	0,060
1000-1100	0,071	0,072	0,076	0,073	0,070	0,070	0,071
1100-1200	0,070	0,070	0,073	0,072	0,072	0,073	0,083
1200-1300	0,070	0,072	0,072	0,073	0,072	0,077	0,093
1300-1400	0,070	0,073	0,077	0,075	0,076	0,078	0,087
1400-1500	0,069	0,074	0,076	0,079	0,079	0,083	0,071
1500-1600	0,069	0,071	0,074	0,076	0,081	0,079	0,068
1600-1700	0,066	0,069	0,076	0,070	0,078	0,072	0,066
1700-1800	0,059	0,042	0,068	0,067	0,070	0,060	0,056
1800-1900	0,046	0,052	0,055	0,054	0,056	0,047	0,045
1900-2000	0,034	0,035	0,039	0,038	0,041	0,036	0,033
2000-2100	0,024	0,024	0,026	0,025	0,027	0,028	0,023
2100-2200	0,017	0,016	0,018	0,016	0,019	0,021	0,016
2200-2300	0,012	0,011	0,012	0,012	0,013	0,016	0,012
2300-2400	0,008	0,008	0,009	0,009	0,010	0,014	0,008

	Hourly (K_3) Truck tractors						
	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
000-100	0,008	0,011	0,016	0,011	0,012	0,017	0,019
100-200	0,008	0,009	0,009	0,009	0,010	0,012	0,020
200-300	0,009	0,009	0,008	0,008	0,010	0,011	0,014
300-400	0,013	0,011	0,012	0,010	0,009	0,010	0,016
400-500	0,014	0,015	0,010	0,010	0,010	0,015	0,018
500-600	0,021	0,024	0,018	0,014	0,014	0,017	0,018
600-700	0,031	0,034	0,024	0,027	0,027	0,028	0,018
700-800	0,043	0,039	0,035	0,035	0,039	0,038	0,036
800-900	0,044	0,047	0,040	0,051	0,041	0,052	0,040
900-1000	0,056	0,055	0,048	0,055	0,052	0,064	0,041
1000-1100	0,061	0,062	0,064	0,058	0,060	0,067	0,050
1100-1200	0,065	0,068	0,066	0,070	0,065	0,076	0,065
1200-1300	0,066	0,064	0,069	0,067	0,064	0,081	0,074
1300-1400	0,070	0,068	0,072	0,067	0,066	0,082	0,074
1400-1500	0,077	0,072	0,061	0,070	0,072	0,077	0,064
1500-1600	0,077	0,074	0,083	0,072	0,076	0,072	0,057
1600-1700	0,076	0,072	0,079	0,067	0,078	0,066	0,054
1700-1800	0,073	0,047	0,067	0,075	0,080	0,056	0,058
1800-1900	0,057	0,066	0,065	0,062	0,067	0,043	0,048
1900-2000	0,043	0,049	0,052	0,051	0,049	0,035	0,060

2000-2100	0,032	0,036	0,039	0,043	0,038	0,028	0,045
2100-2200	0,027	0,031	0,028	0,033	0,029	0,022	0,044
2200-2300	0,018	0,024	0,020	0,022	0,018	0,020	0,036
2300-2400	0,015	0,014	0,015	0,016	0,015	0,011	0,029

	Hourly (K_3) Flow						
	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
	0,006	0,006	0,007	0,007	0,006	0,009	0,010
000-100	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,008	0,009
100-200	0,004	0,005	0,005	0,004	0,004	0,006	0,010
200-300	0,006	0,008	0,005	0,005	0,005	0,006	0,013
300-400	0,012	0,014	0,006	0,007	0,007	0,010	0,020
400-500	0,031	0,028	0,011	0,016	0,013	0,018	0,026
500-600	0,051	0,045	0,027	0,033	0,028	0,033	0,034
600-700	0,062	0,060	0,050	0,053	0,048	0,046	0,044
700-800	0,069	0,068	0,062	0,066	0,058	0,057	0,052
800-900	0,071	0,071	0,071	0,071	0,065	0,065	0,058
900-1000	0,072	0,071	0,076	0,073	0,070	0,070	0,068
1000-1100	0,071	0,070	0,073	0,072	0,071	0,072	0,081
1100-1200	0,071	0,072	0,072	0,071	0,071	0,076	0,091
1200-1300	0,070	0,073	0,076	0,073	0,076	0,077	0,084
1300-1400	0,070	0,074	0,076	0,078	0,081	0,083	0,071
1400-1500	0,069	0,072	0,076	0,077	0,082	0,079	0,068
1500-1600	0,066	0,069	0,077	0,071	0,079	0,071	0,066
1600-1700	0,058	0,042	0,068	0,066	0,069	0,059	0,057
1700-1800	0,045	0,053	0,055	0,053	0,056	0,047	0,046
1800-1900	0,032	0,035	0,039	0,038	0,041	0,036	0,034
1900-2000	0,023	0,023	0,026	0,025	0,026	0,026	0,022
2000-2100	0,016	0,016	0,017	0,016	0,018	0,019	0,015
2100-2200	0,012	0,011	0,013	0,011	0,012	0,015	0,011
2200-2300	0,009	0,008	0,010	0,009	0,010	0,012	0,008
2300-2400							

Composition of traffic flow is determined by the formula

$$N_{\text{type transp}} = \frac{N_i}{N_{\text{total}}} \cdot 100, \quad (2)$$

where $N_{\text{type transp}}$ - the percentage of a certain type of vehicles as part of the traffic, %;

N_i - the number of i- vehicles, of the calculated types (cars, buses, trucks, etc.) on the current section, car / day;

N_{total} - the total number of vehicles on the current section, car / day.

Changes in the composition of traffic flow year years are defined by the formula

$$N_{\text{inc}} = \frac{N_i}{N_{i-1}}, \quad (3)$$

where N_{inc} - increment factors by the type of i-vehicles, relative to the previous year;

N_i % - the number of i-vehicles of the calculated type (cars, buses, trucks, etc.) for the current year, %;

N_{i-1} - the number i-vehicles of the calculated type (cars, buses, trucks, etc.) for the previous year,%.
Change in the composition of traffic before the initial year of observation was defined by the formula

$$N_{\Delta inc} = \frac{N_i}{N_{base_year}}, \quad (4)$$

where: $N_{\Delta inc}$ - increment factors by the type of i-vehicles, relative to the base (initial) year;

N_i - the number of i-vehicles of the calculated type (cars, buses, trucks, etc.) for the current year,%;

N_{base_year} - the number of i-vehicles of the calculated type (cars, buses, trucks, etc.) for the base (initial) year, %.

These materials have been used as a basis for the development of DSTU 8824: 2019 Definition of traffic volume and traffic flow composition on public roads.

As an example, the analysis of changes in traffic volume and composition of traffic flow for the road M-14 Odessa – Melitopol – Novoazovsk for the period of 2005-2017 years was performed (Fig. 4 - 5).

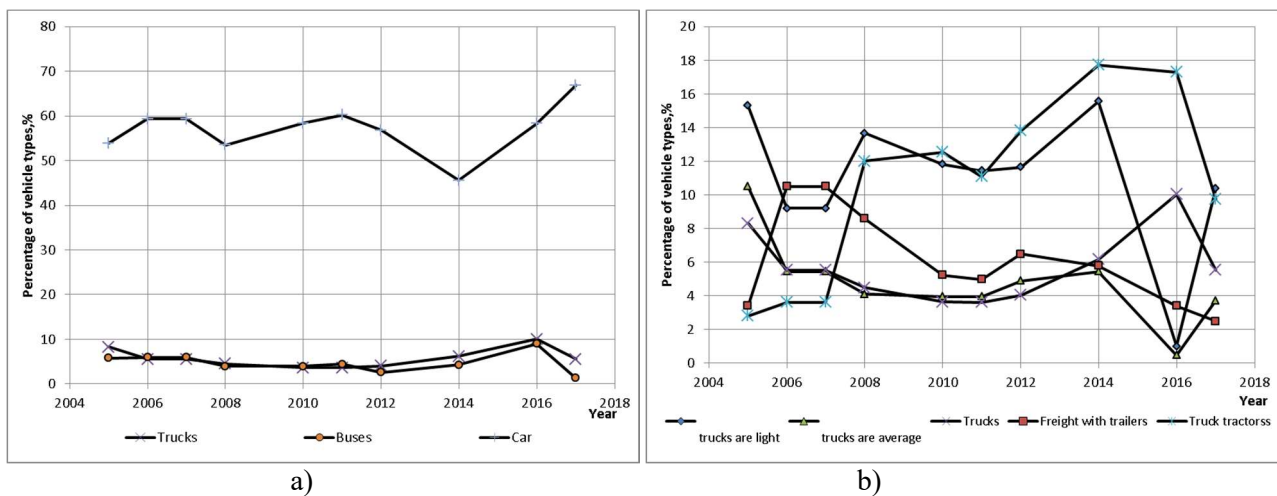


Figure 4 – Changes in the composition of cars and buses (a) different types of freight vehicles in % by years on the road Odesa – Melitopol – Novoazovsk (direction to the city of Taganrog) 94 km – 128

Рисунок 4 – Зміна складу легкових авто, та автобусів (а) та різних типів вантажних ТЗ % по роках на автомобільній дорозі М-14 Одеса – Миколаїв – Новоазовськ (на м. Таганрог) км. 94 – 128

At various points in the structure of the fleet is changing accounting nonuniformly and with different specifics. The number of cars near large cities is growing. Constantly increasing percentage of tractors with semitrailers is observed.

According to the analysis of recording traffic volume on the highway M-14 it was found that the change in traffic growth does not comply with the law of geometric progression as adopted today in the design works (Fig. 5) and often is chaotic. The reasons lie in the shortcomings of a visual method of traffic recording, the complexity of the process of political and economic instability of the state, the impact of the occupation of the Eastern territory of Ukraine by the Russian mercenaries.

Fig. 5 a - d provide more detailed data on the changes in the traffic volume increment rate relative to the intensity of the first year of operation for the selected type of vehicles at different points of observation,

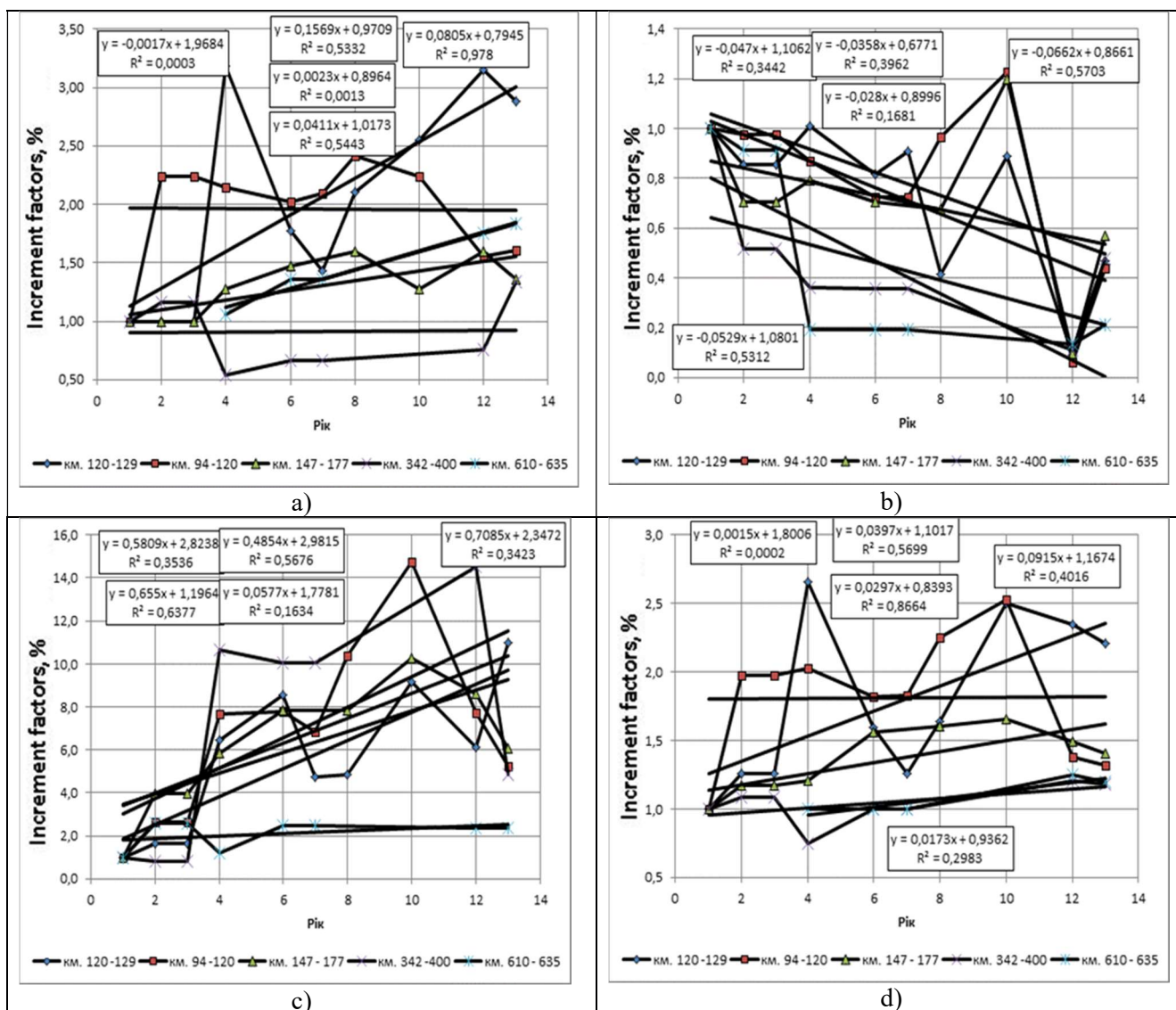


Figure 5 – Change in the traffic volume increment rate over the period of 2005-2017 years: a) cars; b) freight medium vehicles; c) trucks with semitrailer (truck tractor); d) vehicles flow
 Рисунок 5 – Зміна приросту інтенсивності за період 2005-2017 роки: а) легкових автомобілів; б) вантажних середніх; в) вантажних автомобілів з напівпричепом (сідельний тягач); г) потоку ТЗ

For defining the average daily traffic volume, it is of more appropriate to use such a linear dependence

$$N_{lin(t)} = N_0 (1 + a(t-1)), \quad (5)$$

where N_0 - daily annual traffic volume during the first year of operation;
 a - an annual traffic volume increment rate.

Major changes have occurred in the structure of traffic due to the dramatically growing tractors with semitrailers which destroy pavement most of all. Growth the increment rate is up to 15 times! For trucks with semitrailers (road tractor) there is almost a linear relationship type $K_{sp} = a \cdot t + b$, increase in traffic volume with the annual increment rate of $a = 0,057$ to km 610 - 635 and a maximum of $a = 0,708$ to km 120 - 129 of intermediate values of $a = 0,484$ to $0,655$ for other regions.

For practical use in calculating prospective traffic (number of axles for clearing application for the period of operation, it is expedient to use the linear regression according to the formula (5) with the increment rate for tractors with semitrailers $a = 0,15$ for 610 km - 635 close to the boundary line in Donetsk region and $a = 0,5$ km 147 - 177 and maximally $a = 0,75$ and for other areas - (km 120 - 129).

Conclusions and Recommendations. The basic laws of traffic modes change on the roads of Ukraine at the present stage of roads development have been defined. Transition factors from the specified hourly traffic

volume to daily, weekly and annual average values that can be used in determining traffic volume on the roads of Ukraine have been specified.

We need to renew and expand the practice of recording the traffic volume not only on the routes of international transport corridors, but also on the local road network using modern advances in this field abroad. The developed technique allows specifying the parameters of traffic load and defining the calculated values of the required reliability in the design of pavement structures for strength and durability.

Based on the findings, the State Standard DSTU 8824:2019 Definition of traffic volume and traffic flow composition on public roads was developed.

References

1. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna 1. Proektuvannia. Chastyna 2. Budivnytstvo.
2. DSTU 3587:97 Bezpeka dorozhnoho rukhu. Avtomobilni dorohy, vulytsi ta zaliznychni pereizdy. Vymohy do ekspluatatsiinoho stanu (perehliadaetsia)
3. DSTU 8824:2019 «Avtomobilni dorohy. Vyznachennia intensyvnosti rukhu ta skladu transportnoho potoku
4. HBN V.2.3-37641918-559:2019 Dorozhnii odiah nezhorstkyi. Proektuvannia
5. SOU 45.2-00018112-042:2009 Avtomobilni dorohy. Vyznachennia transportno-ekspluatatsiinykh pokaznykiv dorozhnikh odiahiv
6. M 218-05416892-409-2004 Metodyka ekonomichnykh vyshukuvan dla proektuvannia avtomobilnykh dorih
7. Hameliak I.P., Raikovskiy V.F. Analiz zminy koefitsientiv pryrostu intensyvnosti transportnykh zasobiv v chasi dla avtomobilnykh dorih Ukrainy // Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. K.: NTU, Vyp. 94, Naukovo – tekhnichniy zbirnyk, 2015. – S. 226 – 238.

ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ ТА СКЛАДУ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

Гамеляк Ігор Павлович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри аеропортів, Національний транспортний університет, e-mail: gip65n@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>, тел. +380503524124

Райковський Віталій Францевич, аспірант Національного транспортного університету, Завідувач сектору науково-технічного супроводу відділу нормативно-технологічного забезпечення дорожніх робіт ДП "ДерждорНДІ", e-mail: v.raykovskiy@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6391-7647>, тел. +30982846899.

Анотація. В роботі приведені матеріали для визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку на мережі автомобільних доріг загального користування, що забезпечуватиме достовірну оцінку інтенсивності та складу потоку та гарантуватиме потрапляння фактичних значень інтенсивності у визначений діапазон значень із заданою ймовірністю.

Побудована ймовірнісна оцінка інтенсивності транспортних потоків, що дозволяє гарантувати фактичні значення інтенсивності у визначеному діапазоні із заданою ймовірністю, отримати надійну основу для планування нового будівництва, реконструкції, ремонту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг на всій мережі автомобільних доріг загального користування.

Ключові слова. Автомобільна дорога, інтенсивність, коефіцієнт приведення, склад руху, транспортні засоби, транспортний потік.

Перелік посилань

1. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина 1. Проектування. Частина 2. Будівництво.
2. ДСТУ 3587:97 Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану (переглядається).
3. ДСТУ 8824:2019 «Автомобільні дороги. Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку
4. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Дорожній одяг нежорсткий. Проектування.
5. СОУ 45.2-00018112-042:2009 Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх одягів.
6. М 218-05416892-409-2004 Методика економічних вишукувань для проектування автомобільних доріг
7. Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. Аналіз зміни коефіцієнтів приросту інтенсивності транспортних засобів в часі для автомобільних доріг України // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. К.: НТУ, Вип. 94, Науково – технічний збірник, 2015. – С. 226 – 238.

MATHEMATICAL APPROACH TO ESTIMATION OF THE STABILIZING EFFECT OF GEOSYNTHETIC FLOATS FOR THE STABILITY OF HANDS

МАТЕМАТИЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ СТАБІЛІЗУЮЧОГО ЕФЕКТУ ГЕОСИНТЕТИЧНИХ ПРОШАРКІВ ДЛЯ СТІЙКОСТІ УКОСІВ



Dahoua Lamri, 19 City Mohamed Benbeguag, Sétif, 19000, Algérie.

<https://orcid.org/0000-0002-9007-9394>



Savenko Viacheslav Y., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of Department, Department of Transport Construction and Property Management

<http://orcid.org/0000-0001-8174-7728>



Riheb Hadji, PhD. Department of Earth Sciences, Ferhat Abbas University of Setif

<http://orcid.org/0000-0002-9632-0812>

Abstract: The change of the boundary conditions is the main responsible for the slopes equilibrium disturbance, and mass wasting. Under normal climatic conditions, unconsolidated dry grains remain stable for a given internal friction angle. This angle increases if the soil is slightly moistened, since the surface tension between the water and the soil particles tends to fix the grains. During intense precipitation or snow clearing, water infiltration causes a reduction in the values of the friction angle (ϕ') and the cohesion (c') of the grains, which threatens the stability of the slope, this latter is accentuated by vibrations, where liquefaction of the soil occurs. Supported by the decline of the resistance to inter granular friction, the fall of the mechanical characteristics of the soil will lead to the translation of the Mohr circle towards a rupture envelope curve. The incorporation of geotextile sheets can improve the stability of road embankments. This exerts stabilizing forces opposing the forces disturbing the slope equilibrium. These forces are not taken into account by the Bishop method, which is based on a good number of software such as Geostudio / slope. Our work consists in developing a mathematical approach to: introducing variable values of (c') and (ϕ') into the rupture criterion to take into account water infiltration, introducing a new parameter (F_s) to take account of the effect of the seismic stresses, introducing a force (r) to take account of the infiltrated water portion. Finally, stabilizing forces generated by the introduction of géosynthetic sheets (Geo) are engaged in the polygon of the Bishop forces. The

result shows that the action of water is the main disruptive force of the slope and the action of the geotextiles is the main stabilizing force.

Key words: internal friction angle, cohesion, geosynthetics, slope stability, Bishop's method.

Problem statement: Shifts in the soil among geodynamic phenomena are the most common and most serious on the surface of the earth. They cause a natural and continuous change in the relief and occur, as a rule, either unexpectedly, especially during earthquakes, and / or during intense periods of rains with prolonged precipitation and the combined action of geological factors of different geomorphology. The state of the problem in the field of equilibrium of the slopes is quite developed in the world [1, 2, 3] and a little less in Algeria [4, 5]. There is a distinction between structural instability and geotechnical. The first form occurs in arrays at low voltages in well-developed geological structures. They are induced from geological breaks arising from the effect of their own weight of materials as a result of seismic actions or human activity [6]. The second kind arises due to excessive stresses in the soil massif [7, 8]. Methods for studying the instability of rocks are also empirical in classification [9] (Bieniawski, 1993). Methods of calculating the stability of slopes: analytical [10, 11]; digital [12] and, more recently, geomechanical [13]. For soils, methods are based on the calculation of limiting equilibrium (Bishop, Fellenius, Yambo, Morgenstern-Price, Spencer et al.) Are the most commonly used [14]. Comparison of the safety coefficients of different methods for calculating the stability of the slopes advances the Bishop method as the most favorable for the use of the mathematical approach (Figure 1) when calculating the safety coefficient for a natural slope, subject to destructive effects, the presence of groundwater and stabilization by introducing geotextile layers.

In accordance with the simplified and strict Bishop method, effective stresses depend on the water level in the soil, which also corresponds to the Terzaghi assumption: $\sigma' = \sigma - u$ (without compaction) [14].

What is not obvious, since the pore pressure may increase due to overload caused by suction during draining of the soil; The principle of Terzaghi was changed by Bishop, who obtained the equation:

$$(\sigma' = \sigma - U_a + \chi \cdot (U_a - U_w)); \quad (1)$$

where χ - is the coefficient depending on the shear forces or consolidation, and σ , U_a and U_w , respectively, are the general stress tensor, air pressure and water pressure, and $S = (U_a - U_w)$ is absorption [15] (Figure 1). Tensors of stress are expressed in the form of vectors of six components. In our approach, the soil particles and the liquid are incompressible, and the air pressure is assumed to be the same as atmospheric pressure: $U_a = P_t$.

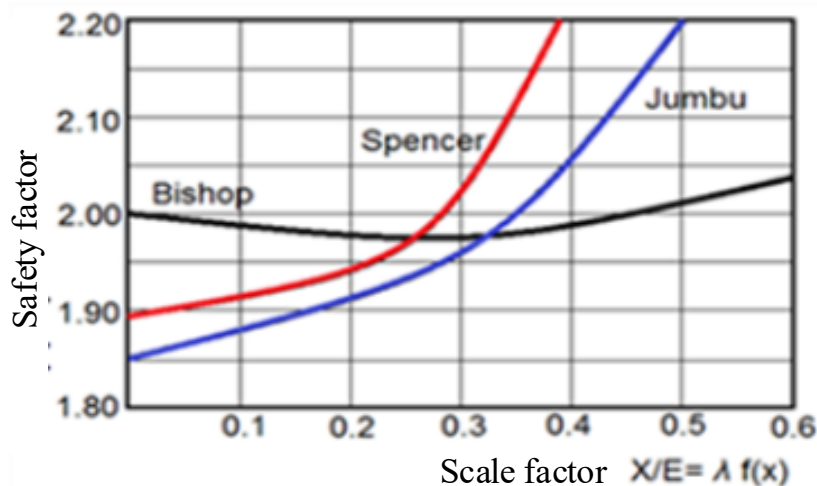


Figure 1 – Comparison of the safety coefficients of the three methods of limiting equilibrium.

Рисунок 1 – Порівняння коефіцієнтів безпеки трьох методів обмеження рівноваги.

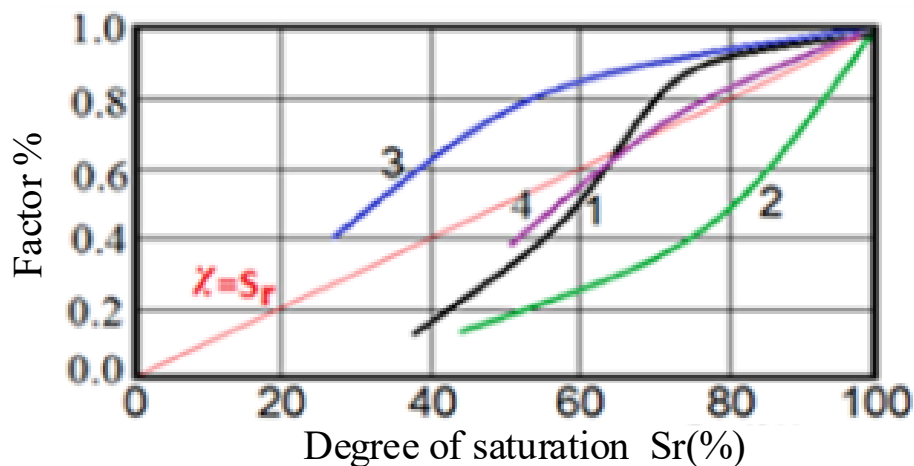


Figure 2 – Development of the coefficient χ depending on the degree of saturation:
 1: Sealed clay; 2: Dusty loam; 3: Light loam; 4: White clay
 At the first stage, this assumption will be used in our approach.

Рисунок 2 – Розробка коефіцієнта χ в залежності від ступеня насичення:
 1: Герметична глина; 2: Пильний суглинок; 3: Легкий суглинок; 4: Біла глина
 На першому етапі це припущення буде використано в нашому підході.

2. Methodology: The method consists in introducing the values of the variables (c') and (ϕ') into the break criterion of the Mora-Coulomb law, the new parameter (F_s) for mapping the influence of seismic loads, the force (r) in the polygon of the Bishop forces for displaying the proportion of infiltration water and force (Geo) generated by the introduction of geosynthetic layers.

A- Influence of groundwater availability: Cyclical change in pore pressure, causes a significant reduction in the interaction forces in the soil, which can lead to a significant disturbance of the stressed state in the slope, even causing irreversible deformations. After a flood, melting snow, etc. a significant amount of infiltration water already seeping into the ground, as a rule, will be released from the slope by using the flow force of the next hyperbolic trajectory (related to the permeability of the medium) (Figure 3). This phenomenon was studied in the work of RICHARDS [16], its equation:

$$\text{Div}(k(p)\overrightarrow{\text{grad}}(\phi)) = c \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (2)$$

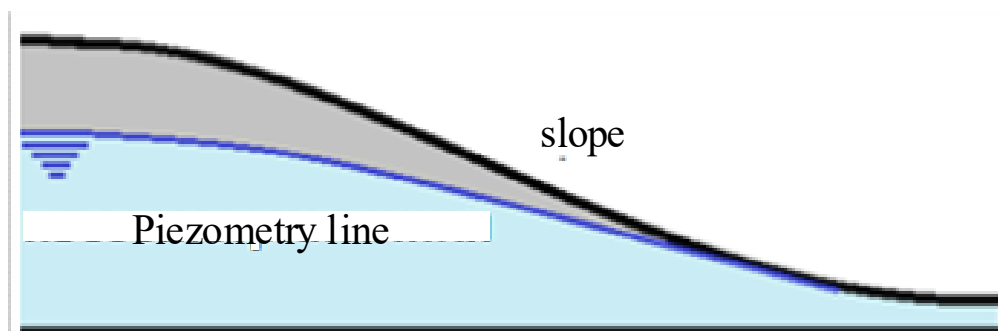


Figure 3 – The flow of groundwater in accordance with the Richards equation
 Рисунок 3 – Потік ґрунтових вод відповідно до рівняння Річардса

On the basis of the general theory of aquifers, the RICHARDS equation [16] and the DEPUIT equation [16] have two forces: the first arises from the groundwater pore pressure, the second is caused by the flow of seepage water (it can be decisive in provoking slip, especially if the flow direction coincides with the slope) [17]. However, do not neglect the decrease in shear resistance caused by the action of water along the sliding surface (Figure 4):

$$ra = \frac{\Delta M_e}{\Delta M_p} = \frac{\gamma_w}{\gamma} \cdot \frac{\sin \alpha \sin(\theta + \alpha)}{\cos \theta} \quad (3)$$

where: M_e is the shearing moment due to the strength of the flow, and M_p is the shear moment due to the weight.

According to the data of [18], this equation takes into account the action of the water flow in comparison with the intrinsic weight of the soil layer. The latter corresponds to certain values of α , and θ , (30 °, 60 °, respectively). The component $\frac{\gamma_w}{\gamma}$, is significant, especially when the values of γ and γ_w are close in value. FIILAT [19] proposed the law of the distribution of the water flow on the slope (this method gives the most satisfactory results and has less criticism of the researchers), which connects the shear forces, the normal effective stress and the shearing stress:

$$\sigma = \Sigma \gamma_i \cdot h_i \cdot \cos^2 \alpha (\lambda + \mu \cdot \tan \alpha), \quad (4)$$

where λ - is a compressibility.

Some methods for calculating the circular cylindrical slip surface make extensive use of this equation [20], in our approach we introduce the force of the water flow (r) directly into the Bishop's polygon diagram.

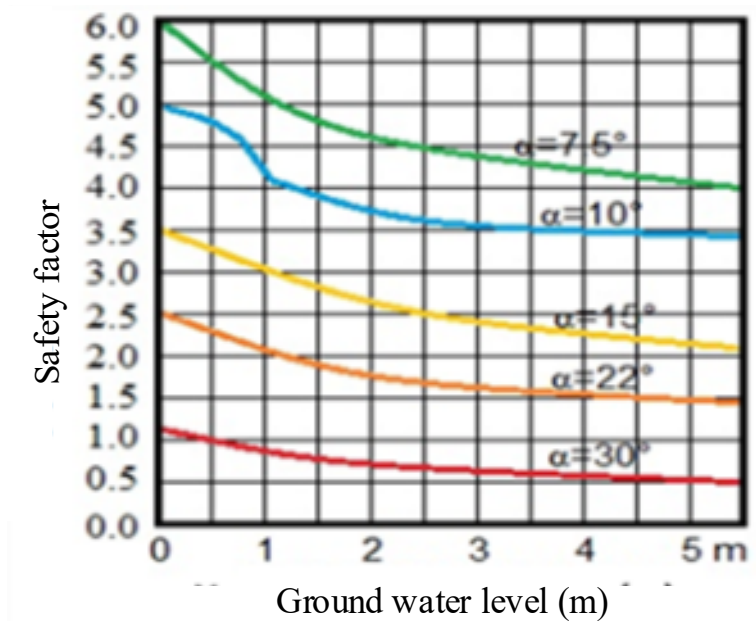


Figure 4 – The change in the safety factor (with different angles of inclination α) depending on the water table.

Рисунок 4 – Зміна коефіцієнта безпеки (з різними кутами нахилу α) залежно від стоку води.

B- Influence of seismic loading: Flowability is a direct result of seismic vibrations on the location of grains in the ground, these impacts are very harmful for stability. If the grain size curve of the soil sample is found in the category of medium and fine sand, with a uniformity coefficient $C_u = < 2$, then there are large risks of destruction. The potential for fluidity is defined in [21] as the ability of the soil to reach the limiting state under a seismic load. It depends on the type and initial state of the soil compaction (Figure 5).

$$CSR_{7.5} = \frac{\tau}{\sigma'_{v0}}, \quad (5)$$

where $CSR_{7.5}$ is the ratio of cyclic stresses for the magnitude of the earthquake readout $M = 7.5$ on the Richter scale:

$$CRR_{7.5} = 0.833 / (q \cdot c_{in}) \cdot 0.001 + 0.05 \quad (6)$$

$$F = CRR_{7.5} / CSR_{7.5} \quad (7)$$

where CRR7.5 - stresses to fluidity (for an earthquake of magnitude $M = 7.5$ on the Richter scale).

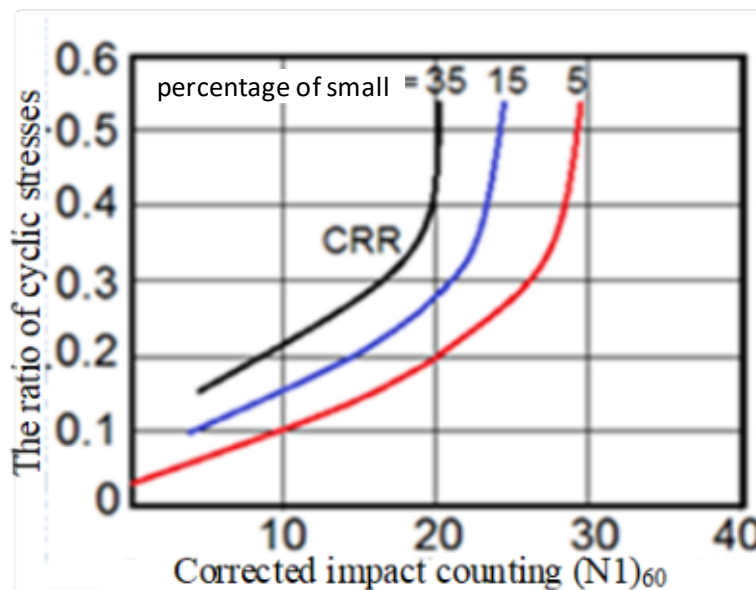


Figure 5 – Curves CSR7.5, depending on SPT and percentage of fine particles [20]

Рисунок 5 – Криві CSR7.5, залежно від SPT та відсотка дрібних частинок [20]

This indicator gives the ratio of the shear stress τ caused by seismic loads and effective geostatic stress (σ'_v), depending on the penetration resistance SPT of ISO 22476-3, ASTM D1586 [22].

At the bottom of the slope, the shear stress due to the earthquake is determined by the peak earthquake acceleration (a_h) (Swiss standards), and with the SEED reduction factor (r_d) [21].

$$\tau = 0.65 \cdot \frac{a_h}{g} \cdot \sigma'_v \cdot r_d \quad (8)$$

In the body of the slope it is expressed in terms of the maximum acceleration (a_g) of the active center of gravity of the layer [23].

$$\tau = 0.65 \cdot \frac{a_g}{g} \cdot \sigma'_v \quad (9)$$

The maximum accelerations (a_{max}) are determined by the sum of the spectral values of the acceleration (a_i), each spectrum of their reaction (ω_i) is corrected by the velocity of the effect (v_s) [24].

$$a_{max} = [(1.60x_{a1})^2 + (1.06x_{a2})^2 + (0.86x_{a3})^2]^{0.5} \quad (10)$$

$$\omega_i = c^{st} \frac{v_s}{h} P = \frac{2\pi}{\omega} \quad (11)$$

To replace the stresses by the acting forces:

- The horizontal force is the product of the average acceleration per block mass:

$$F_{horizontal} = a_{moy} \cdot m \quad (12)$$

- The vertical force connects the vertical component of the seismic acceleration to the block mass:

$$F_{verticale} = a_{vert} \cdot m \leftrightarrow F_{verticale} = 0.66 a_{horizontal} \cdot m \quad (13)$$

These two forces are used to use the mathematical approach in [25, 26].

C - Influence of water content on shallow grounds: The phenomenon of bond failure in undrained soils of undisturbed structure, and residual adhesion in finely dispersed saturated soils, was investigated using a shear device for measuring adhesion for water content variables (Table 1).

Table 1 – Changing the adhesion depending on the water content (measured by the Micro-Harvard)
Таблиця 1 – Зміна адгезії залежно від вмісту води (вимірюється мікро-Гарвардом)

Water content %	20	22	25	35	40	50	60
Cohesion in the soil of an undisturbed structure (kPa)	0.38	2.07	4.65	3.81	3.47	3.35	0.09
Residual grip (kPa)	0.19	0.77	1.33	1.30	1.28	1.20	0.09

The increase in adhesion, depending on the increase in water content, is observed with an upward curved threshold corresponding to 25% of humidity, then decreases to very dangerous values beyond 55% of humidity. The shape of this curve varies depending on the lithological composition of the soil [27, 28].

We can introduce this component directly into the Bishop breakdown criterion. The same observation applies to the change in the angle of internal friction (hence, in the Bishop method, we use the coefficient ($K\phi = 0.8$) and ($\phi' = \phi \cdot K\phi$.) Proceeding from this we obtain:

$$S = 1 / F (c' (w) \ell + N' \tan \phi' (w)). \quad (14)$$

D- Density analysis: Vulnerability of fine fractions to easy laying or washing out, affects the relative density of the soil, and varies with time, sometimes the density increases with compaction or consolidation, or decreases as a result of leaching or dissolving of fine fractions of the soil.

$$Dr = \frac{\gamma_d - \gamma_{dmin}}{\gamma_{dmax} - \gamma_{dmin}} \times \frac{\gamma_{dmax}}{\gamma_d} \quad (15)$$

We can introduce the term relative density directly in terms of mass:

$$(W = Dr \cdot h \cdot b \cdot l). \quad (16)$$

E-Geotextile interlayers: The introduction of geosynthetics (schematically as a line in the 2D section) can significantly improve the equilibrium state of the slope. With this layer position, only the tangential component ($G_{eo}X$) plays a role in equilibrium. The flexible characteristics of the interlayer do not affect the normal component (under compression).

3. The mathematical approach

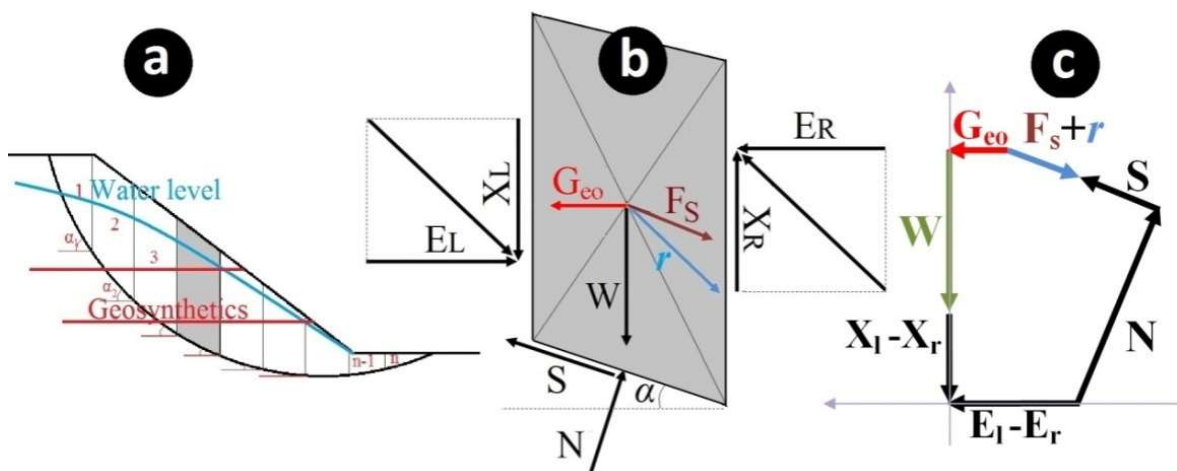


Figure 6 – a - Separation of the slope into blocks; b- Conditions of equilibrium; c is the Bishop's polygon.
Рисунок 6 – а - Поділ схилу на блоки; б - умови рівноваги; с - полігон єпископа.

X_L, X_R, E_L, E_R - vertical and horizontal forces between blocks; W is its own weight;
 S is the normal force; Geo - tensile forces in geotextiles, F - seismic forces;
 r is the force associated with the flow of groundwater; α is the angle of the base segment; θ is the angle between the line of the piezometric level and the horizontal.

The Coulomb-Mora law:

$$S = \frac{1}{F} (c'(w) \ell + N \tan \varphi'(w)) \quad (17)$$

The projection of forces on the vertical in the center of the section.

$$(N + u_a \ell - \chi_s \ell_s) \cos \alpha = W + (X_L - X_R) - S \sin \alpha + (F_{\text{vert}}^s + r \sin \theta) \quad (18)$$

the replacement of S according to (17):

$$(N + u_a \ell - \chi_s \ell_s) \cos \alpha = W + (X_L - X_R) - \frac{1}{F} (c'(w) \ell + N \tan \varphi'(w)) \sin \alpha + (F_{\text{vert}}^s + r \sin \theta) \quad (19)$$

$$(N \cos \alpha) + (u_a \ell - \chi_s \ell_s) \cos \alpha = W + (X_L - X_R) - \frac{c'(w) \ell}{F} \sin \alpha - \frac{N \tan \varphi'(w) \sin \alpha}{F} + (F_{\text{vert}}^s + r \sin \theta) \quad (20)$$

where: c'(w), φ'(w): are residual characteristics due to material fatigue (see section C):

$$N (\cos \alpha + (\tan \varphi'(w) \sin \alpha) / F) = W + (X_L - X_R) - \ell (u_a - \chi_s) \cos \alpha - \frac{c'(w) \sin \alpha}{F} + (F_{\text{vert}}^s + r \sin \theta) \quad (21)$$

$$N = \frac{(W + (X_L - X_R) - \ell (u_a - \chi_s) \cos \alpha - \frac{c'(w) \sin \alpha}{F}) + (F_{\text{vert}}^s + r \sin \theta)}{(\cos \alpha + (\tan \varphi'(w) \sin \alpha) / F)} \quad (22)$$

For clarity and simplicity, Bishop's method allowed to neglect the forces in the intermediate sections (which is present with a small difference between the blocks) and the center of gravity of the compartment is located at half its height. Moments with respect to the center of rotation of the sliding surface:

$$W \cdot R_x = S \cdot R - F_{\text{vert}}^s R_x - F_{\text{horiz}}^s (R (\cos \alpha) - h/2) - r \sin \theta R_x - r \cos \theta (R (\cos \alpha) - h/2) + G_{eo} (R (\cos \alpha) - h/2) \quad (23)$$

$$W \cdot R \sin \alpha = R \cdot \tau \ell - F_{\text{vert}}^s R \sin \alpha - F_{\text{horiz}}^s (R (\cos \alpha) - h/2) - ((r \sin \theta R \sin \alpha) + ((r \cos \theta - G_{eo}) (R (\cos \alpha) - h/2))) \quad (24)$$

When the destruction criterion (τ = c' + σ tan φ') is introduced into equation (24):

$$W \cdot R \sin \alpha = R/F \cdot [(c'(w) \ell + N \tan \varphi'(w) \ell) - (\ell \tan \varphi'(w) (u_a - \chi_s))] - [(F_{\text{vert}}^s + r \sin \theta) (R \sin \alpha)] - (F_{\text{horiz}}^s + r \cos \theta - G_{eo}) (R (\cos \alpha) - h/2) \quad (25)$$

$$F = \frac{R [(c'(w) \ell + N \tan \varphi'(w) \ell) - (\ell \tan \varphi'(w) (u_a - \chi_s))]}{W R \sin \alpha + [(F_{\text{vert}}^s + r \sin \theta) (R \sin \alpha)] + [(F_{\text{horiz}}^s + r \cos \theta - G_{eo}) (R (\cos \alpha) - h/2)]} \quad (26)$$

$$F = \frac{[c'(w) \ell + N \tan \varphi'(w) \ell] - [\ell \tan \varphi'(w) (u_a - \chi_s)]}{W R \sin \alpha + [(F_{\text{vert}}^s + r \sin \theta) (R \sin \alpha)] + [(F_{\text{horiz}}^s + r \cos \theta - G_{eo}) (R (\cos \alpha) - h/2)]} \quad (27)$$

Substituting the values of N from (21) into (25) and taking into account the sum of the blocks:

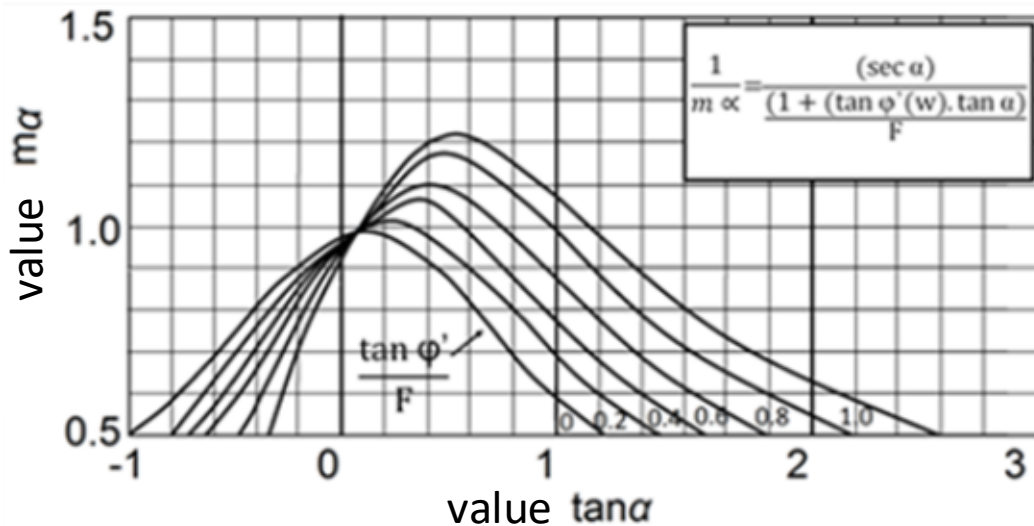
$$F = \frac{\sum [(c'(w) \ell + \frac{\tan \varphi'(w) [W - (\ell \cos \alpha (u_a - \chi_s))] + (c'(w) \sin \alpha / F) + F_{\text{vert}}^s + r \sin \theta}{\cos \alpha + (\tan \varphi'(w) \sin \alpha / F)} - \ell (u_a - \chi_s)]}{\sum [W_i \sin \alpha_i + [(F_{\text{horiz}}^s + r_i \cos \theta_i - G_{eo}) (\cos \alpha_i - h_i / 2R)] + (r_i \sin \theta_i + \sum F_{\text{vert}}^s) (\sin \alpha_i)]} \quad (28)$$

Replacing:

$$\frac{1}{m \alpha} = \frac{(\sec \alpha)}{(1 + (\tan \varphi'(w) \tan \alpha))} \quad (29)$$

We get:

$$F = \frac{c'(w) \ell + N \tan \varphi'(w) \ell - [\ell \cos \alpha (u_a - \chi_s)] + \frac{c'(w) \sin \alpha}{F} + F_{\text{vert}}^s + r \sin \theta}{\sum [W_i \sin \alpha_i + [(F_{\text{horiz}}^s + r_i \cos \theta_i - G_{eo}) (\cos \alpha_i - h_i / 2R)] + (r_i \sin \theta_i + \sum F_{\text{vert}}^s) (\sin \alpha_i)]} \quad (30)$$

Figure 7 – Changing $m\alpha$ depending on $\tan \phi'$.Рисунок 7 – Зміна $m\alpha$ залежно від $\tan \phi'$.

4. Results: Equation (30) is the result of a mathematical approach for the Bishop method. The appearance of seismic forces and due to the flow of water simultaneously with the numerator and in the denominator and the stretching force in the geotextile with a negative sign in the denominator (plays a positive role for stability) makes it possible to obtain the safety factor of the modified method and the simplified and exact Bishop method.

$$\text{At: } \phi' = \phi \cdot K_\phi; \text{ и } ru = \frac{u}{\text{Total vertical stress}} \quad (31)$$

$$\text{- simplified method: } F = \frac{\Sigma \{c' + \tan \phi' (W(1 - ru))\} 1/m\alpha}{\Sigma W \sin \alpha} \quad (32)$$

$$\text{- exact method: } F = \frac{\Sigma \{ (c' + \tan \phi' (W(1 - ru))) + (x_l - x) \} 1/m\alpha}{\Sigma W \sin \alpha} \quad (33)$$

This allows us to obtain a safety interval in the design of the embankments and take into account the various forces affecting the equilibrium of the natural slope [29, 30].

5. Conclusions: The phenomenon of instability of road slopes under the influence of various external factors is not fully understood. Previous studies have shown that the level of groundwater in the slope had a large role in development during the movement of a natural or constructed slope [31]. In this article, the influence of various external factors on the stability of slopes was assessed. Using the Bishop method, we were able to establish a change in the safety factor, depending on the presence of geosynthetic layers, the availability of groundwater and seismic forces. Instability thus appears in connection with the behavior of the last two factors. The laying of geotextile layers plays a decisive role in the stabilization of slopes. The appearance of a retaining force from geotextiles in the denominator of the modified Bishop equation with a negative sign proves the strengthening of the structure due to the tension effect in the layers of geotextile.

With the use of software, this approach can be used to take these factors into account in limiting equilibrium calculations.

References

1. Varnes, D.J., Int. Association of Engineering Geology Commission on Landslides, 1984.
2. Frayssines, M. (2005). Contribution à l'évaluation de l'aléa éboulement rocheux (rupture) (Doctoral dissertation, Université Joseph-Fourier-Grenoble I).
3. Antoine, P., & Giraud, A. (1995). Typologie des mouvements de versants dans un contexte opérationnel. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 51(1), 57-62.

4. Guadri L, Hadji R, Zahri F, Raïs K (2015). The quarries edges stability in opencast mines: A case study of the Jebel Onk phosphate mine, NE Algeria. *Arabian Journal of Geosciences Arab J Geosci* 8:8987–8997.
5. Hadji R, Raïs K, Gadri L, Chouabi A, Hamed Y (2017) Slope failures characteristics and slope movement susceptibility assessment using GIS in a medium scale: a case study from Ouled Driss and Machroha municipalities, Northeastern of Algeria, *Arabian Journal for Science and Engineering, Arab J SciEng* 42:281–300.
6. Malatrait N., 1975. Analyse et classement des mouvements gravitaires, Feuille St. Jean-de-Maurienne. Thèse d'état, Université Joseph Fourier, Grenoble I.
7. Hoek E., Brown E.T., 1980. Empirical strength criterion for rock masses. *Journal of the Geotechnical engineering Division, ASCE*, Vol. 106, n° GT9, 1980, 1013-1035.
8. Hoek E., 1990. *Practical Rock Engineering 3-Slope Stability and Rockfalls*, Chapter 9.
9. Bieniawski Z.T. *Engineering Rock Mass Classifications*. J. Wiley, New York, 1989.
10. Goodman, R. E., & Shi, G. H. (1985). *Block theory and its application to rock engineering* (p. 338). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
11. Vengeon, J. M. (1998). *Deformation et rupture des versants en terrain métamorphique anisotrope apport de l'étude des ruines de sechilienne* (Doctoral dissertation).
12. Zahri F. Boukelloul M, Hadji R, Talhi K (2016) Slope Stability Analysis In Open Pit Mines Of Jebel Gustar Career, Ne Algeria – A Multi-Steps Approach. *Mining Science*, 23: 137–146.
13. Achour, Y., Boumezbeur, A., Hadji, R. et al. (2017) Landslide susceptibility mapping using analytic hierarchy process and information value methods along a highway road section in Constantine, Algeria. *Arab J.Geosci* (2017) 10: 194.
14. Costet, J., Sanglerat, G., Biarez, J., & Lebel, P. (1969). *Cours pratique de mécanique des sols*. Dunod.
15. Arai W, Prunier F, Djéran-Maigre I, Darve F. A new insight into modelling the behaviour of unsaturated soils. *Int. Journal for Numerical and Analytical Methods in Geo-mechanics* [2013], Vol 37, p. 2629-2654
16. Mermoud A. janvier 2006, *Dynamique de l'eau du sol*, Ecole polytechnique Fédérale de Lausanne.
17. Rezzoug, A. Alexis, A. Kismi, M. «Influence de la marée sur la stabilité des pentes», 3^{èmes} journées nationales de génie civil et génie côtier, Sète, 2..4 Mars 1994.
18. Pilot J. 1970. Stabilité des talus routiers. *Bulletin des laboratoires routiers: Hydrauliques des sols*, n° spécial, . avril 1970, 163-175,
19. Filliat G. 1981. *La pratique des sols et fondations*. Edition du Moniteur, p.1392:
20. Faure R.M. 1992. Méthodes de calcul de stabilité des pentes et leur validation. *Journées franco-marocaines de mécanique des sols*, Paris 21-22 mai 1992, p. 17.
21. SEED, H. B., & De Alba, P. (1986). Use of SPT and CPT tests for evaluating the liquefaction resistance of sands. In *Use of In Situ Tests in Geotechnical Engineering*: (pp. 281-302). ASCE.
22. Bacconnet, C. Boissier D., Breul, P. «Méthodes d'évaluation du risques de liquéfaction», 23^{èmes} rencontres universitaires de génie civil, France, 2005.
23. Hujeux J. C « Une lois de comportement pour le chargement cyclique des sols », *Revue génie parasismique*, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, 1985.
24. Makdisi, F. I., & Seed, H. B. Simplified procedure for estimating dam and embankment earthquake-induced deformations. In *ASAE Publication No. 4-77. Proceedings of the National Symposium on Soil Erosion and Sediment by Water*, Chicago, Illinois, December 12-13, 1977.
25. Khansal, A. « modélisation numérique de l'essai de cisaillement rectiligne », mémoire de magister en MDS, Université de Batna, 2008.
26. Mestat Ph. «Du bon usage de l'élasticité dans les calculs de géotechnique, dans la pratique des calculs tridimensionnels en géotechnique», presses de l'école nationale des ponts et chaussées, pp 241-256, 1998.
27. Thiébot, J. Guillou, S «Calcul de stabilité des berges d'un canal», 18ème congrès français de mécanique, France, 27-31 Aout 2007.
28. Bishop A. « The use of the slip circle in the stability analysis of earth slopes », *geotechnical review* n°5, pp7-17, 1955.
29. Winterkorn, H. F., & Fang, H. Y. (1991). *Soil technology and engineering properties of soils*. In *Foundation engineering handbook* (pp. 88-143). Springer US.

30. Houam AK. «Amélioration de la stabilité des talus par l'utilisation des nappes horizontales de géosynthétiques», Thèse de doctorat en sciences appliquée, univ. Libre de Bruxelles, 1991.

31. Rezzoug, A., Alexis, A., & Kismi, M. (1994). Influence de la Marée sur la Stabilité des Pentes. In IIIe Journées Nationales de Génie Côtier-Génie Civil.

МАТЕМАТИЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ СТАБІЛІЗУЮЧОГО ЕФЕКТУ ГЕОСИНТЕТИЧНИХ ПРОШАРКІВ ДЛЯ СТІЙКОСТІ УКОСІВ

Dahoua Lamri, 19 Місто Мохамед Бенгегуаг, Сетіф, 19000, Алжир.

<https://orcid.org/0000-0002-9007-9394>

Савенко Вячеслав Якович, доктор технічних наук, професор Національного транспортного університету, завідувач кафедри транспортного будівництва та управління майном

<http://orcid.org/0000-0001-8174-7728>

Riheb Hadji, доктор технічних наук, факультет наук про Землю, університет Сетіфа

<http://orcid.org/0000-0002-9632-0812>

Анотація: Зміна граничних умов є основною причиною порушення рівноваги схилів та масової втрати. За нормальних кліматичних умов неконсолідовані сухі зерна залишаються стабільними для заданого внутрішнього кута тертя. Цей кут збільшується, якщо ґрунт трохи зволожений, оскільки поверхневий натяг між водою та частинками ґрунту має тенденцію фіксувати зерна. Під час інтенсивних опадів чи очищення від снігу інфільтрація води спричиняє зменшення значень кута тертя (ϕ') та згуртованості (c') про зерна, що загрожує стійкості схилу, це останнє підкреслюється вібраціями, де відбувається зрідження ґрунту. Підтримка зниження опору міжгранульованим тертям падіння механічних характеристик ґрунту призведе до переведення кола Мора на криву розриву оболонки. Внесення геотекстильних листів може підвищити стійкість дорожніх насипів. Це здійснює стабілізуючі сили, протилежні силам, що порушують рівновагу схилу. Ці сили не враховуються методом Бішопа, який базується на великій кількості програмного забезпечення, такого як Geostudio / нахил. Наша робота полягає у розробці математичного підходу до: введення змінних значень (c') і (ϕ') в критерій розриву для врахування проникнення води, введення нового параметра (F_s) для врахування ефекту сейсмічної напруженості, вводячи силу (r) для врахування інфільтрованої водної частини. Нарешті, в полігоні сил Єпископа беруть участь стабілізуючі сили, що створюються введенням геосинтетичних листів (Гео). Результат показує, що дія води є основною руйнівною силою схилу, а дія геотекстилю є основною стабілізуючою силою.

Ключові слова: кут внутрішнього тертя, згуртованість, геосинтетика, стійкість схилу, метод Бішопа.

Перелік посилань

1. Varnes, D.J., Int. Association of Engineering Geology Commission on Landslides, 1984.
2. Frayssines, M. (2005). Contribution à l'évaluation de l'aléa éboulement rocheux (rupture) (Doctoral dissertation, Université Joseph-Fourier-Grenoble I).
3. Antoine, P., & Giraud, A. (1995). Typologie des mouvements de versants dans un contexte opérationnel. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 51(1), 57-62.
4. Guadri L, Hadji R, Zahri F, Raïs K (2015). The quarries edges stability in opencast mines: A case study of the Jebel Onk phosphate mine, NE Algeria. Arabian Journal of Geosciences Arab J Geosci 8:8987–8997.
5. Hadji R, Raïs K, Gadri L, Chouabi A, Hamed Y (2017) Slope failures characteristics and slope movement susceptibility assessment using GIS in a medium scale: a case study from Ouled Driss and Machroha municipalities, Northeastern of Algeria, Arabian Journal for Science and Engineering, Arab J SciEng 42:281–300.
6. Maltrait N., 1975. Analyse et classement des mouvements gravitaires, Feuille St. Jean-de-Maurienne. Thèse d'état, Université Joseph Fourier, Grenoble I.
7. Hoek E., Brown E.T., 1980. Empirical strength criterion for rock masses. Journal of the Geotechnical engineering Division, ASCE, Vol. 106, n° GT9, 1980, 1013-1035.
8. Hoek E., 1990. Practical Rock Engineering 3-Slope Stability and Rockfalls, Chapter 9.
9. Bieniawski Z.T. Engineering Rock Mass Classifications. J. Wiley, New York, 1989.

10. Goodman, R. E., & Shi, G. H. (1985). Block theory and its application to rock engineering (p. 338). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
11. Vengeon, J. M. (1998). Deformation et rupture des versants en terrain métamorphique anisotrope apport de l'étude des ruines de sechilienne (Doctoral dissertation).
12. Zahri F. Boukelloul M, Hadji R, Talhi K (2016) Slope Stability Analysis In Open Pit Mines Of Jebel Gustar Career, Ne Algeria – A Multi-Steps Approach. Mining Science, 23: 137–146.
13. Achour, Y., Boumezbeur, A., Hadji, R. et al. (2017) Landslide susceptibility mapping using analytic hierarchy process and information value methods along a highway road section in Constantine, Algeria. Arab J. Geosci (2017) 10: 194.
14. Costet, J., Sanglerat, G., Biarez, J., & Lebel, P. (1969). Cours pratique de mécanique des sols. Dunod.
15. Arai W, Prunier F, Djéran-Maigre I, Darve F. A new insight into modelling the behaviour of unsaturated soils. Int. Journal for Numerical and Analytical Methods in Geo-mechanics [2013], Vol 37, p. 2629-2654
16. Mermoud A. janvier 2006, Dynamique de l'eau du sol, Ecole polytechnique Fédérale de Lausanne.
17. Rezzoug, A. Alexis, A. Kismi, M. «Influence de la marée sur la stabilité des pentes », 3^{èmes} journées nationales de génie civil et génie côtier, Sète, 2-4 Mars 1994.
18. Pilot J. 1970. Stabilité des talus routiers. Bulletin des laboratoires routiers: Hydrauliques des sols, n° spécial, . avril 1970, 163-175,
19. Filliat G. 1981. La pratique des sols et fondations. Edition du Moniteur, p.1392:
20. Faure R.M. 1992. Méthodes de calcul de stabilité des pentes et leur validation. Journées franco-marocaines de mécanique des sols, Paris 21-22 mai 1992, p. 17.
21. SEED, H. B., & De Alba, P. (1986). Use of SPT and CPT tests for evaluating the liquefaction resistance of sands. In Use of In Situ Tests in Geotechnical Engineering: (pp. 281-302). ASCE.
22. Bacconnet, C. Boissier D., Breul, P. «Méthodes d'évaluation du risques de liquéfaction», 23^{èmes} rencontres universitaires de génie civil, France, 2005.
23. Hujeux J. C « Une lois de comportement pour le chargement cyclique des sols », Revue génie parasismique, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, 1985.
24. Makdisi, F. I., & Seed, H. B. Simplified procedure for estimating dam and embankment earthquake-induced deformations. In ASAE Publication No. 4-77. Proceedings of the National Symposium on Soil Erosion and Sediment by Water, Chicago, Illinois, December 12-13, 1977.
25. Khansal, A. « modélisation numérique de l'essai de cisaillement rectiligne », mémoire de magister en MDS, Université de Batna, 2008.
26. Mestat Ph. «Du bon usage de l'élasticité dans les calculs de géotechnique, dans la pratique des calculs tridimensionnels en géotechnique», presses de l'école nationale des ponts et chaussées, pp 241-256, 1998.
27. Thiébot, J. Guillou, S «Calcul de stabilité des berges d'un canal», 18^{ème} congrès français de mécanique, France, 27-31 Aout 2007.
28. Bishop A. « The use of the slip circle in the stability analysis of earth slopes », geotechnical review n°5, pp7-17, 1955.
29. Winterkorn, H. F., & Fang, H. Y. (1991). Soil technology and engineering properties of soils. In Foundation engineering handbook (pp. 88-143). Springer US.
30. Houam AK. «Amélioration de la stabilité des talus par l'utilisation des nappes horizontales de géosynthétiques», Thèse de doctorat en sciences appliquées, univ. Libre de Bruxelles, 1991.
31. Rezzoug, A., Alexis, A., & Kismi, M. (1994). Influence de la Marée sur la Stabilité des Pent. In III^e Journées Nationales de Génie Côtier-Génie Civil.

IMPROVEMENT OF THE UKRAINIAN ROAD SAFETY PLANNING SYSTEM

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПЛАНУВАННЯ ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ



Kyzyma S., PhD, Candidate of Technical Sciences, Professor, Professor, Department of Transportation Construction and Property Management, National Transportation University

<https://orcid.org/0000-0002-6178-0720>



Lykhostup M., PhD, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Department of Transportation Construction and Property Management, National Transport University

<https://orcid.org/0000-0001-8139-1768>



Usychenko O., PhD, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, Department of Transportation Construction and Property Management, National Transport University

orcid.org/0000-0002-7482-8420

Abstract. The development of technologies for road works as well as changing the ways and conditions of their operation requires the development of the planning system. The planning system forms the methods of identifying the best options for road repairs and calculating the volume of resources to maintain them in a reliable operational state. In order to solve such problems in Ukraine since 2000, the Pavement Management System (CYCII) is used. The article presents the results of recent studies, which are related to the development of a new version of the CYCII system and presented in two blocks. The first of them develops methods of planning capital and current average repairs of roads with non-rigid types of pavements. The second is the procedure for repairing roads with cement-concrete pavements, where special attention is paid to the development of the subsystem of the justification of current minor repairs.

Keywords: system of planning, improvement, road pavement, repair, criteria.

Introduction

The development of planning system, which determines the procedure for carrying out of repairs and the repair-reconstruction measures on the roads, is based on specific models to solve the problems of traffic planning the economy in Ukraine used a special model called the "Pavement Management System" – CYCII. It was created in the development of the theory of road operation [1] in 2000-2001 and has been successfully used to solve the problems of the current and long-term planning in all Regional Road Services of the country [2, 3, 4, 5, 6]. But in the period 2008 - 2016 years this planning system for various reasons was used only in some organizations. So under contract with Ukravtodor in 2017, in order to upgrade this system and full further use in the road management, scientific-research work and practical research were carried out.

Problem statement and its communication with scientific and practical tasks.

In the updated version of CYCII system (as well as in the previous), separate sections of roads that correspond to the road pavement types are considered as planning objects. In the updated version, we selected two blocks - planning work on the road with the non-rigid type of pavement and roads with cement-concrete pavement. But the processing of these blocks is carried out in the framework of the single methods and software. Forming initial information to solve the problems of planning works on individual roads or within individual regions, which are mostly the result of field work is carried out by a single but advanced methodical support.

In the first (main block) the tasks of adjusting the system of planning repair and restoration measures on the road sections with non-rigid types of pavement for different planning periods (1 year, 5 years and 20 years) are solved. As the planning work is done by determining the sequence of pavement repair based on specially created economic-mathematical models, the focus in this part was paid to the study of behavior and reliability of these models in different conditions of the road operation. First were proposed and reviewed various ways to determine the actual value of the road pavement strength coefficient ($K_{з.м.ф}$). This is ensured by the use of three methods.

The first method is based on the information on actual annual destruction of the roadway - w , which is defined as a percentage of total pavement area. Principally, the pavement area destruction indicator is used in the system of mathematical dependencies, which reflects its influence on the actual value of the road pavement strength coefficient. In these mathematical models, the following parameters are used:

t - the term of road pavement service after overhaul, reconstruction or construction;

$\ln K^*$ - estimated rate of the ratio between the w and t .

Using mathematical dependencies that determine the ratio between K^* , w and t a series of logarithmic dependencies according to the axes $w - K^*$ is constructed. Using the principles of graphic manipulation, it is possible to determine the parameter K^* for different intervals of service life (from $t = 4 \dots 6$ years; ... until $t = 14 \dots 16$ years). Next, using the parameter K^* you may calculate the value of $K_{3.м.ф}$:

$$K_{3.м.ф} = K^* + 0,6. \quad (I)$$

Studies confirm that this method is not effective and does not give a full guarantee in the determination of $K_{3.м.ф}$, as when determining the index w it is necessary to take into account the destruction and defects, which actually affect the durability of the road, and their number for classifier CYCII is at least 10 different species.

The next way to determine the pavement strength coefficient is based on the use of instrumental methods of the actual module of elasticity field measuring – $Eф$. In turn, the normative value of the modulus of elasticity of road clothing ($Eф$) is determined depending on the road category and type of pavement. It depends on the combined intensity of traffic ($N_{3в}$) and the group of axial loads (respectively A1, A2, and B). Based on the developed and refined models of $K_{3.м.ф}$ on each group of axial loads ($N_{3в. (A1)}$, $N_{3в. (A2)}$, $N_{3в. (B)}$) we can assess the reliability of this method and recommend it as the main calculation methods for planning of road pavement repairs.

We investigated the use of the third method of determining the $K_{3.м.ф}$ under the condition of the priority calculation of the actual modulus of elasticity - $Eф$, which can be established by conducting special calculations using information on the construction of road clothing and the conditions for its use. But the realization of this method requires a large volume of information in the data banks of CYCII and considerable resources for its implementation.

When actual volume of road pavement strength coefficient $K_{3.м.ф}$ will be less than minimum allowable $K_{3.м.дон}$ the models of substantiation of the first major overhaul period are realized (as in the basic version of CYCII). These models take into account different parameters that characterize the types of pavement, the categories of roads, the impact of road-climatic zones, types of materials, etc. The main calculated parameter for major repairs is the value of the pavement strengthening layer - $h_{нидс}$, including the definition (if necessary) of the thickness of individual strengthening layers. We expand classifiers of possible technological realization methods of these engineering measures due to the researches of the models of roadway strengthening layers thickness definition based on the non-rigid road pavements repair projects analysis.

The planning system works is an expert-analytical model for determining the rational sequence of two kinds of repairs - capital and current average pavement repairs. The economic-mathematical model of determining the best sequence of these types of repairs and calculation of necessary resources (and, above all, of the funds as a definition of the resources type) are formed using more than 20 options. These settings reflect not only the road pavement condition and related to his condition of other road elements, but also reflect the conditions of the road operation. In this updated version of CYCII all economic-mathematical models created through various so-called strategies for the operation of the road pavement.

Each of the road pavement operation strategies includes different but technologically possible and feasible options for the sequence of road repairs in the period of the pavement service terms, i.e. within a calculated period $\theta - T_k$. Only in the updated version of the CYCII it is recommended of the 7 strategies for practical use, each of which is possible from the point of view of rational technology repair projects of highway sections. As the technical criteria for the justification of a particular repair, the following indicators are adopted: the durability of road pavement, the equality of coverage, the coefficient of adhesion of the the car wheel with the surface (as in the previous version). As a global decision criterion when choosing a final strategy for a series of road repairs (justifying a better strategy) it is still carried out using the criterion of minimum total average annual road transport costs. In other words - the minimum reduced average annual road - transport cost.

The updated version of the CYCII revised the system of reporting plan documents, which are formed after determining of repairing road works strategies for selected road sections in estimated periods (years), with a more precise definition (description) of road works technology, maintenance work and restoration measures.

The main result of the planning unit works on the road with cement-concrete surface study is the formation of complex work program to achieve a certain operational level on the road section. The system of rational decision-making is a combination of theoretical and expert rules for determining the technological priorities for the certain repair and restoration measures implementation of road section, which have been developed in a number of previous studies [1,7]. The structure of this subsystem decision on formation of work program includes the definition:

- the type of pavement repair – complete and current average repairs – for the criteria of road pavement strength coefficient, actual straightness and the value of the adhesion coefficient of the car wheels with the surface of the roadway;
- complexes of current minor repair works, implemented on the basis of carrying out a number of interactive procedures of the best option of repair-regenerative works selection.

In order to solve these problems in the structure of the initial information it is suggested to use specific parameters, such as:

- temperature conditions of concrete hardening during construction,
- the conditions of road struction hydration,
- possible sources of moisture grants subgrade and road foundations,
- the fact of the presence or absence of the pins in the transverse joints,
- the state of the temperature joints,
- the state of the roadside,
- the mixed intensity of all vehicles wheels, which are located on their one side, movement;
- estimated load per wheel (kN)
- other parameters and characteristics characterizing of the road struction conditions.

It should be separately noted that in the updated version the range of cement-concrete pavement destruction and deformation is extended. To an existing list (which included 18 types of pavement destruction) were added such as:

19 = crack subsidence;

20 = transverse cracks at the seams;

21 = crack pinching;

22 = crack – stitches;

23 = reflected cracks in areas of asphalt concrete strengthening.

The adoption of the pavement complete repairs is carried out based on the definition of the of road struction strength factor, in accordance with the permissible (normative) – $K_{міцн. доп.}$ and actual – $K_{міцн. ф.}$. The pavement condition requires improvement through complete repairing in case where $K_{міцн. ф.} < K_{міцн.}$.

After conducting the appropriate calculations, it is possible to recommend the following ways to improve pavement strength, such as:

a) arrangement (build-up) of a new cement-concrete pavement according to the calculation of the thickness of the pavement layer, provided that the old pavement acts as its base;

b) extension of the existing pavement by the reinforced concrete or fibro-concrete with the corresponding calculations of new pavement layer;

c) the destruction of unsuitable concrete slabs in unsatisfactory areas mechanized way and the placement of new sections of pavement by concreting in the field of works;

d) strengthening of pavement by placing of the estimated thickness asphalt-concrete layers on the intermediate layer of black rubble;

e) continuous destruction of the existing pavement with its shredding and subsequent use as a material for new base and coating layer of calculation construction thickness.

The choice of complete repair technological ways is determined on the basis of the technical-economic studies of specific situations that occurred on the road section using the minimum cost criterion. In any case, it is about determining the specific resource requirements for repair work. However, the most common pavement repair both in our country and abroad is to use technology to type **d)** – strengthening pavement by placing of asphalt layers estimated thickness on top with the intermediate layer of black rubble. The earlier relevant engineering and economic calculations for determining the parameters of complete repairs found their expression in the normative documentation - see. Table 1.

In turn, the criterion of decision-making about the current average repair of cement-concrete pavement is this condition:

$$K_{міцн. ф.} < K_{міцн. доп.}$$

$$S_{ф} \geq S_{доп.}$$

(2)

where $S_{ф}$ and $S_{доп.}$ – respectively, the actual and admissible (normative) values of the straightness index, cm / km.

Table 1 – Minimum thickness of asphalt layers and strengthening black gravel layers for the cement-concrete pavement

Таблиця 1 – Значення мінімальної товщини шарів асфальтобетону і шарів підстилення із чорного щебеню для підсилення цементно – бетонного покриття

The thickness of the concrete slab, cm	Road-climate zone	Minimum thickness of asphalt and of black rubble base layers strengthening cement concrete pavement (in cm) in the total number of applications estimated load in units on the strip	
		7 more than 2 x 10	5 7 10 – 2 x 10
less than 15	ДКЗ У – 1	19/22	15/17
	ДКЗ У - 11	19/22	15/17
	ДКЗ У - 111	14/16	12/14
more than 15	ДКЗ У – 1	22/25	20/22
	ДКЗ У - 11	22/25	20/22
	ДКЗ У - 111	18/20	15/17

Note to table 1:

- in the numerator, the thickness corresponds to the calculated load on the wheel 50 kn in denominator- 57.5 kN;

- in the given total thickness of bituminous layers a two-layer asphalt concrete pavement thickness 9 – 12 cm for ДКЗ – У – 1 and У – 11 and 8 – 10 cm for ДКЗ У – 111 is included.

In the case of condition (2), it is necessary to decide on the need for the current average repair on the criterion of straightness of roadway in the following variants:

- arrangement of double surface treatment on organic binder;
- arrangement of a protective layer using a polymer-concrete mixture;
- arrangement of a thin-layer leveling layer using bitumen-mineral binders (slurry-seal or macro-seal);
- arrangement of a thin leveling layer made of bitumen-polymer-mineral slime.

Nevertheless, before carrying out the renewal current average repair in order to improve the straightness of the roadway, it is necessary to plan the maintenance work to completely eliminate all existing types of fractures and defects in cement-concrete pavement.

The next criterion of current average repair is an indicator of the adhesion, which is measured according to the methodological provisions ДСТУ БВ.2.3. – 2, ДСТУ БВ.2,3 – 8 та ГСТУ 218. 02070915 – 102. The criterion of repair-reconstruction measures on improvement of adhesion of the roadway with a vehicle wheel are the following:

$$\frac{K_{\text{міцн. ф.}}}{f\phi} < \frac{K_{\text{міцн. доп.}}}{f\phi_{\text{доп.}}} \quad (3)$$

where $f\phi$ and $f\phi_{\text{доп.}}$ - is the actual and permissible value of the adhesion coefficient with the roadway.

Possible ways to increase the adhesion qualities of the roadway can be as follows:

a) placing a single surface treatment with stone material 4 - 6 mm using bituminous binding with surface - active substances capital type and other measures to achieve a stable adhesion for binder with the surface of pavement;

b) arrangement of a thin rigid layer using bitumen-polymer-mineral sludge;

c) macroslipping of the concrete pavement surface;

d) placing a rough surface layer up to 1 cm using a polymer-concrete mixture;

e) cutting of small beads against sliding in the width 0,2 - 0,3 cm and a depth of 0,2 - 0,3 cm;

f) arrangement of a double surface treatment on bituminous binding with the measures to achieve stable adhesion binding to the concrete pavement surface;

g) as a temporary measure - conducting periodic works to increase the hydrophobicity of the pavement.

Prior to each of these works for improvement of adhesion qualities must also plan to carry out a maintenance work to completely eliminate all existing pavement damages. The best technological way of performing work to increase the adhesive qualities of a car wheel with a cement-concrete pavement surface is determined taking into account the current conditions of its operation on the minimal value criterion.

Special attention is the updated version of CYCII was paid to the development of subsystem of current minor pavement repairs that includes the following steps:

- identification of the damage and defects types in the field observations;

- the establishment of the causes of the destructive process that caused this destruction;

- design (selection) of technology to eliminate the causes of the destructive process or its localization;

- optimization of the eliminating process of the destructive process consequences on the criterion of minimal cost.

Update subsystem of maintenance work included:

- execution of works on specifying the classification of cement-concrete coating decays, taking into account new additions and defining their classification characteristics and attributes:

- expansion of possible causes of the genesis and development of cement-concrete pavement destruction classification and providing them with identified codes;

- development of a classification criteria for assessing the measure of cement-concrete pavement damage by types of fractures.

To provide further automated search of rational methods and technologies for repair and liquidation of the consequences of cement-concrete pavement fracturing in CYCII introduced the concept of "**Defect Index of cement-concrete pavement**", which is determined by the results of field inspection of the pavement. The defect index is formed by taking into account three components:

- the code of the detected destruction type;

- a definite possible reason for the development of this destruction;

- a certain level of defeat of the pavement with the established type of destruction.

Defect index of pavement fixed in the form of, for example, the following expression:

$$02. \text{ B. } 2., \quad (4)$$

where **02.** – is the code of the field conditions of destruction (in accordance with the classification of fractures - these are **cross-sectional through cracks**);

В. – a possible reason of occurrence of such a destructive process (in accordance with the classifier is **foundations subsiding or soil in the middle area of the plate due to the non-conformity of the strength of the base with the actual stresses on it (for example, local soil reloading etc.)**);

2. – is the level of pavement damage with this kind of destruction (in accordance with the classifier is **a clearly expressed transverse crack width 3-5 mm without loss of material at an average density of 0.1-0.35 m/m²**).

Final stage of the pavement cement-concrete maintenance work planning subsystem updates is the development of so-called "Recommended list of technological ways and methods to repair small damages of cement concrete pavement according to their levels", which has the form of the table. 2.

Decision-making to determine the best technological way to carry out the maintenance work represents the implementation of logical iterative procedures, when each of the options is evaluated in monetary terms, and the rational and final solution corresponds to the cheapest variant. In the process of forming repair and restoration measures variants and road works corresponding to a certain technology, is taken into account the logical - sequential technological impact of work to eliminate the effects of several destructions on one area of pavement.

As in the first and second CYCII block subsystems of various documents forming, which are determined by the types of repair work, their volumes and road sections with planned works in a specific year, are developed.

The conclusions

It should be noted, that the framework and direction of expert-analytical systems development that have been defined and used in the process of the CYCII system formation are used in the process of other planning work systems creation. For example, when creating analytical expert control system of bridges, expert and analytical system of roads operation and in solving related to these systems engineering-economic problems, for example, [8]. In general, the development of a road planning system is a dynamic process of continuous special scientific works implementation, conducting practical research and experimental work that reproduces the current conditions and perspective ways of industry development in the country.

Table 2 – Technological ways and methods to repair small damages for cement concrete pavements at different levels of their destruction (fragment for the destruction with code 1)

Таблиця 2 – Технологічні способи і методи ремонту дрібних руйнувань цементно – бетонних покриттів при різних рівнях їх ураження (фрагмент для руйнування з кодом 1)

Co de	Name of destruction	The major causes of damage	Level 1	Level 2	Level 3
1	2	3	4	5	6
1	Longitudi- nal trans- verse cracks	a) the heterogeneity of subgrade compac- tion in the transverse profiles (leaf edges have a lower den- sity); b) transport loads are close to or exceed the limits for the road structure - in the plates there are stresses close to the boundary of the strength of cement concrete on the bend; c) excess moisture of the soil of the canvas in the zone of the road in separate peri- ods of the year.	01.a.1-1 Increasing the edges of the can- vas by reducing the vapor permeability of the canvas in the ar- eas of the roadside. Filling the crack with heated liquid bitu- men or dilute solvent mastic "Butislan - K"	01.a.2-1 works by code 01.a.1-1 01.6.1,2,3 Determination of the strength of the road structure to the existing movement. If the factor of the safety margin is less than permissi- ble, it is necessary to plan overhaul in the form of rein- forcement of the road structure 01.b.2-1 Works of the code 01.a.1-1.	011.a..3-1 Reduction of water permeability in areas of roadside. Filling the cracks with bituminous mas- tics, with mastic "Butislan-K" or poly- meric sealants with sand filling of the surface 01.6.1, 2, 3 Determi- nation of the road structure strength to the existing move- ment. If the coeffi- cient of safety is less than permissible, then it is necessary to plan overhaul in the form of road construction strengthening 01.b.3-1 Works of the code 01.a.1-1.
2	And so on to the code with the number 23.				

References

1. Kyzyma S.S. Eksploatatsiya avtomobil'nykh dorih. / MON Ukrayiny /.- K. : NTU, 2009. - 272 s.
2. Kyzyma S.S. Optymizatsiya planuvannya roboty po remontu nezhorstkykh dorozhnykh odyahu. / Kyzyma S.S., Andryeyev S.I. // Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo. Vyp.41 - K.: - 1987. - S.78 - 86.
3. Kyzyma S.S. / Kizima S.S., Kanin O.P., Likhostup M.M., Andryeyev S.I. // Avtomobil'ni dorohy ta dorozhnye budivnytstvo. Vyp. 62. - K. : - 2001.– S.76 - 80.

4. Kyzyma S.S. Obhruntuvannya nedostovirnykh mozhlyvostey zaprosyty v Ukrayini za statsionarnymy diyamy kapital'nykh remontiv nezhorstkykh dorozhnykh odyahu // Avtomobil'ni dorohy ta dorozhnye budivnytstvo. Vyp.62. - K.: - 2001. - S.83 - 87.

5. Kyzyma S.S. Rekomendatsiyi po zastosuvannyu SUSP dlya planuvannya remontnykh robot. / Kyzyma S.S., Kanin O.P., Likhostup M.M.// Derzhavna sluzhba avtomobil'nykh dorih Ukrayiny (Ukravtodor). - K.: - 2002. 18 s.

6. Kyzyma S.S. Rozvytok systemy dovhostrokovoho planuvannya dorozhn'oho hospodarstva. / Kyzyma S.

S., Likhostup M M // Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo.- Vyp. 97 - K.: Vyd-vo NTU, 2016. - S.103 - 113.

7. Kyzyma S.S. Orhanizatsiya systemy upravlinnya statsionarnym odyahom iz tsementu - betonnym pokryttyam / Kyzyma S.S., Likhostup M M // Avtomobil'ni dorohy ta dorozhnye budivnytstvo.- Vyp. 98 - K.: Vyd-vo NTU, 2016. - S. -.

8. Kanin O.P. Informatsiyno - analitychna systema upravlinnya naybil'shymy kontraktamy na rivni rivniv sluzhby dorih // Avtomobil'ni dorohy ta dorozhnye budivnytstvo. Vyp.94 - K.: Vyd-vo NTU, 2015. - S.112 - 123.

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПЛАНУВАННЯ ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ

Кизима Станіслав Степанович., кандидат технічних наук, професор, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету, тел. +380442803942, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 206 <https://orcid.org/0000-0002-6178-0720>

Лихоступ Микола Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету, тел. +380442803942, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 206. <https://orcid.org/0000-0001-8139-1768>

Усиченко Олена Юріївна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри будівництва та експлуатації доріг, fbk@ukr.net, тел. +380442803942, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 138. <https://orcid.org/0000-0002-7482-8420>

Постійний розвиток технологій виконання дорожніх робіт а також зміна способів і умов їх експлуатації вимагає в свою чергу розвитку системи планування. Система планування формує методи визначення кращих варіантів ремонтів доріг і розрахунок обсягів ресурсів для підтримання їх в надійному експлуатаційному стані. Для вирішення таких задач в Україні з 2000 року використовується Система управління станом покриття (СУСП). В статті наведені результати останніх досліджень, які пов'язані з розробкою нової версії системи СУСП та викладені в двох блоках. Перший з них розвиває методи планування капітальних та поточних середніх ремонтів доріг з нежорсткими типами покриттів. Другий – порядок проведення ремонтів доріг з цементно – бетонними покриттями, коли особлива увага приділена розвитку підсистеми обґрунтування поточних мілких ремонтів.

Ключові слова: система планування, удосконалення, дорожній одяг, ремонт

Перелік посилань

1. Кизима С.С. Експлуатація автомобільних доріг. /МОН України/. - К.: НТУ, 2009. – 272 с.
2. Кизима С.С. Оптимізація планування робіт по ремонту нежорстких дорожніх одягів. / Кизима С.С., Андреев С.І.// Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип.41 – К.: – 1987. – С.78 – 86.
3. Кизима С.С. Загальна характеристика української системи управління станом нежорстких дорожніх одягів./ Кизима С.С., Канін О.П., Лихоступ М.М., Андреев С.І. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип. 62. – К.: – 2001.– С.76 – 80.
4. Кизима С.С. Обґрунтування необхідності запровадження в Україні концепції стадійного проведення капітальних ремонтів нежорстких дорожніх одягів.// Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип.62. – К.: – 2001. – С.83 – 87.
5. Кизима С.С. Рекомендації по використанню СУСП для планування ремонтних робіт./ Кизима С.С., Канін О.П., Лихоступ М.М.// Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор). – К.: – 2002. 18 с.
6. Кизима С.С. Розвиток системи довгострокового планування дорожнього господарства. /Кизима С.С., Лихоступ М М.// Автомобільні дороги і дорожнє будівництво.- Вип. 97 – К.:Вид-во НТУ, 2016. – С.103 – 113.
7. Кизима С.С. Організація системи управління станом дорожнього одягу з цементно – бетонним покриттям /Кизима С.С., Лихоступ М М.// Автомобільні дороги і дорожнє будівництво.- Вип. 98 – К.:Вид-во НТУ, 2016. – С. – .
8. Канін О.П. Інформаційно – аналітична система управління довгостроковими контрактами на основі рівнів обслуговування доріг //Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип.94 – К.: Вид-во НТУ, 2015. – С.112 – 123.

РОЗРАХУНОК ПЛИТИ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ АВТОДОРОЖНЬОГО МОСТА ЗА НЕ-КЛАСИЧНОЮ МОДЕЛЛЮ

CALCULATION OF THE PLATE OF ROAD BRIDGE CROSS SECTION ACCORDING TO THE NON-CLASSICAL MODEL



Канін Олександр Петрович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: kaninap@ukr.net, +380442807909, <http://orcid.org/0000-0001-6849-2505>



Гриневицький Борис Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри опору матеріалів та машинознавства, e-mail: bvgryn@ukr.net, +380676415260, <http://orcid.org/0000-0002-2220-6654>



Цибульський Віталій Миколайович, Національний транспортний університет, кафедра опору матеріалів та машинознавства, старший викладач, e-mail: mega.sopromat@ukr.net, +380977058876, <http://orcid.org/0000-0003-3150-3965>

Анотація. Виконана оцінка напружено-деформованого стану та міцності плити проїзної частини автодорожнього моста за неklasичною (уточненою) моделлю розрахунку. В основі моделі знаходяться розрахункові залежності теорії згину шаруватих конструкцій (балок, плит), уточнені врахуванням поперечних нормальних напружень від обтиснення шарів; методи визначення зусиль (згинаючих моментів), що застосовуються при розрахунках конструкцій прогонових будов залізобетонних мостів; залежності теорії пружності для оцінки міцності матеріалів конструкцій та характеристики матеріалів, що входять до шаруватих конструкцій прогонових будов і дорожніх одягів.

За допомогою розрахунку доведено необхідність застосування уточнених моделей для оцінки компонентів напружено-деформованого стану шаруватих конструкцій, які враховують вплив деформацій поперечного зсуву та обтиснення.

Отримані розрахунки в дослідженні показали, що умови міцності в деяких зонах конструкції перерізу прогонової будови моста при використанні уточненої моделі не виконуються, що дозволяє прийняти рішення щодо підсилення згаданих зон додатковим армуванням. В той же час застосування класичної моделі до розрахунків не виявило подібних недоліків. Проведений порівняльний аналіз розрахунків компонентів напружено-деформованого стану показав перевищення допустимих напружень в зонах, що виражаються в нехтуванні деформацій поперечного зсуву та обтиснення за класичною моделлю.

Ключові слова: неklasична модель, плита, прогин, напруження, автодорожні мости.

Вступ. В композитних конструкціях, плитах та балках, здебільшого переважають шаруваті структури, тому реалізації їх моделей деформування дає змогу отримувати розв'язки актуальних прикладних задач у транспортному будівництві, приймати більш економічні та надійні проектні рішення.

Поряд зі створенням нових типів ефективних шаруватих конструкцій виникає необхідність раціонального використання традиційних шаруватих систем. При оцінці міцності цих систем приймають до уваги тільки основні несучі шари, а технологічні шари розглядають як конструктивні. Врахування їх сумісної роботи з несучими шарами дозволяє виявити запаси міцності всієї системи [1].

Для розрахунку плити проїзної частини автодорожнього моста зазвичай використовують класичну модель, яка заснована на гіпотезі плоских перерізів. Проте класична модель не враховує деформації поперечного зсуву та обтиснення. Тому під час проведених попередніх досліджень авторами було прийнято рішення про використання неklasичної моделі для розрахунку конструкцій дорожнього одягу на плитних прогонових будовах [2-7].

Мета і методи. Метою дослідження є розрахунок плити проїзної частини автодорожнього моста за розробленою неklasичною моделлю міцності композитної балочно-плитної конструкції.

Результати і пояснення. Розрахунок плити проїзної частини моста за неklasичною розрахунково-теоретичною моделлю, здійснено на прикладі поперечного перерізу, який включає 6 балок (рис.1).

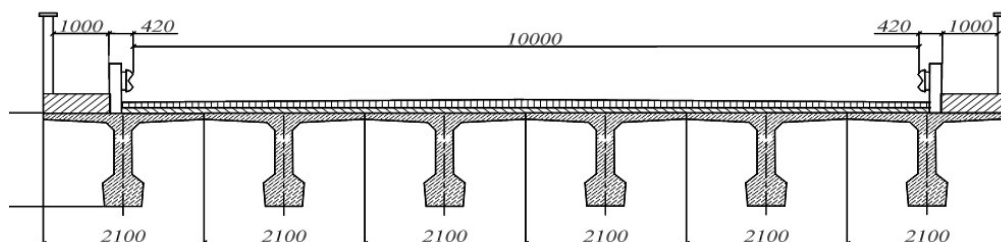


Рисунок 1 – Поперечний переріз автодорожнього моста
 Figure 1 – Cross section of a road bridge

Розрахункова схема конструкції розглядається як нерозрізна 5-ти прольотна шарувата балочна плита, яка спирається на таврові балки. Для розрахунку прийнята плита, яка складається з 10 шарів. Розрахунок виконано спільно з шарами типового дорожнього одягу, на відміну від традиційного розрахунку, де шарами дорожнього одягу знехтувано. При цьому функції прогину за довжиною балки приймає наступний вигляд за уточненою моделлю [2]:

$$w(x) = w_0 \sin\left(\frac{\pi x}{l}\right), \quad (1)$$

$$w_0 = \left[\sum_{i=0}^n q_{z0}^{(i)} c_z^{(i)} \right] \frac{l^4}{\pi^4} \frac{\frac{1}{D_{11}} + \left(\frac{D_{12}}{D_{11}} \right)^2}{D_{22} + \frac{l^2}{\pi^2} \bar{D} - \left(\frac{D_{12}}{D_{11}} \right)^2}, \quad (2)$$

де D_{11}, D_{12}, D_{22} – характеристики жорсткості;

q_{z0} – амплітуда навантажень;

w – прогин;

l – довжина балочно-плитної системи.

За результатами розрахунку за класичною та розробленою моделями побудовано епюри прогинів (рис.2).

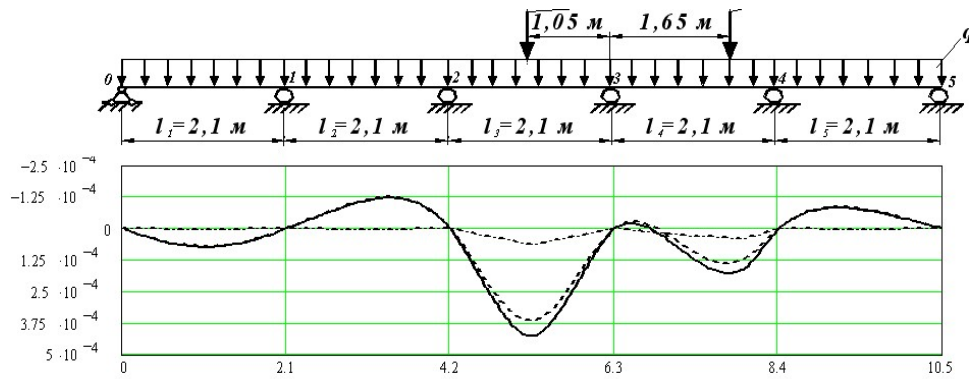
При дослідженні напружено-деформованого стану була виконана перевірка міцності перерізів на опорі 2 і посередині прольоту 3 з використанням критерію Кулона-Мора [8] (рис.3):

$$\sigma_{екв} = \sigma_{\max} - (R_p / R_{CT}) \sigma_{\min} \leq R_p, \quad (3)$$

де $\sigma_{екв}$ – еквівалентні нормальні напруження;

$\sigma_{\max}, \sigma_{\min}$ – максимальні та мінімальні нормальні напруження;

R_p, R_{CT} – розрахункові опори.



Примітка: w - прогин за класичною моделлю - штрих пунктирна лінія, уточненої моделі з урахуванням зсуву - пунктирна, зсуву і обтіску - суцільна лінія.

Рисунок 2 – Схема навантаження нерозрізний плити і епюри прогинів

Figure 2 – The scheme of an inseparable plate and the diagram of deflections loading

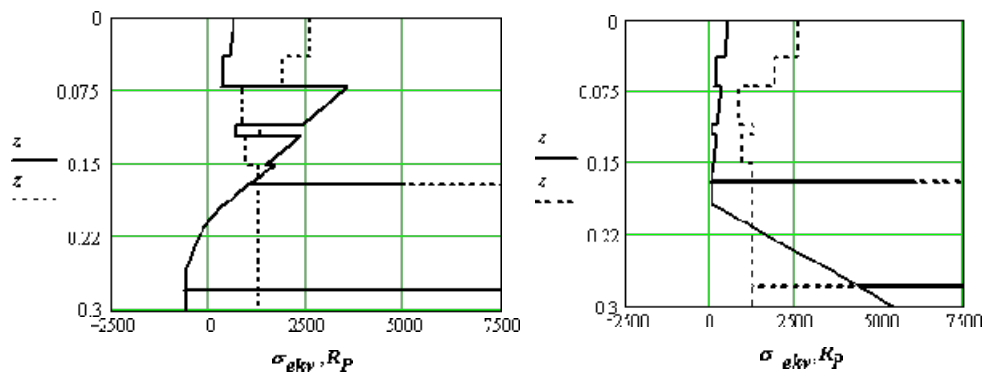


Рисунок 3 – Епюри еквівалентних напружень перерізу на опорі та посередині прольоту

Figure 3 – Plots of equivalent cross-sectional stresses on the support and in the middle of the span

Висновки та рекомендації. Аналіз еквівалентних напружень в опорному перерізі показує, що вони перевищують розрахунковий опір у верхній розтягнутій зоні (захисний шар бетону), а в перерізі посередині прольоту – у нижній зоні плити. Порівнюючи отримані дані можна зробити висновок, що умови міцності в цих зонах при використанні уточненої моделі не виконуються, що потребує підсилення розглянутих зон додатковим армуванням. При цьому розрахунок за класичною моделлю показує, що розрахункові напруження менші за допустимі. Наведеним розрахунком за уточненою моделлю підтверджено необхідність врахування впливу поперечного зсуву на деформований стан конструкцій даного типу.

Перелік посилань

1. Піскунов В.Г. Розрахунок шаруватих конструкцій дорожнього одягу мостів армованого композитними матеріалами / В.Г. Піскунов, В.М. Цибульський – Вісник НТУ, 2012.
2. Канін О.П., Гриневицький Б.В., Цибульський В.М. Побудова неklasичної розрахункової моделі міцності композитної балочно-плитної конструкції автодорожніх мостів / О.П. Канін, Б.В. Гриневицький, В.М. Цибульський / Науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». Київ: НТУ. – 2018. - № 104, С. 62-68.
3. Пискунов В.Г., А.О. Рассказов. Развитие теории слоистых пластин и оболочек // Прикл. механика. – 2002. – 38, № 2. – С. 22-57.
4. Пискунов В.Г., Вериженко В.Е. Линейные и нелинейные задачи расчета слоистых конструкций. – К.: Будівельник, 1986 – 176 с.
5. Michigan Department of Transportation. (2016). Bridge Structural Elements Diagram [Online]. Available: https://www.michigan.gov/mdot/0,4616,7-151-9618_47418-173584--,00.html
6. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO LRFD (2014) Bridge Design Specifications, 6th ed. Washington, DC: AASHTO, 2014.
7. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO LRFD (2012) Bridge Design Specifications, 6th ed. Washington, DC: AASHTO, 2012, 1661 pages.

8. Опір матеріалів. Підручник / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський. За ред. Г.С. Писаренка – К.: Вища школа, 1993. – 655 с.

CALCULATION OF THE PLATE OF ROAD BRIDGE CROSS SECTION ACCORDING TO THE NON-CLASSICAL MODEL

Kanin Alexander Petrovich, PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, National Transport University, Professor of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: kaninap@ukr.net, tel. +380442807909, <https://orcid.org/0000-0001-6849-2505>

Hrynevtskyi Borys Volodymyrovych, PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Materials Resistance and Mechanical Engineering, e-mail: bvgryn@ukr.net, +380676415260, <http://orcid.org/0000-0002-2220-6654>

Tsybulskyi Vitalii Mykolaiovych, National Transport University, Senior Lecturer of Materials Resistance and Mechanical Engineering, e-mail: mega.sopromat@ukr.net, +380977058876, <http://orcid.org/0000-0003-3150-3965>

Abstract. The stress-strain condition and strength of the roadway slab are estimated according to the non-classical (refined) calculation model. The model is based on the calculated dependences of the theory of bending of layered structures (beams, slabs), specified by taking into account the transverse normal stresses from the compression of the layers; methods for determining the forces (bending moments) used in the calculation of structures of girder structures of reinforced concrete bridges; the dependence of the theory of elasticity to assess the strength of structural materials and the characteristics of materials included in the layered structures of girder structures and pavements.

The calculation proves the need to use refined models to estimate the components of the stress-strain state of layered structures, which take into account the influence of deformations of transverse shear and compression.

The calculations obtained in the study showed that the strength conditions in some areas of the cross-section of the girder structure of the bridge when using the refined model are not performed, which allows to decide on the strengthening of these areas by additional reinforcement. At the same time, the application of the classical model to the calculations did not reveal such shortcomings. The comparative analysis of the calculations of the components of the stress-strain state showed the excess of the allowable stresses in the zones, which are expressed in the neglect of the deformations of the transverse shear and compression according to the classical model.

Keywords: nonclassical model, slab, deflection, stress, road bridges.

References

1. Piskunov V.H. Rozrakhunok sharyvatykh konstrukttsii dorozhnoho odiahu mostiv armovanoho kompozytnymy materialamy / V.H. Piskunov, V.M. Tsybulskyi – Visnyk NTU, 2012.
2. Kanin O.P., Hrynevtskyi B.V., Tsybulskyi V.M. Pobudova neklasychnoi rozrakhunkovoi modeli mitsnosti kompozytnoi balochno-plytnoi konstrukttsii avtodorozhnikh mostiv / O.P. Kanin, B.V. Hrynevtskyi, V.M. Tsybulskyi / Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk «Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo». Kyiv: NTU. – 2018. - № 104, S. 62-68.
3. Pyskunov V.H., A.O. Rasskazov. Razvytye teoryy sloystykh plastyn y obolochek // Prykl. mekhanyka. – 2002. – 38, № 2. – S. 22-57.
4. Pyskunov V.H., Veryzhenko V.E. Lyneinye y nelyneinye zadachy rascheta sloystykh konstruktsiy. – K.: Budivelnik, 1986 – 176 s.
5. Michigan Department of Transportation. (2016). Bridge Structural Elements Diagram [Online]. Available: https://www.michigan.gov/mdot/0,4616,7-151-9618_47418-173584--,00.html
6. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO LRFD (2014) Bridge Design Specifications, 6th ed. Washington, DC: AASHTO, 2014.
7. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO LRFD (2012) Bridge Design Specifications, 6th ed. Washington, DC: AASHTO, 2012, 1661 pages.
8. Opir materialiv. Pidruchnyk / H.S. Pysarenko, O.L. Kvitka, E.S. Umanskyi. Za red. H.S. Pysarenka – K.: Vyshcha shkola, 1993. – 655 s.

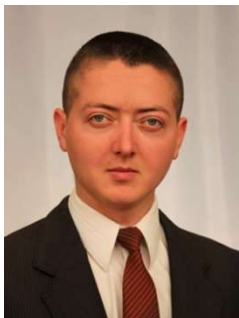
**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МАЛОЦИКЛОВОЇ ВТОМИ БЕТОНУ
ІЗ ЗАЛУЧЕННЯМ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОЛОЖЕНЬ**

**MATHEMATICAL MODELLING OF LOW-CYCLIC FATIGUE OF CONCRETE
WITH ATTRACTION OF THE ENERGY PRINSIPLES**



Крусь Юрій Олексійович, Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне), кандидат технічних наук, доцент, кафедра автомобільних доріг, основ і фундаментів, доцент, alkrous@ukr.net, +38 (096) 9643443

<https://orcid.org/0000-0001-5271-7765>



Крусь Олексій Юрійович, Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне), інженер науково-дослідного виробничого бізнес-центру науково-дослідної частини, alexkrusexp@gmail.com, +38 (096) 9190551

<https://orcid.org/0000-0002-1989-0328>



Кас'ків Володимир Іванович, кандидат технічних наук, доцент, заступник директора з наукової роботи ДП "ДерждорНДІ", e-mail: vi_kas@ukr.net, тел. +380504458544, Україна, м. Київ, просп. Перемоги, 57

<https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>



Гасвський Богдан Володимирович, Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне), студент навчально-наукового інституту будівництва та архітектури, спеціалізація "Автомобільні дороги та аеродроми", nort22@ukr.net, +38 (096) 2615879

<https://orcid.org/0000-0002-0778-7673>

Анотація: Проаналізовані результати численних експериментальних досліджень із вивчення силових впливів на будівельні конструкції, будівлі та споруди. Доведено, що переважна більшість зовнішніх навантажень монотонно змінюються або циклічно повторюються, тобто мають змінний ха-

рактар. Виявлено, що дія високорівневих циклічних навантажень (як правило, із малою кількістю повторювань) може бути причиною специфічного деформування й руйнування матеріалів і конструкцій. Наведені приклади зі світової статистики аварій у будівництві, яка фіксує багаточисельні випадки, коли високорівневі малоциклові силові впливи призводять до неочікуваного й стрімкого втомного руйнування будівель і споруд, почасти – із трагічними наслідками. Разом із тим, факт наявності малоциклових навантажень високої інтенсивності та їхнього впливу на роботу матеріалів і конструкцій жодним чином не відображений у чинних нормативних документах.

У зв'язку з цим проведені експериментальні дослідження роботи дрібнозернистого (цементно-піщаного) і крупнозернистого (на звичайних заповнювачах) бетонів при близьких до руйнівних високих рівнях статичних малоциклових навантажувальних центральних стисненнях. Розроблений ефективний метод визначення малоциклової втоми та прогнозування циклічної довговічності бетону, що базується на відомих енергетичних положеннях (гіпотезах, критеріях і співвідношеннях). Вірогідність виявлених залежностей і зроблених висновків підтверджується прийнятною збіжністю дослідних і розрахункових даних.

Ключові слова: бетон, малоциклові навантаження, малоциклова втома, циклічна довговічність, енергетичні положення (гіпотези, критерії та співвідношення).

Вступ

У реальних умовах практично всі будівельні конструкції, будівлі та споруди експлуатуються в умовах повторних навантажувальних із випадковим або періодичним чергуванням завантажувальних і розвантажувальних. Серед них можна вирізнити так звані *малоциклові навантаження високого рівня* (із максимальними значеннями, близькими до руйнівних при стандартному одноразовому статичному навантаженні) із кількістю повторювань за гарантований термін служби будівлі або споруди десятки, сотні, а деколи й тисячі разів (в усіх випадках багато менше, ніж регламентовані будівельними нормами для багатоциклових навантажень 2×10^6 циклів), які за своїми значеннями перевищують навантаження при звичному використанні матеріалу, елемента або конструкції і можуть бути охарактеризовані як перенавантаження. До таких можуть бути віднесені як навантаження природного походження (сейсмічні, снігові, вітрові, хвильові, льодові та ін.), так і деякі технологічні (транспортні при несанкціонованих перетинах великоваговими вантажами мостових споруд з обмеженою вантажопідйомністю та водоперепускних труб і тунелів під насипами доріг, у силосах елеваторів для збереження сипких матеріалів під час їхнього обвалу, на перекриття від ваги людей і ремонтних матеріалів у зонах обслуговування й ремонту обладнання, від ваги складованих матеріалів тощо).

Власні експериментальний досвід [1-5], а також дослідження інших авторів [6-13] засвідчують, що дія високорівневих малоциклових навантажень спричиняє специфічне деформування нелінійно деформованих матеріалів, кінцевим результатом якого є *малоциклова втома* (далі – МЦВ) – явище настання граничного стану (порушення суцільності) від розміцнення матеріалу при прогресуючому зростанні пластичної деформації при її циклічній зміні. Що стосується будівельних об'єктів, то дія зазначених навантажень може призвести не лише до точкових втомних пошкоджень у вигляді, наприклад, розповсюдження неприпустимих втомних тріщин, а й почасти – до більш серйозних наслідків, аж до аварії вірно запроектованих згідно з чинними нормами окремих конструкцій та будівель і споруд у цілому.

Доречно звернімось до світової статистики аварій у будівництві, яка фіксує багаточисельні випадки, коли високорівневі малоциклові силові впливи призводять до неочікуваного й стрімкого втомного руйнування. Назвемо лише деякі випадки повного руйнування будівель і споруд, що мали місце в останні роки, найширше висвітлювались у засобах масової інформації та призвели до найтрагічніших наслідків. Це – обвалення басейну “Дельфін” у м. Чусовому Пермського краю Росії 4.12.2005 р. (14 загиблих і 18 осіб, які отримали тілесні ушкодження); спортивно-розважального комплексу “Трансвааль-парк” (28 людей загинули та 113 отримали поранення різного ступеню) і Басманного ринку (загинули 68 осіб, отримали поранення – 39) у Москві (Росія) відповідно 14.02.2004 р. і 23.02.2006 р.; “Льодового палацу” у німецькому Бад-Райхенгаллі (Баварія) 4.01.2006 р. (14 загиблих і 34 важко поранених); торгово-виставкового центру у польському місті Катовіце 28.01.2006 р. (кількість жертв – 67, поранення отримали 141 людина); торгового центру Махіма у Ризі 21.11.2013 р. (54 загиблих, 40 поранених і скалічених); 8-поверхової будівлі Рана-Плаза, у якій розміщались п'ять цехів текстильної фабрики, банк і торгові точки, у м. Савар (пригороді столиці Бангладеш – Даккі) 24.04.2013 р. (загиблих налічується 1127 осіб, поранених – близько 2500). Принагідно відзначимо недавнє часткове обвалення Шулявського залізобетонного шляхопроводу в м. Києві, що відбулось 27 лютого 2017р.

(на щастя – без жертв), яке, на думку фахівців, як раз і є класичним прикладом аварії внаслідок втомного руйнування транспортної споруди, що піддавалась дії вище згаданих високорівневих малоциклових навантажень.

Усе сказане свідчить про важливість і актуальність проблеми деформування й руйнування бетону в умовах зазначених силових впливів, яка потребує всебічного й ретельного вивчення та систематизації задля можливості її реалізації у розрахунковій практиці.

Наразі науковцями накопичені експериментальні дані, що дозволяють визначати МЦВ деяких бетонів, зокрема, дрібнозернистого [1,4], важкого на звичайних заповнювачах [1,4,9,11-13], важкого із дрібним заповнювачем із відходів гірничозбагачувального виробництва [10], керамзитобетону [12]. Але, по-перше – усі відомі залежності мають феноменологічний характер і можуть бути використані лише для конкретного матеріалу й певного режиму його навантажування; по-друге – охопити дослідженнями з подібним методологічним підходом усі матеріали для узагальнення даних видається технічно складною процедурою, якій супутня низка несприятливих факторів, найсуттєвіший з яких – необхідність проведення великої кількості тривалих і кропітких експериментів.

Мета та методи. На фоні вище окреслених труднощів виникає потреба в розробці універсального апарату визначення межі МЦВ та прогнозування циклічної довговічності будь-якого нелінійно деформівного будівельного матеріалу із залученням енергетичних положень (гіпотез, критеріїв і співвідношень), які частіше за все надають можливість у найбільш ефективний спосіб одержати результат із мінімальними витратами розрахункової праці та у найкоротший термін.

Досвід використання енергетичних підходів, базованих на законі збереження й перетворення енергії, у теорії опору бетону й залізобетону відомий. Так, наприклад, плити, обперті по контуру, розраховують методом граничної рівноваги на основі балансу енергії. Розглядаючи у граничному стані плиту як систему плоских ланок, що з'єднані між собою лінійними пластичними шарнірами, прирівнюють роботу зовнішніх і внутрішніх сил [14]. Відомі й інші випадки ефективного застосування енергетичних положень, зокрема, при трансформуванні отриманих за стандартними методиками діаграм деформування бетону та арматурної сталі, коли необхідно врахувати характер навантаження (його інтенсивність, форму й швидкість прикладання, тривалість дії, режимність та ін.) [15-18], оцінюванні умов розвитку тріщин у механіці руйнування будівельних матеріалів і конструкцій [19-20], складанні достатньо простих і адекватних фізичним процесам математичних моделей напружено-деформованого стану перерізів зігнутих залізобетонних елементів на довільних стадіях їхньої роботи та при руйнуванні [21-23].

Разом із тим, стосовно розробки методів розрахунку міцності бетону при повторних малоциклових статичних впливах слід відзначити вкрай недостатню міру залучення енергетичних положень. Навіть чи не єдиною наразі з досліджуваної проблеми наукову працю [10] через низку причин не можна вважати остаточно завершеною. Основна з них – присутність у кінцевій формулі для визначення циклічної довговічності бетону n_{cyc} констант $\varepsilon_{BR,cyc}$, $\alpha_{cyc}=1/\nu_{BR,cyc}$ і $\delta_{cyc}=\alpha_{cyc}/(1+\alpha_{cyc})$, які характеризують специфічні особливості деформування бетону в умовах малоповторювальних навантажень. Зазначена вада позбавляє бажаної ефективності практичне застосування запропонованого авторами [10] енергетичного підходу, який первісно за своїм оригінальним задумом передбачає відомість про механічні характеристики матеріалу лише при одноразовому статичному навантажуванні до руйнування.

У представленій статті розроблений вільний від подібних недоліків власний енергетичний апарат визначення межі МЦВ та прогнозування циклічної довговічності бетону як основного конструкційного будівельного матеріалу.

Результати та пояснення. Серед усіх відомих із літератури [6-8] аналітичних співвідношень найбільш часто для математичного описання кривих МЦВ матеріалів (так званих “діаграм Веллера”; рис. 1) із яскраво вирізненими ділянками виключно пружного й пружно-пластичного деформувань при “м'якому” режимі навантажування (тобто при незмінній у проміжку часу dt швидкості V_σ приросту напружень $d\sigma$, коли $V_\sigma=d\sigma/dt=const$) застосовують емпіричну формулу Л.Коффіна-С.Менсона, яка, зокрема, для м'яких сталей і алюмінієвих сплавів, що зазнають осьового розтягнення, має такий вигляд:

$$(\sigma_{s,cyc} - \sigma_{s,y}) \cdot n_{cyc}^\delta = D, \quad (1)$$

де $\sigma_{s,cyc} - \sigma_{s,y} = \sigma_a$ – діапазон напружень, у межах якого відбувається пластичне деформування матеріалу, тобто зона так званих значних пластичних деформацій, що мають місце при $\sigma_{s,y} < \sigma_{s,cyc} < R_{s,u}$; $\sigma_{s,cyc} = \sigma_{s,max}$ – максимальне напруження циклу або інакше – значення абсолютної межі МЦВ; $\sigma_{s,y}$ – напруження, що обмежує пружну роботу матеріалу, або інакше – межа його текучості; $R_{s,u}$ – межа міцності матеріалу; n_{cyc} – циклічна довговічність; δ і D – сталі для конкретного матеріалу характеристики, які визначають

його пластичні властивості та встановлюються із дослідів на руйнування при одноразовому монотонному навантажуванні.

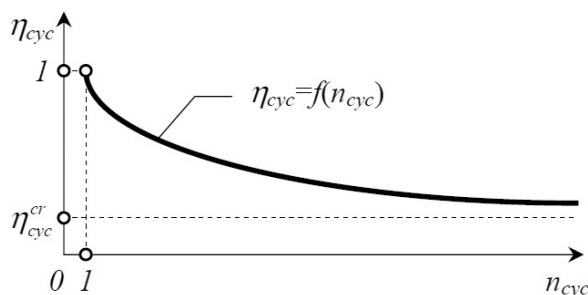


Рисунок 1 – Схема кривої малоциклової втоми (“діаграма Веллера”) нелінійно деформівного матеріалу в координатних осях $\eta_{b,cyc} \sim n_{cyc}$

Figure 1 – The diagram of the low-cyclic fatigue curve (“the Weller diagram”) of a nonlinearly deformable material in the coordinate axes $\eta_{b,cyc} \sim n_{cyc}$

Далі розглядатимемо бетон, що піддається м’якорезимному центральному стисненню в умовах знакосталих малоповторювальних циклічних навантажувальних високих рівнів аж до руйнування. Апроксимацію відповідної кривої МЦВ здійснимо дробовою раціональною функцією вигляду

$$\eta_{b,cyc} = 1 - p \frac{n_{cyc}^q - 1}{n_{cyc}^q}, \quad (2)$$

де $\eta_{b,cyc} = \sigma_{b,cyc} / R_b$ – відносний рівень МЦВ бетону; R_b – межа міцності бетону при одноразовому статичному стисненні (так звана “призмova міцність”); p і q – сталі коефіцієнти, які характеризують нелінійні властивості бетону та визначаються з умов мінімуму квадратичних абсолютних відхилень дослідних точок від теоретичної кривої.

Надання фізичного змісту параметра “ p ” у виразі (2) не являє труднощів. Якщо взяти до уваги раніше встановлений у [4] факт наявності в діаграмі Веллера “ $\eta_{b,cyc} \sim n_{cyc}$ ” так званого “критичного” відносного рівня напружень $\eta_{b,cyc}^{cr}$, перевищення якого спричиняє втомне руйнування матеріалу, а також виконати деякі алгебричні перетворювання, що пов’язані з виконанням апроксимативною залежністю (2) граничних умов, згідно з якими при $n_{cyc} = 1$ маємо $\eta_{b,cyc} = 1$, а при $n_{cyc} \rightarrow \infty$ – $\eta_{b,cyc} \rightarrow \eta_{b,cyc}^{cr}$, то розглядувану формулу можна записати дещо інакше:

$$\eta_{b,cyc} = 1 - \left(1 - \eta_{b,cyc}^{cr}\right) \frac{n_{cyc}^q - 1}{n_{cyc}^q}. \quad (3)$$

З урахуванням базованих на результатах власних експериментально-теоретичних досліджень висновків [4] і висловлювань інших авторів [9,12,13,24-28] про відповідність граничної відносної межі МЦВ бетону $\eta_{b,cyc}^{cr}$ верхньому відносному рівню його мікротріщиноутворення $\eta_{b,crc}^{top}$, остаточний вираз для сталого коефіцієнта “ p ” у формулі (2) набуває такого вигляду:

$$p = 1 - \eta_{b,cyc}^{cr} = 1 - \eta_{b,crc}^{top}, \quad (4)$$

тобто

$$\eta_{b,cyc}^{cr} \equiv \eta_{b,crc}^{top}. \quad (5)$$

Залежно від виду застосованого функціонального зв’язку між напруженнями σ_b і повними відносними деформаціями ε_b (див. вирази (18) або (26) у раніше опублікованій статті [29]):

$$\sigma_b = R_b (\varepsilon_b / \varepsilon_{bR})^{V_{bR}} = R_b \eta_{\varepsilon}^{V_{bR}} \quad (6)$$

або

$$\sigma_b = R_b \frac{\varepsilon_b}{(1 - \nu_{bR})\varepsilon_b + \nu_{bR}\varepsilon_{bR}} = \frac{R_b \eta_\varepsilon}{(1 - \nu_{bR})\eta_\varepsilon + \nu_{bR}} \quad (7)$$

(тут $\eta_\varepsilon = \varepsilon_b / \varepsilon_{bR}$) для визначення відносного рівня напружень $\eta_{b,cyc}^{cr} = \eta_{b,crc}^{top}$ можуть бути використані одержані в [30] співвідношення (див. відповідно вирази (11) і (2) у зазначеній публікації [30]):

$$\eta_{b,cyc}^{cr} = \eta_{b,crc}^{top} = \left(\frac{2\nu_{b,l;R}}{\nu_{b,tr;R}} \cdot \frac{\varepsilon_{b,tr;R}}{\varepsilon_{b,l;R}} \right)^{\frac{\nu_{b,tr;R}\nu_{b,l;R}}{\nu_{b,tr;R} - \nu_{b,l;R}}} \quad (8)$$

$$\text{або } \eta_{b,cyc}^{cr} = \eta_{b,crc}^{top} = \frac{\sqrt{\nu_{b,l;R}\varepsilon_{b,l;R}} - \sqrt{2\nu_{b,tr;R}\varepsilon_{b,tr;R}}}{(1 - \nu_{b,tr;R})\sqrt{\nu_{b,l;R}\varepsilon_{b,l;R}} - (1 - \nu_{b,l;R})\sqrt{2\nu_{b,tr;R}\varepsilon_{b,tr;R}}} \quad (9)$$

(тут позначення ті ж самі, що й у наукових працях [29,30]).

З урахуванням (5) перепишемо формулу (3) в абсолютних напруженнях:

$$\sigma_{b,cyc} = R_b - \left(R_b - \sigma_{b,cyc}^{cr} \right) \frac{n_{cyc}^q - 1}{n_{cyc}^q} = R_b - \left(R_b - \sigma_{b,crc}^{top} \right) \frac{n_{cyc}^q - 1}{n_{cyc}^q}, \quad (10)$$

де $\sigma_{b,cyc}^{cr}$ – абсолютна межа МЦВ бетону при центральному стисненні; $R_{b,crc}^{top} = \eta_{b,crc}^{top} R_b$ – напруження в стисненому бетоні, що відповідає верхній границі мікротріщиноутворення в ньому.

Залежність (10) може бути приведена до структури формули Л.Коффіна-С.Менсона (1), маючи такий вигляд:

$$(\sigma_{b,cyc} - \sigma_{b,cyc}^{cr}) \cdot n_{cyc}^q = D, \quad (11) \quad \text{де} \quad D = R_b - \sigma_{b,cyc}^{cr}. \quad (12).$$

Порівняння співвідношень (11) і (1) засвідчує про очевидну тотожність

$$q \equiv \delta. \quad (13)$$

Надамо фізичного змісту сталому коефіцієнту “q”, який також входить до складу виразів (2), (3) і (10). Супроводжуємо цю процедуру оцінкою явища МЦВ із позицій енергетичної гіпотези Д.Мартіна [6,31,32] і пропозицій до неї Г.Хелфорда і Дж.Морроу [33], згідно з якими МЦВ (вичерпання циклічної довговічності) настає у випадку досягнення сумарною площею петлі гістерезису, пов’язаної з ділянкою так званих суттєвих пластичних деформацій (для бетону цій області відповідають стискаючі напруження $\sigma_{b,cyc}^{cr} = \sigma_{b,crc}^{top} < \sigma_{b,cyc} < R_b$; прим. авт.), критичної величини, вирахованої за значенням розсіяної в одиниці об’єму матеріалу потенціальної енергії при одноразовому статичному завантажуванні до руйнування. Сформульованій гіпотезі відповідає математичний запис:

$$\sum_{k=1}^{n_{cyc}} W_k = n_{cyc} \int_0^{\varepsilon_{pl,max}} \sigma_a d\varepsilon_{pl} = W^*, \quad (14)$$

де n_{cyc} – кількість циклів навантажувань до руйнування (циклічна довговічність); k – біжуча кількість циклів навантажувань; W_k – енергія, яка розсіюється в одиниці об’єму матеріалу на k -му циклі або інакше – енергія пластичного гістерезису за один k -й цикл; W^* – критична енергія руйнування.

Скористаємось запропонованою Р.Ганстоком [34] формулою повної енергії, необхідної для руйнування матеріалу після n_{cyc} циклів навантажувань, у вигляді (див. рис. 2,а):

$$\sum_{k=1}^{n_{cyc}} W_k = A + B \cdot n_{cyc}. \quad (15)$$

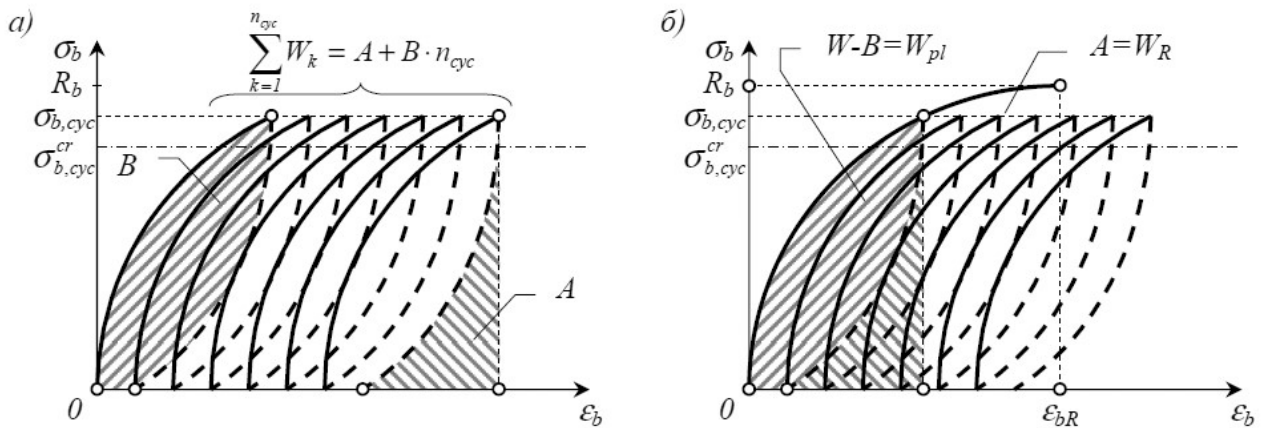


Рисунок 2 – Графічне тлумачення формули Р.Ганстока (15) (а) і залежності (17) (б)
 Figure 2 – Graphical interpretation of the R.F. Hanstock's formula (15) and of the dependence (17)

Оскільки класична теорія пружності (включаючи й нелінійну пружність) не розрізняє випадків першого або будь-якого наступного навантажувань [6], то при $W_k = W = \text{const}$ співвідношення (15) набуває дещо іншої форми

$$\sum_{k=1}^{n_{\text{cyc}}} W_k - B \cdot n_{\text{cyc}} = (W - B) \cdot n_{\text{cyc}} = A \quad (16)$$

з іншим фізичним змістом (рис. 2,б), засвідчуючи, що константа “А” характеризує граничну (тобто повну) енергію W_R , витрачену на руйнування при одноразовому завантажуванні до руйнування, а стала “В” визначає енергію, що йде на відновлення, тобто зменшення ступеня накопичених пошкоджень. Такі розмірковування дають підставу тлумачити формулу (16) наступним чином:

$$W_{pl} \cdot n_{\text{cyc}} = W_R \cdot n_{\text{cyc}} \quad (17)$$

Як бачимо з рис. 2,б, визначення питомої енергії $W-B=W_{pl}$, дисипованої одиницею об'єму за один цикл повторного навантажування, передбачає знання залежності напружень σ_b від пластичних деформацій $\epsilon_{b,pl}$. Якщо скористатись отриманим раніше власним законом деформування бетону при центральному стисненні у “м'якому” силовому режимі (див. формулу (36) у публікації [35])

$$\sigma_b = R_b \left[\frac{\epsilon_{b,pl}}{(1 - \nu_{bR}) \epsilon_{bR}} \right]^{\nu_{bR}/(1 + \nu_{bR})} = \frac{\nu_{bR} E_{b0} \epsilon_{bR}^{1/(1 + \nu_{bR})}}{(1 - \nu_{bR})^{\nu_{bR}/(1 + \nu_{bR})}} \epsilon_{b,pl}^{\nu_{bR}/(1 + \nu_{bR})} \quad (18)$$

або інакше

$$\sigma_b = \beta_b \epsilon_{b,pl}^{\alpha_b}, \quad (19)$$

де

$$\beta_b = \frac{\nu_{bR} E_{b0} \epsilon_{bR}^{1/(1 + \nu_{bR})}}{(1 - \nu_{bR})^{\nu_{bR}/(1 + \nu_{bR})}} \quad (20) \quad \text{і} \quad \alpha_b = \frac{\nu_{bR}}{1 + \nu_{bR}} \quad (21)$$

(тут ν_{bR} , E_{b0} , ϵ_{bR} – сталі параметри нелінійного деформування бетону при його одноразовому завантажуванні до руйнування), а також прийняти до уваги дослідження авторів [6,36], що свідчать про відповідальність за порушення циклічної міцності накопичених пластичних деформацій у діапазоні напружень $\sigma_{b,cyc}^{cr} \dots R_u$ (тут R_u – межа міцності матеріалу; див. формулу (1) і пояснення до неї), доходимо такого висновку: при визначенні енергії W_{pl} , дисипованої одиницею об'єму бетону за один цикл повторного навантажування, функціональний зв'язок $\sigma_b = f(\epsilon_{b,pl})$ для ділянки $\epsilon_{b,cyc}^{cr} \dots \epsilon_{bR}$ суттєвих пластичних деформацій в області напружень $\sigma_{b,cyc}^{cr} \dots R_b$ повинен мати вигляд (див. рис. 3):

$$\sigma_{b,cyc} - \sigma_{b,cyc}^{cr} = \beta_b \left(\epsilon_{b,pl;cyc} - \epsilon_{b,pl;cyc}^{cr} \right)^{\alpha_b} = \beta_b \left(\Delta \epsilon_{b,pl;cyc} \right)^{\alpha_b}. \quad (22)$$

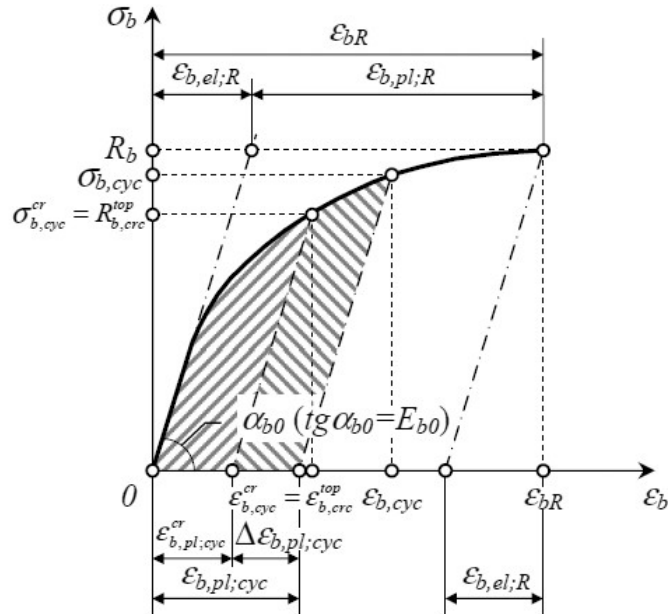


Рисунок 3 – Діаграма деформування бетону при його одноразовому завантажуванні центральним стиском до руйнування у “м’якому” силовому режимі

Figure 3 – The diagram of concrete deforming at its single ladening by the central compression before destruction in the “soft” force mode

В оберненому записі, тобто у математичній формі $\Delta \varepsilon_{b,pl;cyc} = f(\sigma_{b,cyc} - \sigma_{b,cyc}^{cr})$, співвідношення (22) виглядатиме так:

$$\Delta \varepsilon_{b,pl;cyc} = \varepsilon_{b,pl;cyc} - \varepsilon_{b,pl;cyc}^{cr} = \left(\frac{\sigma_{b,cyc} - \sigma_{b,cyc}^{cr}}{\beta_b} \right)^{1/\alpha_b}. \quad (23)$$

Отже, прийнявши до опрацювання залежність (22), отримаємо такий вираз для визначення питомої енергії W_{pl} :

$$\begin{aligned} W_{pl} &= \int_0^{\varepsilon_{b,pl;cyc}} \sigma_b d\varepsilon_{b,pl} - \int_0^{\varepsilon_{b,pl;cyc}^{cr}} \sigma_b d\varepsilon_{b,pl} = \int_0^{\varepsilon_{b,pl;cyc}} \beta_b \varepsilon_{b,pl}^{\alpha_b} d\varepsilon_{b,pl} - \int_0^{\varepsilon_{b,pl;cyc}^{cr}} \beta_b \varepsilon_{b,pl}^{\alpha_b} d\varepsilon_{b,pl} = \\ &= \beta_b \frac{(\varepsilon_{b,pl;cyc} - \varepsilon_{b,pl;cyc}^{cr})^{\alpha_b + 1}}{\alpha_b + 1} \end{aligned} \quad (24)$$

або з урахуванням (23) –

$$W_{pl} = \frac{(\sigma_{b,cyc} - \sigma_{b,cyc}^{cr})^{(\alpha_b + 1)/\alpha_b}}{\beta_b^{1/\alpha_b} (\alpha_b + 1)}. \quad (25)$$

Після підстановки (25) у (17) і подальших алгебричних перетворень матимемо

$$\begin{aligned} \frac{(\sigma_{b,cyc} - \sigma_{b,cyc}^{cr})^{(\alpha_b + 1)/\alpha_b}}{\beta_b^{1/\alpha_b} (\alpha_b + 1)} \cdot n_{cyc} &= W_R; \\ (\sigma_{b,cyc} - \sigma_{b,cyc}^{cr}) \cdot n_{cyc}^{\alpha_b/(\alpha_b + 1)} &= \left[W_R \beta_b^{1/\alpha_b} (\alpha_b + 1) \right]^{\alpha_b/(\alpha_b + 1)}. \end{aligned} \quad (26)$$

Як бачимо, вираз (26) структурно ідентичний формулі Л.Коффіна-С.Менсона (1) і трансформованому запису (11) запропонованої власної апроксимативної залежності МЦВ бетону (3). При цьому

$$D = \left[W_R \beta_b^{1/\alpha_b} (\alpha_b + 1) \right]^{\alpha_b/(\alpha_b + 1)} \quad (27) \quad \text{і} \quad \delta = q = \frac{\alpha_b}{\alpha_b + 1}. \quad (28)$$

Таким чином, з урахуванням (21) фізичний зміст сталого коефіцієнта $q \equiv \delta$ (див. тотожність (13)) у співвідношеннях (2), (3) і (10) набуває формалізованого вигляду

$$q = \frac{\alpha_b}{\alpha_b + 1} = \frac{v_{bR}}{1 + 2v_{bR}}. \quad (29)$$

Підставляючи (29) у залежність (3) та беручи до уваги співвідношення (5), отримаємо остаточний вираз для визначення відносного рівня МЦВ бетону, а саме

$$\eta_{b,cyc} = 1 - \left(1 - \eta_{b,crc}^{top} \right) \frac{n_{cyc}^{v_{bR}/(1+2v_{bR})} - 1}{n_{cyc}^{v_{bR}/(1+2v_{bR})}}. \quad (30)$$

Обернена по відношенню до (30) залежність у формі $n_{cyc} = f(\eta_{b,cyc})$ надає можливість прогнозувати циклічну довговічність бетону n_{cyc} і має вигляд

$$n_{cyc} = \left[\frac{1 - \eta_{b,crc}^{top}}{\eta_{b,cyc} - \eta_{b,crc}^{top}} \right]^{(1+2v_{bR})/v_{bR}}. \quad (31)$$

Висновки та рекомендації. Оцінку адекватності залежності (31) з урахуванням співвідношення для обчислення присутнього у ній сталого параметра $\eta_{b,crc}^{top}$ (див. вираз (9)) здійснювали за експериментальними даними, отриманими при випробуваннях окремих серій призм із дрібнозернистого цементно-піщаного бетону ДЗБ-I,II (17 шт.), крупнозернистого бетону на звичайних заповнювачах КЗБ-I-2 (16 шт.) та крупнозернистого бетону на звичайних заповнювачах із пластифікуючою добавкою “Дофен” КЗБД-III (16 шт.) високими рівнями повторних малоциклових статичних навантажувальних центрального стиснення із діапазоном варіювання максимальних рівнів напружень $\eta_{b,cyc} = 0,78 \dots 0,96$ і незмінною характеристикою циклів $\rho_\sigma = \sigma_{b,min}/\sigma_{b,max} = 0$ (див. табл. 1 у публікації [4]). Графічна інтерпретація МЦВ досліджуваних бетонів представлена на рис. 4. Про прийнятність розробленого підходу до визначення $\eta_{b,cyc}$ із залученням відомих енергетичних положень свідчать статистичні характеристики варіаційних рядів нормального розподілу співвідношень $\eta_{b,cyc}^{exp}/\eta_{b,cyc}^{calc}$ (табл. 1), вказуючи на добру збіжність дослідних значень $\eta_{b,cyc}^{exp}$ і теоретичних величин $\eta_{b,cyc}^{calc}$, обчислених за формулою (30). При цьому середнє арифметичне співвідношень $\eta_{b,cyc}^{exp}/\eta_{b,cyc}^{calc}$ коливається в межах $M = 0,990 \dots 1,009$; коефіцієнт варіації – $V = (1,82 \dots 3,21)\%$, показник точності – $P = (0,49 \dots 0,86)\%$.

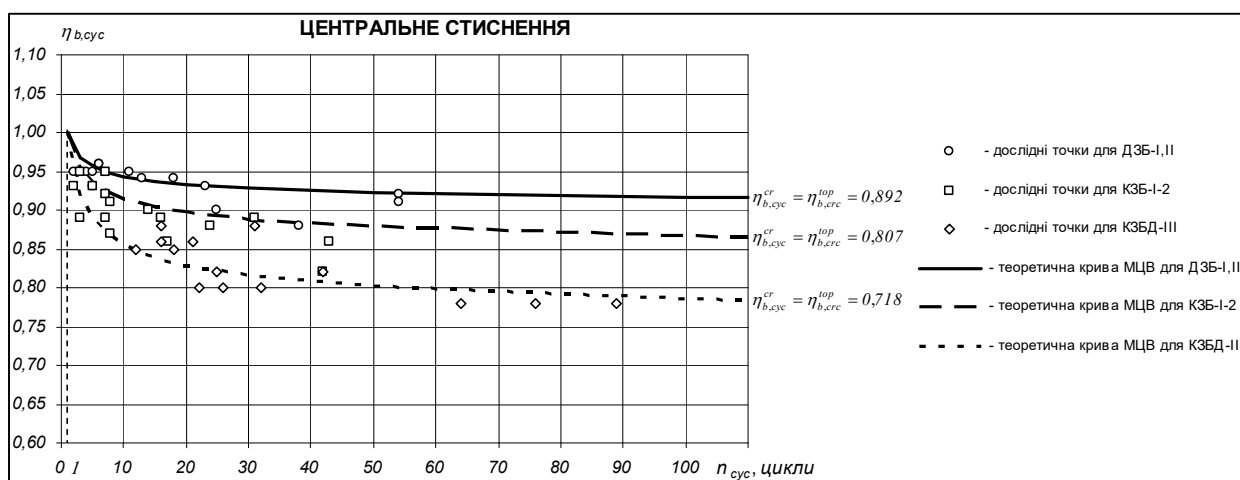


Рисунок 4 – Графіки малоциклової втоми (залежності “ $\eta_{b,cyc} \sim n_{cyc}$ ”) бетонів різних видів при центральному стисненні, що побудовані за отриманою із залученням енергетичних положень формулою (30)

Figure 4 – Graphs of low-cyclic fatigue (“ $\eta_{b,cyc} \sim n_{cyc}$ ” dependencies) of concretes of various types at the central compression, constructed from the formula (30), that is obtained with the use of energy provisions

Таблиця 1 – Числові значення сталих параметрів бетону та статистичні характеристики залежності (30)

Table 1 – Numerical values of constant parameters of concrete and statistical characteristics of the dependence (30)

Вид бетону	Сталі параметри бетону		Статистичні характеристики по $\eta_{b,cyc}^{exp} / \eta_{b,cyc}^{calc}$					Граничні відносні рівні МЦВ $\eta_{b,cyc}^{cr}$ на базі $N_{cyc}=n_{cyc}$ циклів			
	$\eta_{b,crc}^{top}$	v_{bR}	$N, \text{шт.}$	M	$\pm \sigma \times 10^2$	$V, \%$	$P, \%$	100	500	1000	∞
ДЗБ-ІІ	0,892	0,914	14	0,990	1,818	1,82	0,49	0,916	0,906	0,904	0,892
КЗБ-І-2	0,807	0,511	16	0,977	2,756	2,76	0,69	0,867	0,847	0,841	0,807
КЗБД-ІІІ	0,718	0,830	14	1,009	3,207	3,21	0,86	0,785	0,759	0,751	0,718

Примітки: 1. Тут прийняті ті ж самі позначення різних видів бетону, що і в табл. 1 публікації [4].
2. Для визначення сталих параметрів $\eta_{b,crc}^{top}$ і v_{bR} використовували представлені у табл. 1 публікації [4] міцнісні та деформативні характеристики поздовжнього й поперечного деформувань відповідних бетонів при одноразовому центральному стисненні до руйнування.

Звернімо увагу на те, що наведені у табл. 2 публікації [1] і табл. 1 цієї статті дані з визначення відносних рівнів МЦВ за різними методиками (відповідно виключно експериментальною та із залученням енергетичних положень) дають дуже близькі результати: найбільша розбіжність між величинами $\eta_{b,cyc}^{cr}$ на базисах $N_{cyc}=n_{cyc}=100, 500$ і 1000 циклів, а також при $n_{cyc} \rightarrow \infty$, становить $\Delta=4,18\%$. Отже, обидві методики можуть бути використані в практичних розрахунках.

Разом із тим, варто відзначити, що пропонований метод, базований на застосуванні енергетичних гіпотез, критеріїв і співвідношень до встановлення фізичного змісту деяких сталих коефіцієнтів бетону, видається більш ефективним. Уникаючи поставлення тривалих і надзвичайно кропітких експериментів, такий підхід дозволяє визначати $\eta_{b,cyc}^{cr}$ на певній базі випробувань N_{cyc} лише по параметрах його поздовжнього й поперечного деформувань при регламентованому чинним державним стандартом [37] одноразовому статичному навантажуванні до руйнування.

Перелік посилань

1. Бабич Є.М., Крусь Ю.А. Бетонні та залізобетонні елементи в умовах малоциклових навантажень. – Рівне: Вид-во РДТУ, 1999. – 119 с.
2. Крусь Ю.О. Малоциклові навантаження в комплексі впливів на будівельні конструкції, будівлі та споруди // Дороги і мости: Зб. наук. праць ДержДорНДІ ім. М.П.Шульгіна. У 2-х томах: Т. І. – Київ, 2007. – Вип. 7. – С. 323-343.
3. Крусь Ю.О. Класичні уявлення про роботу пружно-пластичних матеріалів в умовах циклічних навантажувальних // Діагностика, довговічність та реконструкція мостів: Зб. наук. праць. – Львів: Каменяр, 2007. – Вип. 9. – С. 56-79.
4. Крусь Ю.А. Малоцикловая усталость бетона при сжатии и растяжении в феноменологической постановке // Бетон и железобетон в Украине. – 2009. – № 3(49). – С. 8-17.
5. Крусь Ю.А. Механизм деформирования и усталостного разрушения бетона в условиях статических малоцикловых нагружений центральным сжатием // Зб. наук. праць Укрінсталькон ім. В.М.Шимановського / Під заг. ред. д.т.н, проф. О.В.Шимановського. – К.: Вид-во «Сталь», 2016. – Вип. 18. – С. 132-149.
6. Москвитин В.В. Циклические нагружения элементов конструкций. – М.: Наука, 1981. – 344 с.
7. Сопротивление деформированию и разрушению при малом числе циклов нагружения: Зб. науч. тр. Гос. науч.-исслед. ин-та машиноведения АН СССР. – М.: Наука, 1967. – 171 с.
8. Усталость и выносливость металлов: Сб. статей / Пер. с англ. В.К.Житомирского; Под ред. Г.В.Ужика. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963. – 497 с.
9. Багаудинов Р.М. Исследование напряжённо деформированного состояния бетона при статико-повторном малоцикловом нагружении: Дис. ... канд. техн. наук. – М., 1985. – 166 с.

10. Барашиков А.Я., Шевченко Б.Н., Валовой А.И. Малоцикловая усталость бетона при сжатии // Бетон и железобетон. – 1985. – № 4. – С. 27-28.
11. Погореляк А.П. Исследование работы железобетонных изгибаемых элементов на поперечную силу при многократно повторных нагружениях: Дис. ... канд. техн. наук. – Ровно, 1981. – 174 с.
12. Ставров Г.Н., Руденко В.В., Федосеев А.А. Прочность и деформативность бетона при повторно статических нагружениях // Бетон и железобетон. – 1985. – № 1. – С. 33-34.
13. Яковлев С.К., Кожухов А.С., Тотосов В.Н. Работа сжатого бетона при повторно-статическом нагружении // Изв. вузов. Сер. Строительство и архитектура. – 1990. – № 8. – С. 124-127.
14. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции: Общий курс: Учеб. для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.
15. Бондаренко В.М. Начала теории энергетического управления силовым сопротивлением строительных конструкций // Изв. вузов. Сер. Строительство. – 1996. – № 11. – С. 3-12.
16. Бондаренко В.М., Трегубенко Н.С. Опыт управления поглощением энергии при колебаниях конструкций инженерных систем // Изв. вузов. Сер. Строительство. – 1997. – № 9. – С. 20-25.
17. Гузеев Е.А., Шевченко В.И., Сейланов Л.А. Исследование силовых и энергетических параметров разрушения бетона по полностью равновесным диаграммам его деформирования // Изв. вузов. Сер. Строительство и архитектура. – 1986. – № 8. – С. 1-5.
18. Корчинский И.Л. Оценка несущей способности конструкций при сейсмическом воздействии с энергетических позиций // Бетон и железобетон. – 1967. – № 2. – С. 24-28.
19. Адищев В.В., Митасов В.М. Энергетический подход к моделированию процесса образования трещин в изгибаемых железобетонных элементах // Изв. вузов. Сер. Строительство. – 2005. – № 4. – С. 26-31.
20. Корнев В.М., Адищев В.В. Достаточные критерии роста макротрещин нормального отрыва в среде регулярной структуры // Изв. вузов. Сер. Строительство. – 1999. – № 12. – С. 9-14.
21. Митасов В.М., Адищев В.В. О применении энергетических соотношений в теории сопротивления железобетона // Изв. вузов. Сер. Строительство и архитектура. – 1990. – № 4. – С. 33-37.
22. Митасов В.М. Обобщённая формула перемещений при изгибе железобетонных балок // Изв. вузов. Сер. Строительство и архитектура. – 1987. – № 1. – С. 4-7.
23. Ставров Г.Н., Руденко В.В. О критерии предельного состояния железобетонных конструкций при малоцикловых нагружениях // Изв. вузов. Сер. Строительство и архитектура. – 1986. – № 7. – С. 1-4.
24. Алтухов В.Д. Оценка предела усталости бетона с использованием критериев механики разрушения // Изв. вузов. Сер. Строительство и архитектура. – 1983. – № 1. – С. 17-21.
25. Кириллов А.П. Выносливость гидротехнического железобетона. – М.: Энергия, 1978. – 272 с.
26. Кузовчикова Е.А., Яшин А.В. Исследование влияния малоцикловых сжимающих воздействий на деформативность, прочность и структурные изменения бетона // Изв. вузов. Сер. Строительство и архитектура. – 1976. – № 10. – С. 30-35.
27. Маилян Л.Р. Разработка методов системного комплексного расчёта железобетонных статически неопределимых балок с учётом полных диаграмм деформирования материалов, сечений и конструкций на статические, повторные и динамические воздействия: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01. – М., 1989. – 584 с.
28. Маилян Л.Р., Беккиев М.Ю., Силь Г.Р. Работа бетона и арматуры при многократно повторных нагружениях. – Нальчик, 1984. – 55 с.
29. Бабич Є.М., Крусь Ю.О. До питання побудови діаграм деформування бетону та визначення коефіцієнта повноти епюри напружень // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне: Вид-во РДТУ, 2001. – Вип. 6. – С. 94-104.
30. Крусь Ю.О. Визначення характеристик структурних порушень бетону з позицій зміни кінематичних параметрів його об'ємного деформування // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне: Вид-во РДТУ, 2000. – Вип. 4. – С. 187-194.
31. Писаренко Г.С., Можаровский Н.С. Уравнения и краевые задачи пластичности и ползучести: Спр. пособие. – Киев: Наукова думка, 1981. – 496 с.
32. Martin D.E. An energy criterion for low cyclic fatigue // ASME, Jo. of Basic Eng. – Ser. D. – 1961. – Vol. 4. – P. 105-112.
33. Halford G.R., Morrow J.D. Low cyclic fatigue in torsion // Proc. Amer. Soc. for Testing and Materials. – 1962. – Vol. 62. – P. 697-707.

34. Hanstock R.F. Damping capacity, strain hardening and fatigue // *Proceedings Physical Society*. – 1947. – Vol. 59. – P. 275-287.

35. Бабич Е.М., Крусь Ю.А., Гарницкий Ю.В. Новые аппроксимации зависимости “напряжения-деформации”, учитывающие нелинейность деформирования бетонов // *Изв. вузов. Сер. Строительство*. – 1996. – № 2. – С. 39-44.

36. Takeo Y., Yamanouchi H., Yamamoto S. Low cycle fatigue of thin-walled hollow cylindrical specimens of mild steel in uniaxial and torsional test at constant strain amplitude // *International Journal of Fracture Mechanics*. – 1965. – Vol. 1. – No. 1. – P. 463-474.

37. ДСТУ Б В.2.7-217:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення призмової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 16 с.

MATHEMATICAL MODELLING OF LOW-CYCLIC FATIGUE OF CONCRETE WITH ATTRACTION OF THE ENERGY PRINSIPLES

Krus Yuriy Oleksiyovych, National University of Water Management and Nature Resources Use (Rivne), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automobile Roads, Soil Bases and Foundations, Associate Professor, alkrous@ukr.net, +38 (096) 9643443, <https://orcid.org/0000-0001-5271-7765>.

Krus Oleksiy Yuriyovych, National University of Water Management and Nature Resources Use (Rivne), Engineer of the Research Production Business-Center of the Research Department, alexkrusexp@gmail.com, +38 (096) 9190551, <https://orcid.org/0000-0002-1989-0328>

Kaskiv Volodymyr I., Candidate of Engineering Science (Ph.D.), Associate Professor, Deputy Director on Scientific Work of DerzhdorNDI SE, e-mail: vi_kas@ukr.net, tel. +380504458544, Ukraine, Kyiv, Peremohy Av., 57, <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

Gayevskiy Bogdan Volodymyrovych, National University of Water Management and Nature Resources Use (Rivne), Student of Educational and Scientific Institute of Building and Architecture, Specialization “Automobile Roads and Aerodromes”, nort22@ukr.net, +38 (096) 2615879, <https://orcid.org/0000-0002-0778-7673>

Summary: The results of numerous experimental researches on study of force influences on building constructions, buildings and structures are analysed. Is proved, that the prevailing majority of external loadings monotonously change or cyclically repeat, i.e. have variable character. Is revealed, that the action of high-level cyclic loadings (as a rule, with a few of reiterations) can cause specific deforming and destruction of materials and constructions. Examples are made from world statistics of accidents in building, that fixes numerous cases, when high-level low-cyclic force influences result in unexpected and swift fatigue failure of building and structures, thus mostly – with tragic consequences. At the same time, the fact of existence of the low-cyclic loading of high intensity and their influence on work of materials and constructions in no way is represented in the current regulatory documents.

In this connection experimental researches of work of fine-grained (cement-sandy) and coarse-grained (with ordinary fillers) concretes by high levels (near-by to destruction) of static low-cyclic loadings by central compression were conducted. The effective method of determination of low-cyclic fatigue and forecasting of cyclic durability of concrete, basing on well-known energetic prinsiples (hypotheses, criteria and correlations) is developed. The reliability of the established dependences and made conclusions proves to be true by acceptable convergence of the experimental and calculated data.

Key words: concrete, low-cyclic loadings, low-cyclic fatigue, cyclic durability, the energy prinsiples (hypotheses, criteria and correlations).

References

1. Babych Je.M., Krus' Ju.A. Betonni ta zalizobetonni elementy v umovah malocyklovyh navantazhen'. Rivne, Vyd-vo RDTU, 1999, 119 s. (In Ukrainian)

2. Krus' Ju.O. Malocyklovi navantazhennja v kompleksi vplyviv na budivel'ni konstrukcii', budivli ta sporudy. Dorogy i mosty: Zb. nauk. prac' DerzhDorNDI im. M.P.Shul'gina. U 2-h tomah: T. I. Kyi'v, 2007, vyp. 7, s. 323-343. (In Ukrainian)

3. Krus' Ju.O. Klasychni ujavlennja pro robotu pruzhno-plastychnyh materialiv v umovah cyklichnyh navantazhuvan'. Diagnostyka, dovgovichnist' ta rekonstrukcija mostiv: Zb. nauk. prac'. L'viv, Kamenjar, 2007, vyp. 9, s. 56-79. (In Ukrainian)
4. Krus' Ju.A. Malociklovaja ustalost' betona pri szhatii i rastjazhenii v fenomenologicheskoy postanovke. Beton i zhelezobeton v Ukraine. 2009, № 3(49), s. 8-17. (In Russian)
5. Krus' Ju.A. Mehanizm deformirovanija i ustalostnogo razrushenija betona v uslovijah staticheskikh malociklovyh nagruzhenij central'nym szhatiem. Zb. nauk. prac' Ukrinstal'kon im. V.M.Shymanov'skogo, Pid zag. red. d.t.n, prof. O.V.Shymanov'skogo. K., Vyd-vo «Stal'», 2016, vyp. 18, s. 132-149. (In Russian and in Ukrainian)
6. Moskvitin V.V. Ciklicheskie nagruzhenija jelementov konstrukcij. M., Nauka, 1981, 344 s. (In Russian)
7. Soprotivlenie deformirovaniju i razrusheniju pri malom chisle ciklov nagruzhenija: Sb. nauch. tr. Gos. nauch.-issled. in-ta mashinovedenija AN SSSR. M., Nauka, 1967, 171 s. (In Russian)
8. Ustalost' i vynoslivost' metallov: Sb. Statej. Per. s angl. V.K.Zhitomirskogo; Pod red. G.V.Uzhika. M., Izd-vo inostr. lit-ry, 1963, 497 s. (In Russian)
9. Bagaudinov R.M. Issledovanie naprjazhjonno deformirovannogo sostojanija betona pri statiko-povtornom malociklovom nagruzhenii: Dis. ... kand. tehn. nauk. M., 1985, 166 s. (In Russian)
10. Barashikov A.Ja., Shevchenko B.N., Valovoj A.I. Malociklovaja ustalost' betona pri szhatii. Beton i zhelezobeton. 1985, № 4, s. 27-28. (In Russian)
11. Pogoreljak A.P. Issledovanie raboty zhelezobetonnyh izgibaemyh jelementov na poperechnuju silu pri nemnogokratno povtornyh nagruzhenijah: Dis. ... kand. tehn. nauk. Rovno, 1981, 174 s. (In Russian)
12. Stavrov G.N., Rudenko V.V., Fedoseev A.A. Prochnost' i deformativnost' betona pri povtorno staticheskikh nagruzhenijah. Beton i zhelezobeton. 1985, № 1, s. 33-34. (In Russian)
13. Jakovlev S.K., Kozhuhov A.S., Totosov V.N. Rabota szhatogo betona pri povtorno-staticheskom nagruzhenii. Izv. vuzov. Ser. Stroitel'stvo i arhitektura. 1990, № 8, s. 124-127. (In Russian)
14. Bajkov V.N., Sigalov Je.E. Zhelezobetonnye konstrukcii: Obshhij kurs: Ucheb. dlja vuzov. 5-e izd., pererab. i dop. M., Strojizdat, 1991, 767 s. (In Russian)
15. Bondarenko V.M. Nachala teorii jenergeticheskogo upravlenija silovym soprotivleniem stroitel'nyh konstrukcij. Izv. vuzov. Ser. Stroitel'stvo. 1996, № 11, s. 3-12. (In Russian)
16. Bondarenko V.M., Tregubenko N.S. Opyt upravlenija pogloshheniem jenerгии pri kolebanijah konstrukcij inzhenernyh sistem. Izv. vuzov. Ser. Stroitel'stvo. 1997, № 9, s. 20-25. (In Russian)
17. Guzeev E.A., Shevchenko V.I., Sejlanov L.A. Issledovanie silovyh i jenergeticheskikh parametrov razrushenija betona po polnost'ju ravnovesnym diagrammam ego deformirovanija. Izv. vuzov. Ser. Stroitel'stvo i arhitektura. 1986, № 8, s. 1-5. (In Russian)
18. Korchinskij I.L. Ocenka nesushhej sposobnosti konstrukcij pri sejsmicheskom vozdejstvii s jenergeticheskikh pozicij. Beton i zhelezobeton. 1967, № 2, s. 24-28. (In Russian)
19. Adishhev V.V., Mitasov V.M. Jenergeticheskij podhod k modelirovaniju processa obrazovanija treshhin v izgibaemyh zhelezobetonnyh jelementah. Izv. vuzov. Ser. Stroitel'stvo. 2005, № 4, s. 26-31. (In Russian)
20. Kornev V.M., Adishhev V.V. Dostatochnye kriterii rosta makrotreshhin normal'nogo otryva v srede reguljarnoj struktury. Izv. vuzov. Ser. Stroitel'stvo. 1999, № 12, s. 9-14. (In Russian)
21. Mitasov V.M., Adishhev V.V. O primenenii jenergeticheskikh sootnoshenij v teorii soprotivlenija zhelezobetona. Izv. vuzov. Ser. Stroitel'stvo i arhitektura. 1990, № 4, s. 33-37. (In Russian)
22. Mitasov V.M. Obobshhjonaja formula peremeshhenij pri izgibe zhelezobetonnyh balok. Izv. vuzov. Ser. Stroitel'stvo i arhitektura. 1987, № 1, s. 4-7. (In Russian)
23. Stavrov G.N., Rudenko V.V. O kriterii predel'nogo sostojanija zhelezobetonnyh konstrukcij pri malociklovyh nagruzhenijah. Izv. vuzov. Ser. Stroitel'stvo i arhitektura. 1986, № 7, s. 1-4. (In Russian)
24. Altuhov V.D. Ocenka predela ustalosti betona s ispol'zovaniem kriteriev mehaniki razrushenija. Izv. vuzov. Ser. Stroitel'stvo i arhitektura. 1983, № 1, s. 17-21. (In Russian)

25. Kirillov A.P. Vynoslivost' gidrotehnicheskogo zhelezobetona. M., Jenergija, 1978, 272 s. (In Russian)
26. Kuzovchikova E.A., Jashin A.V. Issledovanie vlijaniya malociklovyyh szhimajushhih vozdeystvij na deformativnost', prochnost' i strukturnye izmeneniya betona. Izv. vuzov. Ser. Stroitel'stvo i arhitektura. 1976, № 10, s. 30-35. (In Russian)
27. Mailjan L.R. Razrabotka metodov sistemnogo kompleksnogo raschjota zhelezobetonnyh statich-eski neopredelimiyyh balok s uchjotom polnyh diagramm deformirovaniya materialov, sechenij i konstrukcij na staticheskie, povtornye i dinamicheskie vozdeystviya: Dis. ... d-ra tehn. nauk: 05.23.01. M., 1989, 584 s. (In Russian)
28. Mailjan L.R., Bekkiev M.Ju., Sil' G.R. Rabota betona i armatury pri nemnogokratno povtornyh nagruzhenijah. Nal'chik, 1984, 55 s. (In Russian)
29. Babych Je.M., Krus' Ju.O. Do pytannja pobudovy diagramy deformuvannja betonu ta vyznachennja koeficijenta povnoty epjury napruzhen'. Resursoekonomni materialy, konstrukcii', budivli ta sporudy: Zb. nauk. prac'. Rivne, Vyd-vo RDTU, 2001, vyp. 6, s. 94-104. (In Ukrainian)
30. Krus' Ju.O. Vyznachennja harakterystyk strukturnyh porushen' betonu z pozycij zminy kine-matychnyh parametriv jogo ob'jemnogo deformuvannja. Resursoekonomni materialy, konstrukcii', bu-divli ta sporudy: Zb. nauk. prac'. Rivne, Vyd-vo RDTU, 2000, vyp. 4, s. 187-194. (In Ukrainian)
31. Pisarenko G.S., Mozharovskij N.S. Uravneniya i kraevye zadachi plastichnosti i polzuchesti: Spr. posobie. Kiev, Naukova dumka, 1981, 496 s. (In Russian)
32. Martin D.E. An energy criterion for low cyclic fatigue. ASME, Jo. of Basic Eng. Ser. D. 1961, vol. 4, pp. 105-112.
33. Halford G.R., Morrow J.D. Low cyclic fatigue in torsion. Proc. Amer. Soc. for Testing and Mate-rials. 1962, vol. 62, pp. 697-707.
34. Hanstock R.F. Damping capacity, strain hardening and fatigue. Proceedings Physical Society. 1947, vol. 59, pp. 275-287.
35. Babich E.M., Krus' Ju.A., Garnickij Ju.V. Novye approksimacii zavisimosti "naprjazheniya-defor-macii", uchityvajushhie nelinejnost' deformirovaniya betonov. Izv. vuzov. Ser. Stroitel'stvo. 1996, № 2, s. 39-44. (In Russian)
36. Takeo Y., Yamanouchi H., Yamamoto S. Low cycle fatigue of thin-walled hollow cylindrical specimens of mild steel in uniaxial and torsional test at constant strain amplitude. International Journal of Fracture Mechanics. 1965, vol. 1, no. 1, pp. 463-474.
37. DSTU B V.2.7-217:2009. Budivel'ni materialy. Betony. Metody vyznachennja pryzmovoi' mic-nosti, modulja pruzhnosti i koeficijenta Puassona. Kyi'v, Minregionbud Ukrai'ny, 2010, 16 s. (In Ukrainian)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЛЬТРАЦІЯ СОЛЬОВИХ РОЗЧИНІВ У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЇХ КОНЦЕНТРАЦІЇ І ТЕМПЕРАТУРИ

EXPERIMENTAL RESEARCH OF SALT SOLUTION FILTRATION DEPENDING ON THEIR CONCENTRATION AND TEMPERATURE



Кузло Микола Трохимович, доктор технічних наук, професор, Національний університет водного господарства та природокористування, кафедра автомобільних доріг, основ та фундаментів, завідувач кафедри, kuzlo-@ukr.net, +380966890792,

<https://orcid.org/0000-0001-9242-2478>.



Жуковська Наталія Анатоліївна, кандидат технічних наук, Національний університет водного господарства та природокористування, кафедра прикладної математики, доцент, n.a.zhukovska@gmail.com, +380971170598,

<https://orcid.org/0000-0001-7839-0684>.



Бойко Михайло Віталійович, Національний університет водного господарства та природокористування, кафедра прикладної математики, асистент, bojko_ak13@nuwm.edu.ua, +380976889522,

<https://orcid.org/0000-0002-0962-8625>.



Петрови́ч Володи́мир Васи́льович, кандидат технічних наук, професор, старший науковий співробітник, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету. e-mail: petrovichvv60@ukr.net, тел. +3804428027338, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 138.,

<https://orcid.org/0000-0003-0422-2535>

Анотація: Експериментально досліджено, обґрунтовано та встановлено закономірності впливу концентрації сольових розчинів та їх температури на фільтраційні характеристики ґрунту. Виявлено суттєву відмінність між коефіцієнтом фільтрації сольових розчинів з урахуванням їх температури та фільтрацією чистої води. Дослідами встановлено, що при фільтрації сольових розчинів з концентрацією до 5% коефіцієнт фільтрації збільшився у 2 рази порівняно з фільтрацією чистої води. При подальшому збільшенні концентрації сольових розчинів спостерігається так зване явища осолонцювання ґрунтів, що призводить до різкого зменшення його водопроникності, а відповідно і коефіцієнта фільтрації.

Побудовано та перевірено на статистичну значимість і адекватність емпіричну залежність коефіцієнта фільтрації від концентрації фільтруючого розчину та температури у вигляді радіальних базисних функцій, які дозволили удосконалити математичну модель напружено-деформованого стану ґрунту з урахуванням нелінійних фільтраційних процесів, що відбуваються у ґрунтових масивах при наявності і фільтрації сольових розчинів.

Результати математичної обробки даних експериментів з дослідження залежності коефіцієнта фільтрації від концентрації фільтруючого розчину та його температури у найзручнішому вигляді з вибором оптимального масштабу наведено у вигляді графіків. Для проведення чисельних обчислень використовувалась інтерпретована об'єктно-орієнтована мова програмування Python 3.6 та бібліотека NumPy. Для побудови серверної частини веб-сервісу використано фреймворк Flask, а для клієнтської частини та візуалізації даних – мова програмування JavaScript та бібліотека Plotly.js відповідно. Розробка програмного забезпечення здійснювалася в IDE PyCharm Community Edition на базі операційної системи Ubuntu 16.04.

Ключові слова: ґрунти, фільтрація, концентрація, сольові розчини, математична модель

Вступ. Нерідко ґрунтові основи і споруди при будівництві і експлуатації підпадають дії такого техногенного фактору, як сольові розчини. Наявність сольових розчинів у ґрунтових масивах приводить зміни фільтраційних, міцностних і деформаційних властивостей ґрунту. Величина і інтенсивність зміни таких властивостей може бути суттєва, що призводить до виникнення не передбачених додаткових деформацій, порушення міцності і стійкості ґрунтових масивів тощо. Все це може ускладнювати нормальну експлуатацію будівель і споруд, а у деяких випадках призводить до аварій будівель і споруд та можуть принести значний економічний збиток.

Водопроникливість одних і тих же ґрунтів значною мірою залежить від хімічного складу і концентрації фільтруючої рідини. Дослідження, що були виконані В.С.Шаровим і Б.В.Дерягіним [1], показали, що при фільтрації сольового розчину з концентрацією до 10% через монтморіллонітову глину, коефіцієнт фільтрації збільшився у 2 рази у порівнянні з фільтрацією чистої води. Подібні дослідження були проведені нами [2] для однорідних кварцових пісків крупністю фракцій 0,25мм. Фільтруючою рідиною був розчин $NaCl$ з концентрацією від 0 до 16 % . Даними дослідженнями було встановлено, що при фільтрації сольового розчину 5% концентрацією, коефіцієнт фільтрації досягав свого максимального значення в порівнянні з коефіцієнтом фільтрації чистої води. Результати вище наведених дослідів обмежувалися тільки концентрацією фільтруючої рідини. Температурний фактор сольових розчинів досить детально, як правило, не розглядався.

Серед останніх робіт зарубіжних вчених, присвячених дослідженню лінійних та нелінійних процесів динаміки підземних вод, тепло- і масопереносу в однорідних та неоднорідних ґрунтових середовищах, слід виділити праці [3, 4, 5, 6] та інших вчених. Однак, врахування у математичних моделях нелінійних процесів, що відбуваються при фільтрації сольових розчинів в ґрунтових середовищах, вимагає їх подальший розвиток.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Як відомо, процес фільтрації сольових розчинів в ґрунтових середовищах описується достатньо складною математичною моделлю. Складність даної математичної моделі полягає в тому, що наявність у воді тих чи інших асоційованих компонентів солей впливає на в'язкість фільтруючого сольового розчину, проникливості ґрунту, а через них на коефіцієнт фільтрації k . Таким чином, коефіцієнт фільтрації залежить як від властивостей ґрунтового середовища так і від властивостей рідини, що фільтрується. Складність даного фізичного процесу привела до того, що у багатьох випадках для спрощення математичної моделі, що описує процеси масопереносу солей, приймають малі та середні концентрації компонентів, які містяться у фільтраційному розчині. Крім цього, вважають, що швидкість фільтрації розчину, тобто об'ємна його кількість, що протікає за одиницю часу через одиничну площу при заданому градієнті напору, не залежить від зміни концентрації розчину.

Однак, як впливає з описаних нижче експериментальних досліджень фільтрації сольового розчину $NaCl$ у піщаних ґрунтах, коефіцієнт фільтрації, а отже, і швидкість фільтрації можуть значно змінюватися залежно від концентрації сольового розчину та його температури.

Ґрунт є складним пористим середовищем, яке здатне пропускати через себе рідини, гази та їх суміші, тобто бути проникливим. Ступінь проникливості у різних ґрунтах різна і визначається їх хіміко-мінеральним складом, структурно-текстурними особливостями, концентрацією рідини, що фільтрується, а також умовами при яких проходить фільтрація (величина напірного градієнта, температура тощо). Найменш вивченим і найбільш важливим з усіх перерахованих факторів є властивості рідини, що фільтрується.

Мета і методи. Для вивчення параметрів фільтрації сольових розчинів в піщаних ґрунтах і встановлення кількісної оцінки їх впливу на проникливість ґрунтів нами в геотехнічній лабораторії кафедри основ і фундаментів Національного університету водного господарства і природокористування

(НУВГП) виконано серію експериментів з визначення коефіцієнта фільтрації з урахуванням концентрації сольового розчину та його температури. З метою зменшення похибки експерименту і впливу різноманітних факторів, досліди проводили для однорідних кварцових пісків. дрібних. Фільтруючою рідиною був розчин $NaCl$ з концентрацією від 0 до 160 г/л. Визначення коефіцієнта фільтрації сольового розчину виконувалось на стандартному приладі КФ-1. Підготовка приладу і ґрунту, що досліджувався, а також проведення самого експерименту, виконувалось за стандартною методикою відповідно з ДСТУ Б В.2.1-23:2009 [7].

Результати пояснення. Результати проведених досліджень коефіцієнта фільтрації залежно від концентрації фільтруючого розчину і його температури для одиничного градієнта напору наведені в таблиці 1.

В результаті математичної обробки даних експериментів методом радіальних базисних функцій отримано наступну залежність коефіцієнта фільтрації від концентрації фільтруючого розчину та його температури:

$$k(c, T) = \sum_{j=1}^{36} a_j \sqrt{1 + (c - c_j)^2 + (T - T_j)^2}, \quad (1)$$

де c – значення концентрації фільтруючого розчину, c_j – експериментальні значення концентрації фільтруючого розчину, T – температура, T_j – експериментальні значення температури, a_j – коефіцієнти апроксимуючої функції, що визначаються як

$a_1 = -0,003$, $a_2 = 0,007$, $a_3 = -0,013$, $a_4 = 0,008$, $a_5 = 0,009$, $a_6 = 0,026$, $a_7 = 0,001$, $a_8 = 0,017$, $a_9 = -0,028$, $a_{10} = -0,029$, $a_{11} = 0,008$, $a_{12} = 0,024$, $a_{13} = 0,006$, $a_{14} = -0,050$, $a_{15} = -0,069$, $a_{16} = 0,005$, $a_{17} = -0,011$, $a_{18} = 0,022$, $a_{19} = 0,018$, $a_{20} = -0,068$, $a_{21} = -0,007$, $a_{22} = 0,005$, $a_{23} = 0,039$,

Таблиця 1 – Результати досліджень коефіцієнта фільтрації залежно від концентрації фільтруючого розчину і його температури.

Table 1 – The results of filtration coefficient research depending on filtration solution concentration and its temperature

$C, \text{г/л}$	Коефіцієнт фільтрації $k, \text{м/добу}$			
	$t = 16^\circ \text{C}$	$t = 25^\circ \text{C}$	$t = 50^\circ \text{C}$	$t = 75^\circ \text{C}$
0	0,20	0,22	0,78	0,80
20	0,30	0,32	0,96	1,00
40	1,20	1,43	1,80	1,88
60	0,40	0,50	3,24	3,50
80	0,38	0,43	2,24	4,90
100	0,40	0,44	1,22	4,00
120	0,39	0,44	0,96	1,80
140	0,39	0,45	0,80	1,60
160	0,40	0,47	0,60	1,60

Результати математичної обробки даних експериментів з дослідження залежності коефіцієнта фільтрації від концентрації фільтруючого розчину та його температури за формулою (1) наведено у вигляді графіка, що зображено на рис. 1. Для проведення чисельних обчислень використовувалась інтерпретована об'єктно-орієнтована мова програмування Python 3.6 та бібліотека NumPy. Для побудови серверної частини веб-сервісу використано фреймворк Flask, а для клієнтської частини та візуалізації даних – мова програмування JavaScript та бібліотека Plotly.js відповідно. Розробка програмного забезпечення здійснювалася в IDE PyCharm Community Edition на базі операційної системи Ubuntu 16.04.

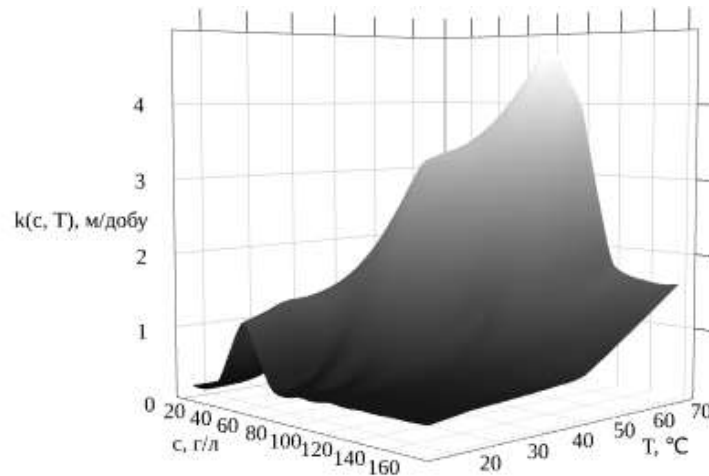


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта фільтрації від концентрації фільтруючого розчину та температури

Figure 1 – Dependence of filtration coefficient on concentration of filtrating solution and temperature

Наявність і фільтрація сольових розчинів у ґрунтових середовищах, як показують лабораторні експерименти, супроводжуються процесами взаємодії між рідкими фазами (розчинами) і твердою фазою (мінеральними частинками). Дані процеси приводять до зміни складу і концентрації сольових розчинів і таким чином впливають на швидкість фільтрації (коефіцієнт фільтрації). Так, при збільшенні концентрації сольового розчину $NaCl$ від 0 до 4 – 8% коефіцієнт фільтрації різко зростає. При даній концентрації сольових розчинів отримали максимальне значення коефіцієнта фільтрації, який збільшився у 2 – 4 рази порівняно з фільтрацією чистої води. При подальшому збільшенні концентрації сольових розчинів спостерігається так зване явище осолонцювання ґрунтів, що призводить до різкого зменшення їх водопроникності, а відповідно і коефіцієнта фільтрації. Таку закономірність можна пояснити на основі фізико-хімічних процесів, що відбуваються між мінеральними частинками (твердою фазою) і сольовими розчинами (рідкою фазою). У даному випадку ми маємо дисперсну систему. Поверхнева енергія такої системи вимірюється поверхневим натягом, що виникає на межі дотику дисперсної фази з дисперсним середовищем і величиною сумарної поверхні всіх частин дисперсної фази. Будь-яка дисперсна система намагається зменшити свою поверхневу енергію. В системі “мінеральні частинки + розчин” може відбуватися її зменшення як за рахунок зниження величини сумарної поверхні, так і зменшення поверхневого натягу рідини. Останній фактор і призводить до стиснення дифузійних шарів рідини, а отже, і до додаткового ущільнення ґрунтів та збільшення коефіцієнта фільтрації.

Значний вплив на водопроникність і стисливість ґрунтів чинить склад обмінних катіонів. Так, насичення ґрунтів іоном натрію викликає помітне зменшення їх водопроникності і стисливості. Різким пониженням водопроникності і стисливості ґрунту від наявності обмінного катіона пояснюється його диспергуючою дією. У результаті чого зменшуються розміри пор і утворення в ґрунті значної кількості зв’язаної води, що призводить до зменшення водопроникності ґрунтів.

Крім того, слід зауважити, що при наявності сольових розчинів в таких дисперсних системах, як ґрунти, крім двох компонентів, твердої дисперсної фази і рідкого дисперсного середовища завжди присутній і третій компонент – електроліт, яким є сольовий розчин. При розчиненні солей у воді мінеральні частки ґрунту не залишаються пасивними до молекул або іонів розчинних солей. Дипольні молекули води, орієнтуючись в силовому полі молекул або іонів розчинної солі, утворюють навколо нього ущільнений гідратаційний шар. Гідратуються, або як кажуть у таких випадках, змочуються і тверді мінеральні частки. Так, дуже гідрофільні є глинисті ґрунти. Залежно від ступеня гідрофільності поверхня утримує різну кількість гідратаційної, або, як її називають, зв’язаної води. Вміст зв’язаної води у глинах доходить до 25%, що призводить до зменшення водопроникності ґрунтів.

Встановлена залежність коефіцієнта фільтрації від концентрації фільтруючого розчину та температури представляє науковий та практичний інтерес і в подальшому може використовуватись при побудові математичних моделей задач підземної гідромеханіки та аналізі фільтруючих властивостей ґрунтових середовищ.

Зокрема, в загальному випадку, математична модель, що описує напружено-деформований стан ґрунтових середовищ при врахуванні коефіцієнта фільтрації залежно від концентрації фільтруючого розчину та його температури в двовимірному випадку, має наступний вигляд [8, 9]:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + X &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + Y &= 0, \quad \mathbf{X} \in \Omega,\end{aligned}\quad (2)$$

$$X = \frac{dp_1}{dx}, \quad Y = \gamma_{\text{ж}} + \frac{dp_2}{dy}, \quad p_1 = \gamma_p(h(\mathbf{X}) - x), \quad p_2 = \gamma_p(h(\mathbf{X}) - y), \quad (3)$$

$$\nabla \cdot (\mathbf{D} \nabla c) + \nabla \cdot (\mathbf{D}_T \nabla T) - (\mathbf{v}, \nabla c) = n_p \frac{\partial c}{\partial t}, \quad \mathbf{X} \in \Omega, \quad t > 0, \quad (4)$$

$$\nabla \cdot (\lambda_T \nabla T) - \rho c_p \mathbf{v} \nabla T = c_T \frac{\partial T}{\partial t}, \quad \mathbf{X} \in \Omega, \quad t > 0, \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(-\mathbf{K}(c, T) \frac{\partial h}{\partial x} + \mathbf{v}_c \frac{\partial c}{\partial x} + \mathbf{v}_T \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-\mathbf{K}(c, T) \frac{\partial h}{\partial y} + \mathbf{v}_c \frac{\partial c}{\partial y} + \mathbf{v}_T \frac{\partial T}{\partial y} \right) = 0, \quad (6)$$

$$\mathbf{v} = -\mathbf{K}(c, T) \nabla h + \mathbf{v}_c \nabla c + \mathbf{v}_T \nabla T, \quad \mathbf{X} \in \Omega, \quad t > 0, \quad (7)$$

$$\varepsilon_x = \frac{\partial U}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial V}{\partial y}, \quad \varepsilon_{xy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right), \quad \mathbf{X} \in \Omega, \quad (8)$$

$$\sigma_x = \lambda \varepsilon_\theta + 2\mu \varepsilon_x, \quad \sigma_y = \lambda \varepsilon_\theta + 2\mu \varepsilon_y, \quad \tau_{xy} = 2\mu \varepsilon_{xy}, \quad \mathbf{X} \in \Omega \quad (9)$$

при відповідних крайових умовах для переміщень, напружень, концентрації фільтруючого розчину, температури та п'єзометричного напору в деякій досліджуваній області Ω . Тут використані наступні позначення: $\mathbf{X} = (x, y)$ – точка області Ω ; λ, μ – пружні сталі; $c(\mathbf{X}, t)$ – концентрація фільтруючого розчину; $T(\mathbf{X}, t)$ – температура; $h(\mathbf{X})$ – п'єзометричний напір; p_1, p_2 – фільтраційні тиски фільтруючого розчину; $\gamma_{\text{ж}}$ – питома вага ґрунту, що знаходиться в зваженому стані; $\mathbf{v}$ – вектор швидкості фільтрації; n_p – об'єм сольового розчину води в одиниці об'єму ґрунту; $\mathbf{D}$ – коефіцієнт (тензор) конвективної дифузії; $\mathbf{D}_T$ – коефіцієнт (тензор) термодифузії; λ_T – коефіцієнт (тензор) ефективної теплопровідності вологого ґрунту; ρ – густина сольового розчину; c_p – питома теплоємність сольового розчину; c_T – об'ємна теплоємність ґрунту при сталому об'ємі; $\mathbf{K}(c, T)$ – коефіцієнт (тензор) фільтрації, що обчислюється за формулою (1); $\mathbf{v}_c$ – коефіцієнт (тензор) хімічного осмосу, $\mathbf{v}_T$ – коефіцієнт (тензор) термічного осмосу; $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_{xy}, \sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ – нормальні та дотичні деформації та напруження; t – час.

Висновки та рекомендації. Отримані експериментальні дані, а також їх статистична обробка дали змогу кількісно і якісно оцінити процеси фільтрації солевих розчинів у ґрунтових середовищах залежно від властивостей фільтруючої рідини, тобто від її концентрації і температури. Дані експериментальних досліджень можна використовувати при оцінці стану ґрунтових основ і споруд за деформаціями та несучою здатністю. Подальшими дослідженнями можуть бути оцінка напружено-деформованого стану ґрунтових основ і споруд з урахуванням нелінійних процесів, що відбуваються при фільтрації солевих розчинів різної із змінною температурою.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF SALT SOLUTION FILTRATION DEPENDING ON THEIR CONCENTRATION AND TEMPERATURE

Kuzlo Mykola Trohymovych, doctor of technical sciences, professor, National university of water management and environmental engineering, department of highways, basis and foundations, head of department kuzlo-@ukr.net, +380966890792, <https://orcid.org/0000-0001-9242-2478>.

Zhukovska Nataliya Anatoliyivna, candidate of technical sciences, National university of water management and environmental engineering, department of applied mathematics, associate professor, n.a.zhukovska@gmail.com, +380971170598, <https://orcid.org/0000-0001-7839-0684>.

Boyko Mykhaylo Vitaliyovych, National university of water management and environmental engineering, department of applied mathematics, junior lecturer bojko_ak13@nuwm.edu.ua, +380976889522, <https://orcid.org/0000-0002-0962-8625>.

Petrovich V.V., Candidate of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher, Professor of the Transportation Construction and Property Management Department, National Transport University. e-mail: petrovichvv60@ukr.net, tel. +3804428027338, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, room 138., <https://orcid.org/0000-0003-0422-2535>

Abstract: The laws of salt solution concentration's influence and their temperature on soil filtration characteristics have been experimentally investigated, substantiated and determined. A significant difference was found between the filtration coefficient of saline solutions, taking into account their temperature and the filtration of pure water. Experiments have shown that under the process of saline solutions filtration with a concentration of up to 5%, the filtration coefficient increased 2 times compared with the filtration of pure water. With a further increase in the concentration of saline solutions there is a so-called phenomenon of soil salinization, which leads to a sharp decrease in its water permeability, and, as a result, the filtration coefficient.

The empirical dependence of the filtration coefficient on the concentration of the filter solution and temperature in the form of radial basis functions was constructed and tested for statistical significance and adequacy, which allowed to improve the mathematical model of the stress-strain state of the soil taking into account the nonlinear filtration processes in the presence of non-linear filtration processes solutions.

The results of mathematical processing of these experiments for investigation of the dependence of the filtration coefficient on the concentration of the filter solution and its temperature in the most convenient form with the choice of the optimal scale are shown in graphs. Python 3.6 programming language and NumPy library were used for numerical calculations. Flask framework was used to build the server part of the web service, and JavaScript and Plotly.js library were used for the client part and data visualization. The software was developed in the IDE PyCharm Community Edition based on the Ubuntu 16.04 operating system.

Key words: soils, filtration, concentration, salt solutions, mathematical model.

References

- 1 Gruntovedeniye / Pod red. Ye. M. Sergeyeva. – M.: Izd.-vo MGU, 1983.- 390 p.
2. Vlasyuk A.P., Kuzlo M.T. Eksperymental'ni doslidzhennya deyakikh parametriv fil'tratsiyi sol'oviykh rozchyniv u pishchanykh hruntakh // Melioratsiya i vodne hospodarstvo. – 2001.- Vyp.. 87. – P. 139 – 145.
3. Bohnhoff G. L., Shackelford C. D. Salt diffusion through a bentonite-polymer composite / G. L. Bohnhoff, C. D. Shackelford // Clays and Clay Minerals. – 2015. - Vol. 63, No. 3. - PP. 145-162.
4. Neuzil C. E., Person M. Reexamining ultrafiltration and solute transport in groundwater / C. E Neuzil, M. Person // Water Resour. Res. – 2017. – 53. – Pp. 4922–4941.
5. Bonelli S. Approximate solution to the diffusion equation and its application to seepage-related problems / S. Bonelli // Applied Mathematical Modeling. – 2009. – V. 33. – P. 110–126.
6. Chernuha O. Admixture mass transfer in a body with horizontally periodical structure / O. Chernuha // Ibid. – 2005. – V. 48. – P.2290–2298.
7. Hrunty. Metody laboratornoho vyznachennya koefitsiyenta fil'tratsiyi: DSTU B V.2.1-23:2009. [Chynni vid 2009-12-22]. – K.: Minrehionbud Ukrayiny. Derzhavne pidpryemstvo "Ukrarkhbudinform", 2010. – 12 p. – (Derzhavnyy standart Ukrayiny).
8. Vlasyuk A.P. Mathematical simulation of the stressed-strained state of the foundation of earth dams with an open surface under the influence of heat and mass transfer in two-dimensional case / A.P. Vlasyuk, N.A. Zhukovskaya // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. March 2015, Volume 88, Issue 2, pp. 329-341.
9. Vlasyuk A.P. Mathematical Modelling of three-dimensional problem of soil mass stressed-strained state considering mass and heat transfer / A.P. Vlasyuk, N.A. Zhukovska, V.V. Zhukovskyy, Aleksandra Klos-Witkowska, Ihor Pazdriy, Uliana Iatskyovska // Proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, September.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ НА ПІДХОДАХ ДО МОСТІВ З АСФАЛЬТОБЕТОННИМ ПОКРИТТЯМ

PROVIDING DURABILITY OF ROAD CLOTHES ON APPROACHES TO BRIDGES WITH ASPHALT CONCRETE COATING



Кушнір Олександр Володимирович, Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, аспірант, dornii48@gmail.com, +380974432495,

<https://orcid.org/0000-0002-2487-4234>

Анотація. В статті розглядаються особливості дорожніх конструкцій в зоні сполучення мосту і насипу, що вже знаходяться в експлуатації та сучасні конструктивні рішення чинних нормативних документів. Відмічено основні види дефектів дорожнього одягу.

Об'єкт дослідження – конструкції дорожнього одягу в зоні сполучення моста і насипу.

Мета роботи – аналіз зміни прогину поверхні покриття по довжині дорожньої конструкції мостового переходу з урахуванням впливу перехідної плити та термореологічних властивостей асфальтобетону.

Метод дослідження – визначення величини вертикального переміщення поверхні асфальтобетонного покриття при дії розрахункового навантаження по довжині дорожньої конструкції мостового переходу в зоні спряження з мостом в залежності від температури та часу дії навантаження.

Більше половини мостів в Україні влаштовано з перехідними плитами. Основні дефекти дорожнього асфальтобетонного покриття в зоні сполучення мосту і насипу – просадки ґрунту підходів, тріщини в асфальтобетонному покритті, розмиви ґрунту, протікання води. Ці дефекти призводять до зменшення довговічності асфальтобетонного покриття на мостових переходах.

Зміни відносного прогину поверхні асфальтобетонного покриття дорожніх конструкцій по відношенню до прогину конструкції поза межами перехідної плити виникає небезпека «клавішного ефекту», що пояснює утворення відповідних дефектів і призводить до зменшення довговічності конструкцій дорожнього одягу.

Результати статті можуть бути упроваджені при проектуванні дорожніх одягів в зоні сполучень мостів і шляхопроводів з автомобільною дорогою і технології їх ремонту та будівництва.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – пошук оптимальної конструкції дорожнього одягу в зоні сполучень мостів і шляхопроводів з автомобільною дорогою.

Ключові слова: підходи до мостів, дорожній одяг, асфальтобетонне покриття, перехідні плити.

Вступ. Основним завданням у місцях сполучення мостів з автомобільною дорогою є забезпечення плавного переходу загальної жорсткості від конструкції насипу підходів до більш жорсткої конструкції прогонової будови мосту. Однак у процесі їх експлуатації виникають різні види дефектів, що значно погіршують безпеку руху та знижують довговічність мостів, а також конструкції дорожнього одягу у зоні спряження [1-6]. До основних видів дефектів відносять просадки ґрунту підходів (Рисунок 1.а), тріщини в асфальтобетонному покритті (Рисунок 1.б), розмиви ґрунту (Рисунок 1.в), протікання води (Рисунок 1.г). Частково ця проблема вирішується влаштуванням перехідних залізобетонних плит (Рисунок 2) і деформаційних швів для компенсації температурних переміщень [7]. Незважаючи на це, на багатьох об'єктах у процесі експлуатації спостерігаються розмиви ґрунту під перехідними плитами, протікання води по шафовим стінкам опор, намокають торці балок, що викликає корозійні процеси в бетоні і арматурі [3, 8, 9].

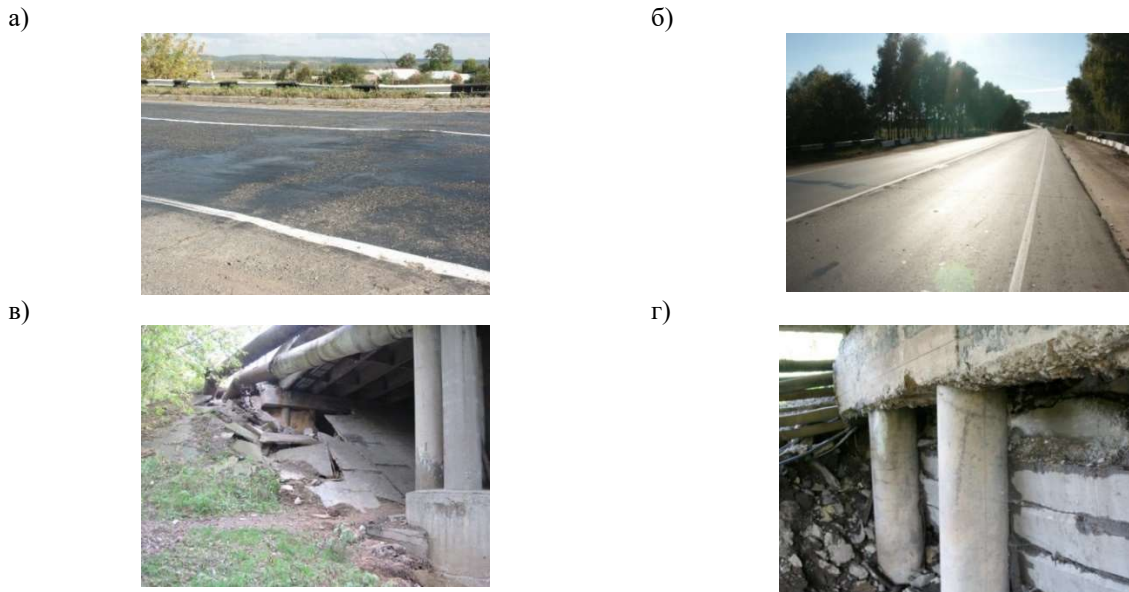


Рисунок 1 – Приклади деформацій і руйнувань в зоні спряження дорожніх конструкцій з мостами, де а – просідання насипу на підходах перед опорою мосту на а/д М-12, км 253+930; б – вид на проїзну частину моста на а/д М-12, км 265+903 в напрямку Вінниці; в – розмиви ґрунту [8]; г – вигин стійки опори по осі через тиск старої перехідною плити та протікання води [9]

Figure 1 - Examples of deformations and fractures in the area of the coupling of road constructions with bridges, where a- is the subsidence of the embankment on the approaches in front of support of bridge on the road M-12, km 253 + 930; b - the view on the travel part of the bridge on the road M-12, km 265 + 903 in the direction of Vinnitsa; c - erosion of the soil [8]; g - the bend of the support stand on the axis through the pressure of the old transition plate and the flow of water [9]

Вітчизняними фахівцями ще у 70-і роки минулого століття були систематизовані та узагальнені проблеми спряження автомобільних доріг з мостами, що дозволило розробити практичні рекомендації [10]:

- у конструкцію сполучення мосту (шляхопроводу) з насипом входить частина земляного полотна за береговою опорою мосту (яку відсипають з дренажного ґрунту), що закінчується закриваючим опору конусом. Дорожнє покриття в цьому місці влаштовують з використанням перехідних плит;
- залежно від типу покриття, що влаштовується на підходах до мосту, застосовують три типи перехідних плит: при цементобетонному покритті - поверхневі плити (рисунок 2.а), при асфальтобетонному - напівзаглиблені (рисунок 2.б) і заглиблені (рисунок 2.в);
- напівзаглиблені плити застосовують при асфальтобетонних покриттях, які влаштовуються на жорстких (цементобетонних основах) і основах з кам'яних матеріалів, укріплених цементом, гранульованим доменним шлаком, меленим шлаком, золою винесення та ін.
- заглиблені плити укладають при асфальтобетонних покриттях, які влаштовуються на нежорстких основах з кам'яних матеріалів різної міцності, а також шлакового щебеню, оброблених органічними в'язучими в установці або на місці проведення робіт.
- довжину перехідних плит призначають в залежності від очікуваної висоти насипу.

Враховуючи досвід попередніх років досліджень [11] у нинішніх чинних будівельних нормах [12] для забезпечення спряження передбачено:

- у з'єднанні автодорожніх і міських мостів з насипом укладання залізобетонних перехідних плит довжиною, як правило, не більше 8 м.
- мостах зі стоянами, що обпираються безпосередньо на насип (диванного типу), довжину перехідних плит слід приймати 2 м.
- при техніко-економічному обґрунтуванні рекомендується стояни мостів проектувати не обсипними.
- при з'єднанні обсипних стоянів з насипами підходів необхідно, щоб після осідання насипу і конуса частина стоянів, що примикає до насипу або вільної консолі (в автодорожніх мостах), входила в конус на величину (рахуючи від вершини конуса насипу на рівні брівки полотна до грані конструкції,

що з'єднується з насипом,) не менше 0,75 м при висоті насипу до 6 м і не менше 1 м при висоті насипу понад 6 м.

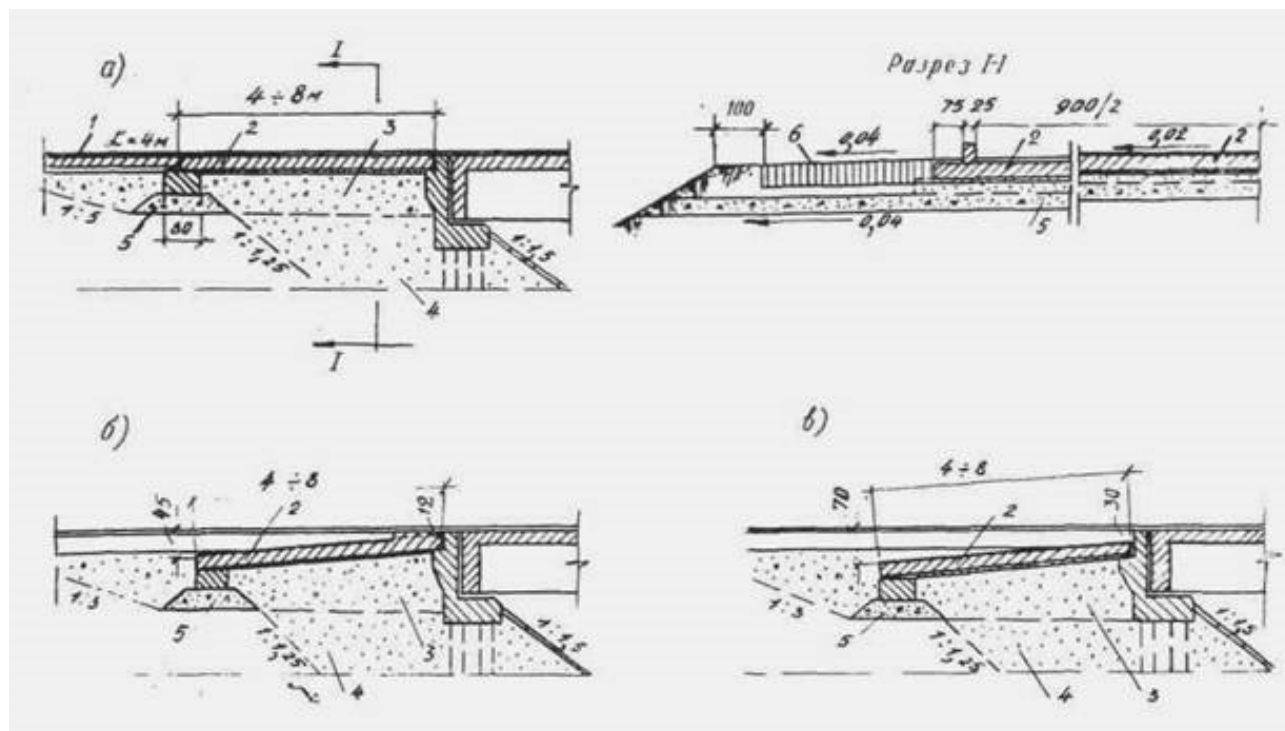


Рисунок 2 – Конструкції сполучення моста з насипом для цементобетонних покриттів (а) і для асфальтобетонних покриттів - напівзаглибленої плити (б), заглибленої плити (в): де 1 - проміжна плита; 2 - перехідна плита; 3 - крупно- і середньозернистий пісок; 4 - дренажний ґрунт; 5 - гравійно-щебенева подушка; 6 - укріплений ґрунт або асфальтобетон

Figure 2 - Constructions connection of the bridge with embankment for cement-concrete coatings (a) and for asphalt concrete coatings- semi-insulated plate (b), deepened plate(c): where 1 - intermediate plate; 2 - transition plate; 3 - large and medium grained sand; 4 - drainage soil; 5 – gravel-rubble pillow; 6 - reinforced soil or asphalt concrete

В зарубіжній практиці будівництва мостів і шляхопроводів малої і середньої довжини (загальною довжиною до 100 м) активно впроваджуються інтегральні (рис. 3) та інші схеми споруд [2].

На практиці маємо наступне. При розробці і наповненні бази даних АСУМ [13] спеціалісти ДП «ДерждорНД», виділяють п'ять типів мостів, щодо перехідних плит:

- без перехідних плит;
- з плитою Г-подібного типу;
- з перехідною плитою і проміжною плитою;
- не визначені (щодо конструкції перехідних плит);
- з перехідною плитою і поперечним опорним лежнем.

Аналіз 4616 мостів бази АСУМ (Рисунок 4), щодо типу сполучення мостів з насипом, виявив що:

- на 34 % мостів, їх сполучення з насипом виконано без перехідних плит;
- на 35 % мостів сполучення виконано з перехідною плитою і поперечним опорним лежнем;
- на 10 % мостів влаштовано проміжні плити;
- на 1 % мостів влаштовано плити Г-подібного типу;
- на 20 % тип сполучення не встановлено.

Результати обстежень і аналіз існуючої дорожньої конструкції мостового переходу свідчать, що вони, не забезпечують необхідної довговічності дорожнього покриття. На ньому вже через 2-3 роки виникають тріщини і інші дефекти [3, 14]. Основною причиною цього є те, що традиційні конструкції сполучення мосту з насипом та дорожнього одягу мостового полотна та підходів до мосту, не забезпечують плавну зміну напружено-деформаційного стану в зоні зміни конструкції дорожнього одягу [3-6, 16].

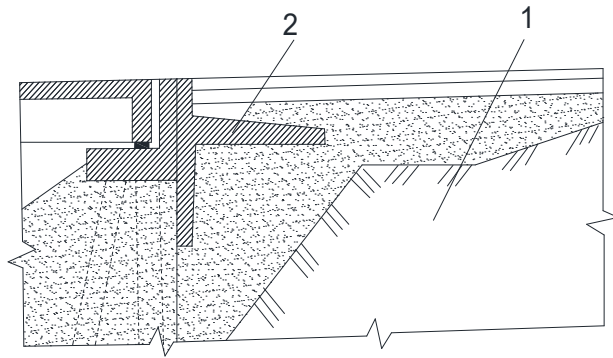


Рисунок 3 – Інтегральна перехідна плита:
 1 – ґрунт насипу підходів; 2 - перехідна плита
 жорсткої консольної конструкції

Figure 3 - Integral transition plate: 1 -the soil of the embankment approaches; 2 - a transition plate of a rigid console construction



Рисунок 4 – Співвідношення різних типів сполучення мостів з насипом на дорогах України загального і місцевого значення

Figure 4 - The correlation of different types connection of bridges with embankment on the roads of Ukraine of general and local significance

Мета і методи

Метою даних досліджень є аналіз зміни прогину поверхні покриття по довжині дорожньої конструкції мостового переходу з урахуванням впливу перехідної плити та термореологічних властивостей асфальтобетону.

Для дослідження прийнято один із найбільш поширених варіантів конструкції сполучення моста з насипом для асфальтобетонного покриття з напівзаглибленою плитою (Рисунок 2.б) довжиною 6 м. Така конструкція дорожнього одягу передбачає плавний перехід напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття від місця обпирання перехідної плити на опору мосту до місця закінчення перехідної плити, де його конструкція відповідає запроектованій для даної автомобільної дороги.

Дослідження проводили на прикладі автомобільної дороги загального користування III категорії з капітальним дорожнім одягом в дорожньо-кліматичній зоні У-2 дорожньо-кліматичного району П.Р.1, розрахункове навантаження – A_2 . Для цього, з певним наближенням, визначали величину вертикального переміщення поверхні асфальтобетонного покриття при дії розрахункового навантаження по довжині дорожньої конструкції мостового переходу в зоні спряження з мостом в залежності від температури та часу дії навантаження. Розрахункові характеристики дорожньо-будівельних матеріалів встановлювали за табличними даними чинних нормативних документів [17- 20].

Результати і пояснення

Конструкція дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям в межах зони спряження (в зоні середини перехідної плити, в зоні закінчення перехідної плити і безпосередньо за перехідною плитою) показана на рисунку 5.

Результати зміни відносного прогину кожної конструкції дорожнього одягу в залежності від температури показано на рис. 6. Аналіз цих даних свідчить, що прогин для розглянутих температур при їх збільшенні зростає. Більші темпи зростання відносного прогину спостерігаються на поверхні покриття конструкції, що знаходиться в середині перехідної плити (рис. 6.а). При температурі 40 °C він збільшується у 2,5 рази. Для конструкції що знаходиться на краю плити та конструкції дорожнього одягу автомобільної дороги відносний прогин збільшується меншими темпами, майже однаково, і при 40 °C зростає майже в 1,6 рази (Рисунки 6.б і 6.в). Загальне збільшення відносного прогину розглянутих дорожніх конструкцій пов'язане з тим, що зі збільшенням температури зменшується модуль асфальтобетонних шарів. Підвищена температурна чутливість конструкції, що представлена на рисунку 5.а пояснюється наявністю трьох асфальтобетонних шарів загальною товщиною 25 см у порівнянні з двома шарами асфальтобетону для конструкцій 5.б та 5.в. Близькі значення характеру зміни прогинів від температури для цих конструкцій можуть сприяти більш плавному переходу напружено-деформованого стану від дорожніх конструкцій над плитою до дорожньої конструкції автомобільної дороги.

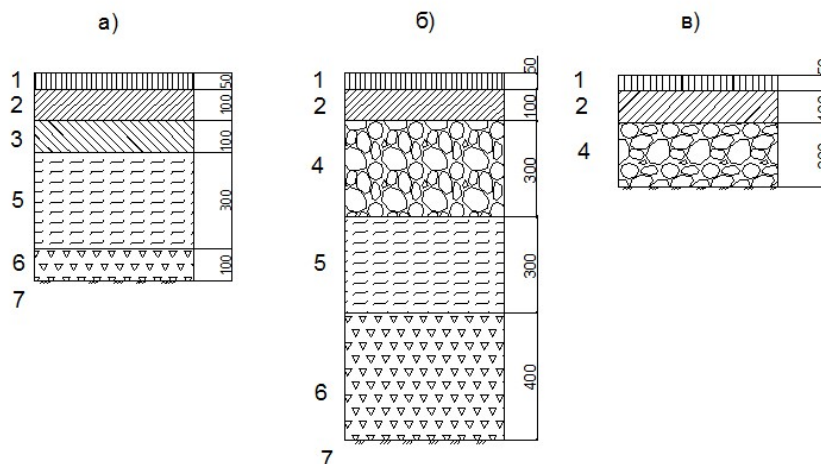


Рисунок 5 – Конструкція дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям в межах зони спряження з перехідною плитою довжиною 6 м: а – конструкція в зоні середини плити; б – конструкція в зоні закінчення перехідної плити; в – конструкція безпосередньо за перехідною плитою; 1 – верхній шар покриття з асфальтобетону; 2 – нижній шар покриття з асфальтобетону; 3 – верхній шар основи з асфальтобетону; 4 – нижній шар основи з щебенево-піщаної суміші; 5 – перехідна плита; 6 – шар з щебеню; 7 – ґрунт (пісок середньої крупності)

Figure 5 - Construction of road clothing with asphalt concrete coating within the zone of coupling with a transition plate length 6 m: a - construction in the zone of the middle of plate; б - construction in the zone of the end of the transition plate; в - construction directly behind the transition plate; 1 - top layer of asphalt concrete coating; 2 - bottom layer of asphalt concrete coating; 3 - the top layer of the base of asphalt concrete; 4 - the bottom layer of the base of gravel-sand mixture; 5 - transition plate; 6 - a layer of rubble; 7 - soil (sand of medium size)

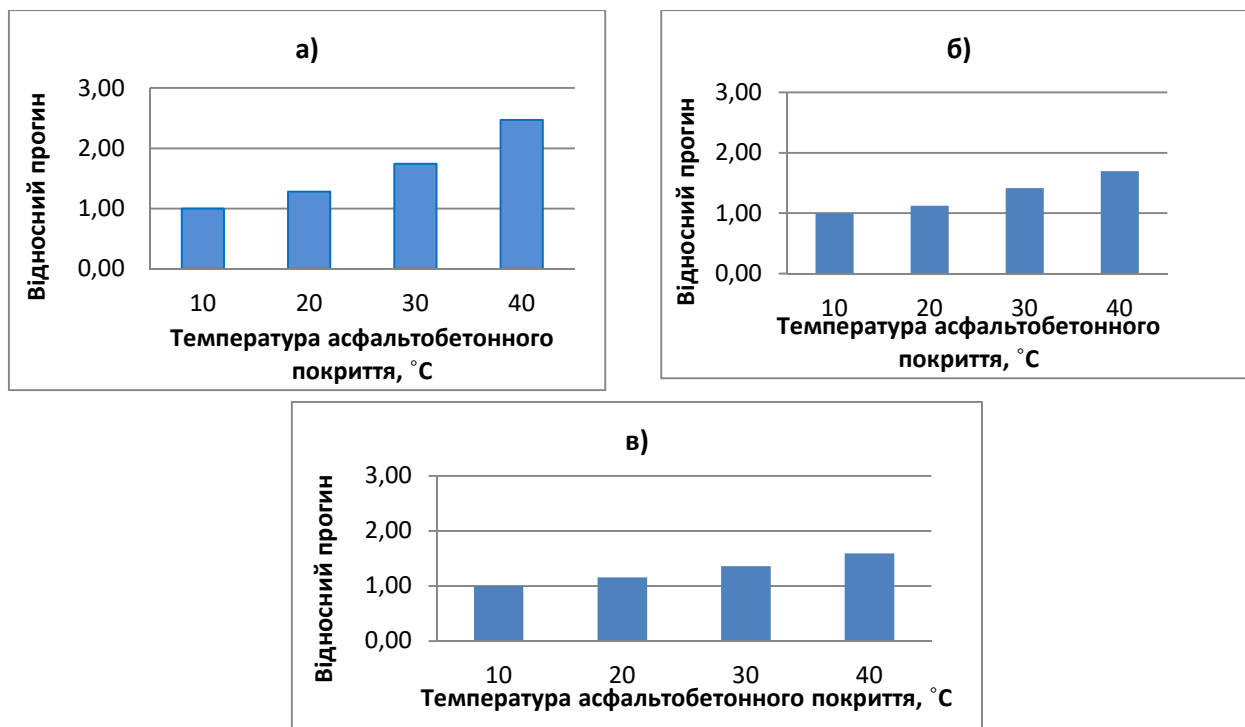


Рисунок 6 – Зміна прогину покриття при динамічній дії навантаження. Графіки а, б і в відповідають конструкціям дорожнього одягу а, б і в, рисунку 5

Figure 6 – Change the deflection of the coating with dynamic load action. Graphs a, б and в correspond to the designs of road clothes a, б and в, fig. 5

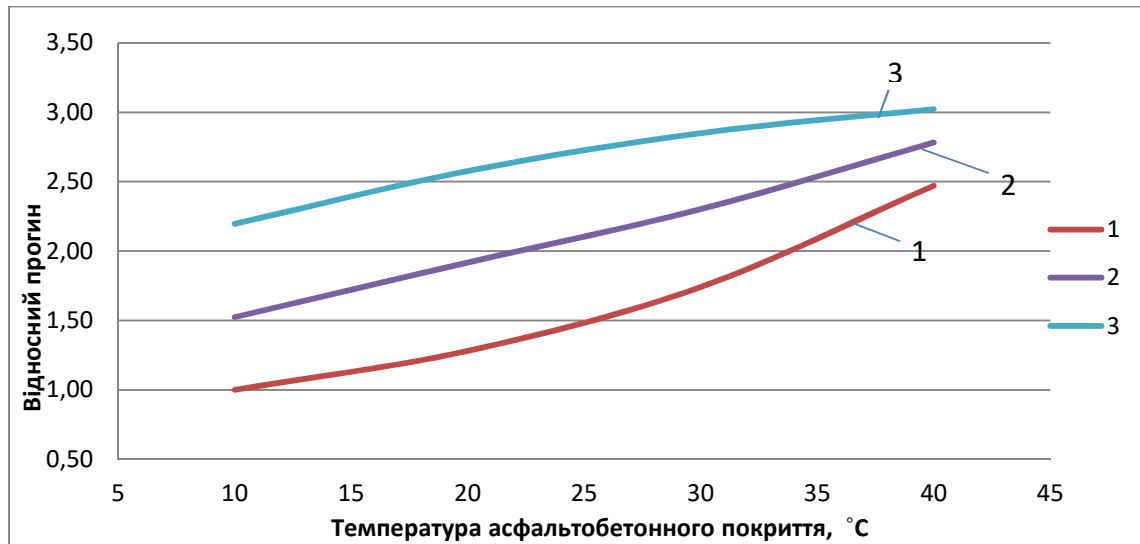


Рисунок 7 – Зміна відносного прогину покриття при динамічній дії навантаження по відношенню до прогину конструкцій при температурі 10 °C. Графіки 1, 2 і 3 відповідають конструкціям дорожнього одягу а, б і в рисунку 5, відповідно

Figure 7 – Change relative deflection of the coating with the dynamic action of the load relative to the deflection of constructions at a temperature of 10 °C. Graphs 1, 2 and 3 correspond to the designs of road clothes a, b and c, Fig. 5, respectively

Висновки

Більше половини мостів в Україні влаштовано з перехідними плитами. Основні дефекти дорожнього асфальтобетонного покриття в зоні сполучення мосту і насипу – просадки ґрунту підходів, тріщини в асфальтобетонному покритті, розмиви ґрунту, протікання води. Ці дефекти призводять до зменшення довговічності асфальтобетонного покриття на мостових переходах.

Як слідує із аналізу результатів зміни відносного прогину поверхні асфальтобетонного покриття дорожніх конструкцій (для прикладу з напівзаглибленою плитою) по відношенню до прогину конструкції поза межами перехідної плити виникає небезпека «клавішного ефекту», що пояснює утворення відповідних дефектів і призводить до зменшення довговічності конструкцій дорожнього одягу.

Виходячи з того, що основною умовою влаштування сполучень мосту з насипом є забезпечення плавності зміни загальної жорсткості на весь період експлуатації дороги з урахуванням температурної чутливості асфальтобетону, необхідно продовжувати дослідження причин деформацій і руйнувань дорожнього покриття біля мостів для підвищення його довговічності. Потребують подальшого вдосконалення конструкції сполучень мостів і шляхопроводів з автомобільною дорогою і технології їх ремонту та будівництва.

Перелік посилань

1. Коваль П.М. Робота асфальтобетонного покриття в зоні примикання деформаційних швів на автодорожніх мостах / Коваль П.М., Кушнір О.В., Боднар Л.П., Панібратець Л.Г. // Дороги і мости. Зб. наук. ст. ДерждорНДІ, Київ. – 2015. – №15. – С. 87-93.
2. Трифонова А. А. Тенденции совершенствования деформационных швов автодорожных мостов / Трифонова А. А., Бахарев В. А., Ганец Г. В. // Молодой ученый. – 2016. – №12. – С. 394-397. – <https://moluch.ru/archive/116/31293>.
3. Валиев Ш. Н. Особенности работы покрытия проезжей части в зоне деформационных швов мостовых сооружений / Валиев Ш. Н., Смоленкин В.С. // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» – 2014. – № 3.
4. Пегин П. А. Обеспечение ровности дорожного покрытия и безопасности движения транспортных средств в местах сопряжения моста с насыпью / Пегин П. А., Лапин А. В. // ВЕСТНИК. Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). –2012. – № 3(30). – С. 92-95.

5. Тодирика В. В. Автодорожные мосты Украины – угроза безопасности движения транспорта и пешеходов / Тодирика В. В., Давыденко А. А., Доля А. Г., Бородай Д. И. // Сучасні будівельні матеріали. Вісник Донбаська національна академія будівництва і архітектури (ДонНАБА). – № 99. – С.169-173.
6. Попов В. И. Способы сопряжения конструкций путепроводов с насыпями подходов / Попов В. И., Прохоров А. А. // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2014. – № 5(24). <http://naukovedenie.ru>
7. Коваль П.М. Нормативне забезпечення проектування деформаційних швів в Україні / Коваль П.М., Полюга Р.І., Фаль А.Є. // Дороги і мости. Зб. наук. ст. ДерждорНДІ, Київ. – 2010. – С. 255-259. <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/8129/1/47.pdf>, 2010.
8. <https://tvernews.ru/news/150894>
9. <https://www.zlx.ru/nashi-raboty-i-obekty/tehnicheskoe-zakljuchenie-po-rezultatam-obsledovanija-konstrukcij-mosta-14-08-19>
10. Методические рекомендации по проектированию и строительству сопряжений автодорожных мостов и путепроводов с насыпью / Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт (СОЮЗДОРНИИ). – Москва. – 1975.
11. СНиП 2.05.03-84 Мосты и трубы / Госстрой России – М.ФГУП ЦПП. – 2005. – 239 С. [Замінений на ДБН В.2.3-14:2006]
12. ДБН В.2.3-14:2006 Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування [Чинний від 2005-09-03]. – К. : Держспоживстандарт України, 2008. – 20 с. – (Національні стандарти України)
13. Боднар, Л. П. Програмний комплекс АЕСУМ. Сучасний стан та концепція подальшого розвитку / Боднар, Л. П. // Дороги і мости. Зб. наук. пр. ДерждорНДІ, Київ. – 2010. – № 12. – С. 31–39.
14. Попов В. И. Совершенствование конструкции сопряжения путепроводов с насыпью путем применения интегральных устоев / Попов В. И. // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2014. – № 5(24). <http://naukovedenie.ru>
15. Смолянук Р.В. Визначення рівності дорожнього покриття на штучних спорудах / Смолянук Р.В., Смолянук Н.В., Штефан О.М. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2017. – № 99. – С. 98-105.
16. Руководство по ремонту элементов мостового полотна автодорожных мостов / НПО РосдорНИИ, М. – 1989.
17. ВСН 46-83 Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа [Замінений на ВБН В.2.3-218-186-2004]
18. ДБН Б В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво [Чинний від 01-04-2016]. – К. – Міністерство регіонального розвитку. – 2015. – 91 С. – (Державні будівельні норми України).
19. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу [Чинний від 01-01-2005]. – К.: Укравтодор. – 2004. – (Відомчі будівельні норми України).
20. ГБН В.2.3-37641918-557:2016 Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування [Чинний від 01-04-2017]. – К. – Міністерство інфраструктури України. – 2016. – 74 С. – (Галузеві будівельні норми України).

PROVIDING DURABILITY OF ROAD CLOTHES ON APPROACHES TO BRIDGES WITH ASPHALT CONCRETE COATING

Kushnir Alexander Vladimirovich, National Transport University, Department of Road Construction Materials and Chemistry, postgraduate student, dornii48@gmail.com, +380974432495, <https://orcid.org/0000-0002-2487-4234>

Abstract. The article deals with the features of road constructions in the area connection of bridge and embankment already in operation and modern constructive decisions of the current normative documents. The main types of defects of road clothes are noted.

The object of research - structures of road clothes in the bridge and embankment area.

The purpose of the work is to analyze the change in the deflection of the surface of the coating along the length of the road construction of the bridge transition, taking into account the influence of the transition plate and the thermoreal properties of the asphalt concrete.

The research method is the determination of the value of the vertical displacement of the surface of the asphalt concrete coating under the action of the calculated load on the length of the road construction of

the bridge transition in the zone of coupling with the bridge, depending on the temperature and time of the load.

More than half of the bridges in Ukraine are arranged with transition plates. The main defects of the road asphalt concrete coating in the area connectin of bridge and embankment - drainage of soil approaches, cracks in asphalt concrete coatings, soil erosion, water leakage. These defects lead to a decrease in the durability of asphalt concrete coating on bridge transitions.

Changes in the relative deflection of the surface of the asphalt concrete coating of road structures in relation to the structural deflection outside the transition plate presents a danger of "key effect", which explains the formation of the corresponding defects and leads to a decrease in the durability of road constructions.

The results of the article can be implemented in the design of road clothing in the area connection of the bridges and overpasses with the highway and the technology of their repair and construction.

Foreseeable assumptions about the development of the research object are the search for an optimal design of road clothing in the area connection of bridges and overpasses with an automobile road.

Keywords: approaches to bridges, road clothes, asphalt concrete coating, transition plates.

References

1. Koval P.M. Work of asphalt concrete coating in the zone of adjoining deformation seams on road bridges. / Koval P.M., Kushnir O.V., Bodnar L.P., Panibratets L.G. Roads and bridges: Sb. sciences Art. DerzhdorNDI, Kyiv-2015. - №15. - P. 87-93.
2. Trifonova AA. Trends in the improvement of deformation seams of road bridges Trifonova AA, Baharev V.A, Ganets G.V. // Young Scientist. - 2016 - №12. - P. 394-397. - <https://moluch.ru/archive/116/31293>.
3. Valiev Sh. N. Features of the work of the pavement coverage in the zone of expansion seams of bridge structures / Valiev Sh. N., Smolenkin V.S. // The Internet magazine "SCIENCE" - 2014. - № 3.
4. Pegin P. A. Ensuring the evenness of the road surface and the safety of vehicles in places where the bridge mates with the embankment / Pegin P. A., Lapin A. V. // VESTNIK. Moscow Automobile and Highway State Technical University (MADI). -2012. - № 3 (30). - p. 92-95.
5. Todirika V.V. Road bridges of Ukraine - a threat to the safety of traffic and pedestrians / Todirika V.V., Davydenko A.A., Dolya A.G., Boroday D.I. // Modern building materials. Bulletin Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture (DonNACEA). - No. 99. - P.169-173.
6. Popov V. I. Methods of coupling constructions of overpasses with embankment approaches / Popov V. I., Prokhorov AA // Internet journal "Naukovedeniya". - 2014. - No. 5 (24). <http://naukovedenie.ru>
7. Koval P.M. Normative provision of deformation suture design in Ukraine / Koval P.M, Poluga R.I., Fal A.E. // Roads and bridges. Zb sciences Art. DerzhdorNDI, Kiev. - 2010. - S. 255-259. <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/8129/1/47.pdf>, 2010.
8. <https://tvernews.ru/news/150894>
9. <https://www.zlx.ru/nashi-raboty-i-obekty/tehnicheskoe-zakljuchenie-po-rezultatam-obsledovanija-konstrukcij-mosta-14-08-19>
10. Methodical recommendations for the design and construction of adjoining road bridges and overpasses with embankment, State All-Union Road Research Institute (SOYUZDORNII), Moscow 1975.
11. SNiP 2.05.03-84 Bridges and pipes.
12. DBN V.2.3-14: 2006 Transport facilities. Bridges and pipes. Design rules.
13. Bodnar, L.P. Program complex AESUM. Current state and concept of further development / Bodnar, L.P. // Roads and bridges. Zb sciences works of DerzhdorNDI, Kyiv. - 2010. - No. 12. - P. 31-39.
14. Popov V.I. Improvement of the design of conjugation of overpasses with an embankment through the use of integral abutments / Popov V.I. // Internet-magazine "SCIENCE". - 2014. - № 5 (24). <http://naukovedenie.ru>
15. Smolyanyuk R.V. Determination of road surface equality on artificial structures / Smolyanyuk R.V. , Smolyanyuk NV, Shtefan O.M. // Roads and road construction. - 2017. - No. 99. - P. 98-105.
16. Guidelines for the repair of bridge deck elements of road bridges / NPO RosdorNII, M. - 1989.
17. VSN 46-83 Instruction on the design of non-rigid type of road clothing.
18. DBN B V.2.3-4: 2015 Automobile roads. Part I. Design. Part II. Construction.
19. VBN V.2.3-218-186-2004 Transport facilities. Non-rigid type of road clothes.
20. GBN V.2.3-37641918-557: 2016 Automobile roads. Road clothes rigid. Designing.

RESEARCH OF TRANSPORT AND OPERATION CONDITION TAKEN INTO ACCOUNT OF DIFFERENT TYPES AND TYPES OF ASPHALT CONCRETE WITH BONDING POLYGUM

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО СТАНУ З УРАХУВАННЯМ КОЛІЙНОСТІ В РІЗНИХ ТИПАХ ТА ВИДАХ АСФАЛЬТОБЕТОНУ З В'ЯЖУЧИМ ПОЛІГУМ



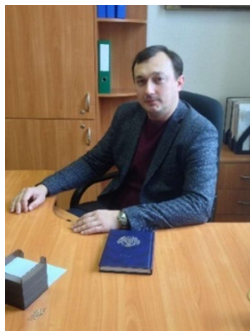
Onyshchenko Artur Mykolayovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the department of Bridges and tunnels, e-mail: artur_onish@bigmir.net, tel.: +380687771899, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha – Pavlenko str., 1,

<http://orcid.org/0000-0002-1040-4530>



Usychenko Olena Yuriivna, PhD, associate professor, National Transport University, professor of the transport construction and property management department, e-mail: fbbk@ukr.net, tel.: +380503114182, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha – Pavlenko str., 1,

orcid.org/0000-0002-7482-8420



Bubela Andrii Volodymyrovych, PhD, associate professor, National Transport University, associate professor of the department of transport construction and property management, e-mail: bubelaandrey@ukr.net, tel.: +380505535594, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha – Pavlenko str., 1,

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

Summary. This article deals investigate in laboratory conditions effect of bituminous Polygum binder on rutting resistance of different types asphalt concrete using rutting measure. It includes research of fine-grained asphalt concrete, which in grading composition related to types A, B, V and stone-mastic asphalt (SMA) with a maximum particle size of grains of 10 mm with asphalt binder Polygum" and oil bitumen BND 40/60 till accumulation of residual strains in form of rutting. This indicates that studied asphalt concrete with Polygum binder have in almost 1.5-2 times less rutting than asphalt concrete with bitumen BND 40/60.

Keywords: bituminous concretes, Polygum binder, rutting firmness, procedure of assessment, procedure of testing, rutting depth, strength of adherence depending.

Introduction. On general use roads of Ukraine in recent years there has seen a steady increase in traffic of heavy vehicles which causes accumulation of residual strains in form of rutting in layers of asphalt coating, especially during high summer temperatures.

Violation of transverse equality in asphalt pavement in the form of rutting creates dangerous conditions for driving, as: there is increased risk of loss of vehicle control while crossing over a track, during maneuvers (eg overtaking), stagnant water in a rut can lead to hydroplaning wheels of the vehicle and as a result - dangerous driving. In addition to safety reduction stagnant water in a track leads to its more intensive development, in the winter it complicates efficient removal of snow and ice deposits, increasing slip in strip rolling and reduces safety.

According, rutting is the most difficult type of strain, its appearance on "roads in operation is unacceptable, and emerged rutting is to be urgently eliminated". This indicates that asphalt concrete with ordinary bitumen (BND) does not always meet requirements of standards [1-3]. In this case, it should be noted that for such roads critical standard of quality for bitumen and asphalt concrete is not always enough to ensure both produceability, resistance to accumulation of residual strain, water and frost resistance of asphalt concrete. The current range of different modifiers for bitumen and asphalt concrete mixtures in Ukraine allows significantly increase rutting resistance of asphalt concretes with bitumen which are in compliance with standards. Therefore, research rutting asphalt concrete, prediction of intensity of rutting in asphalt concrete is urgent task.

Materials and Methods. According to [1, 4] depending on category of roads and bridges, they use various types and kinds of asphalt concrete which differ in number of coarse aggregate (gravel).

Comparison results of stability tests of asphalt concrete with different gradation before rutting are given in [5]. The authors of these studies claim that among these fine-grained asphalt concrete the lowest depth of rutting is typical for type A and the highest – to type B. Sand asphalt concrete is characterized by the highest rut depth compared to the fine-grained asphalt concrete, while after 25 000 passes depth rutting from wheel of type A 2 times lower than type D. The results of tests showed that rutting depth and indicator of compressive strength at 50° C, as criteria shear resistance are in contradiction

As the results of studies conducted in HNADU [6], rutting resistance of asphalt concrete is greatly influenced by binder (bitumen). As the number of bitumen from 6.4% to 4.6% depth of rutting in asphalt concrete after 30,000 wheel passes is reduced from 14 mm to 6 mm. So, in determining dependence between depth of rutting and bitumen content in asphalt concrete was observed maximum (extreme), in contrast to results when tested for resistibility and determining the rheological characteristics [1].

Objective of this research – investigate in laboratory conditions effect of bituminous Polygum binder on rutting resistance of different types asphalt concrete using rutting measure.

At the Department of Road Construction Materials and Chemistry NTU were performed research of fine-grained asphalt concrete, which in grading composition related to types A, B, V and stone-mastic asphalt (SMA) with a maximum particle size of grains of 10 mm with asphalt binder Polygum" and oil bitumen BND 40/60 till accumulation of residual strains in form of rutting. Rutting test was carried out by sector press, developed by SSTC Doryakist and NTU (Fig. 1), and loaded on a metal wheel with a pressure of 0.8 MPa, which is transferred to asphalt concrete sample. This pressure is equivalent to load A1 (57.5 kN) temperature of +55 ° C and varying the number of passes wheels on one track in forward and reverse direction by the method described in [7, 8].

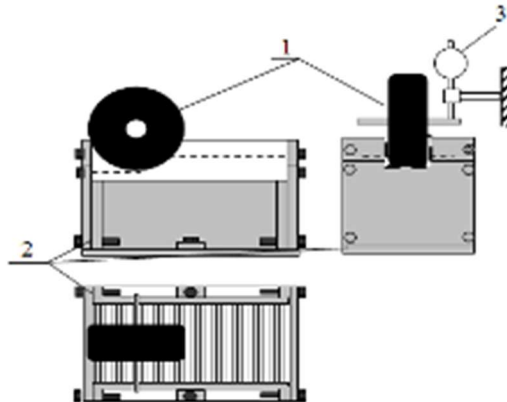
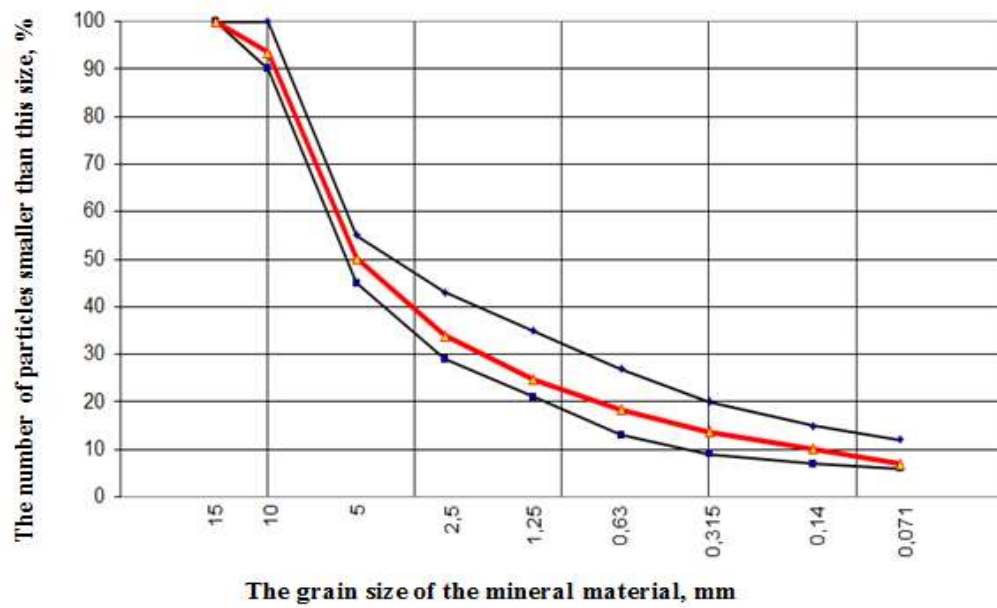


Figure 1 – Scheme of the device for testing resistance of asphalt concrete to accumulation of residual strains: 1 - test wheel, 2 - metallic form 3 - strain sensor.

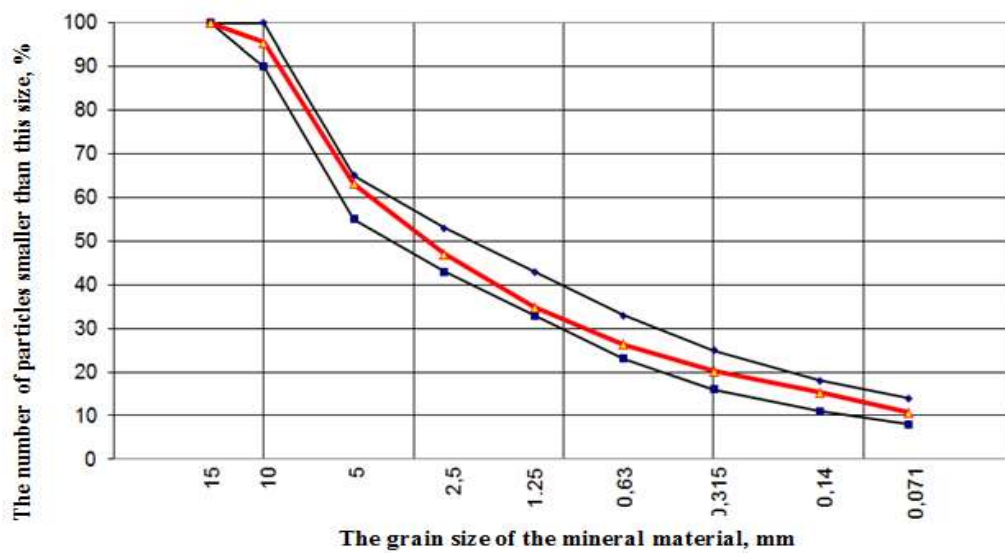
Рисунок 1 – Схема пристрою для перевірки стійкості асфальтобетону до накопичення залишкових деформацій: 1 - випробувальне колесо, 2 - металева форма 3 - датчик деформації.

Grading of tested asphalt concrete of types A, B, C and SMA are shown in Fig. 2.

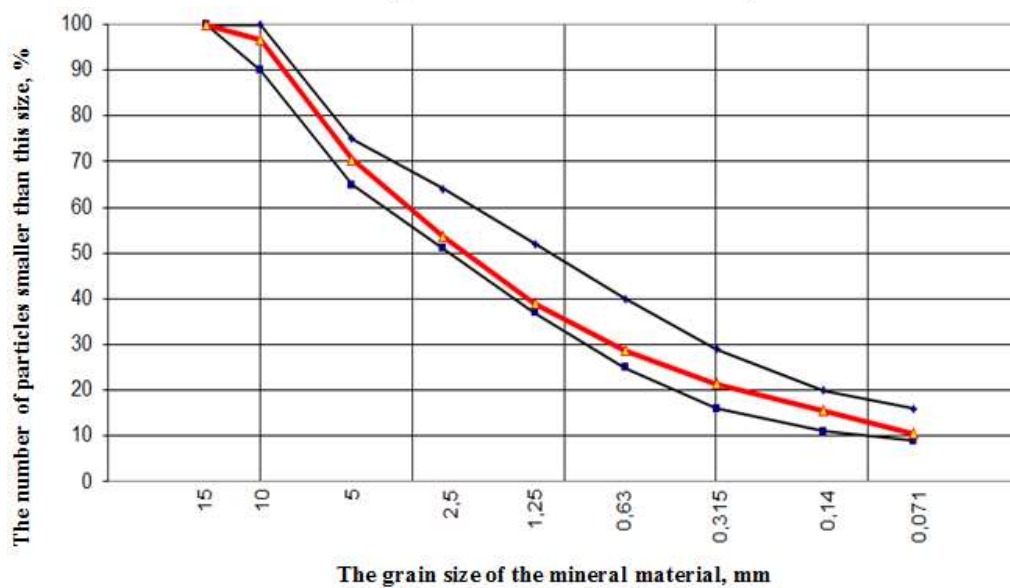
a)



b)



c)



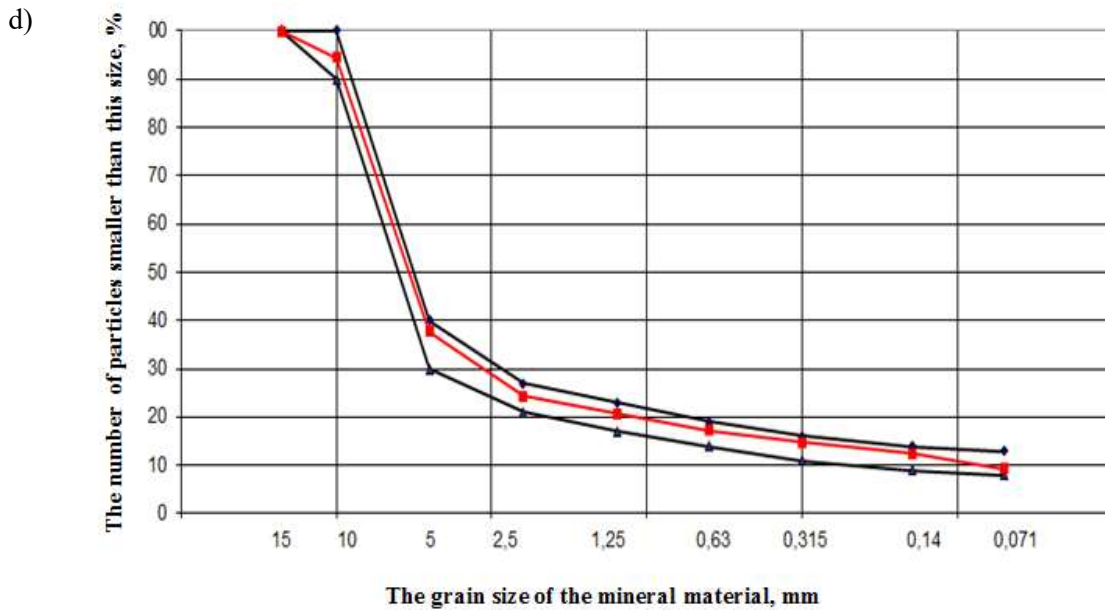


Figure 2 – Grading of asphalt concrete: a)- Type A; b) - Type B; c) - Type V; d) – SMA
Рисунок 2 – Класифікація асфальтобетону: а) - тип А; б) - тип Б; в) - тип В; г) – ШМА

Physical and mechanical properties of bituminous Polygum binder and road oil bitumen BND 40/60, adopted for the preparation of asphalt mixtures of types A, B, V and SMA are given in Table 1.

Physical and mechanical properties of asphalt concrete are given in Table 2.

Table 1 – Physical and mechanical properties of bituminous binder

Таблиця 1 – Фізичні та механічні властивості бітумного в'язучого

Property	Polygum	BND 40/60
Penetration at 25 oC, 0,1 mm	59	56
Softening point, °C,	82	53
Ductility, at 25 oC, sm	72	49
Elastic recovery at 25 oC, %	96	-

Table 2 – Physical and mechanical properties of asphalt concrete

Таблиця 2 – Фізичні та механічні властивості асфальтобетону

Property	Type A		Type B		Type V		SMA	
	Polygum	BND 40/60	Polygum	BND 40/60	Polygum	BND 40/60	Polygum	BND 40/60
Water saturation, % for volume	1,6	1,9	1,52	1,85	1,65	2,00	2,6	1,8
Critical compression strength, MPa, at								
20 °C	5,9	5,1	7,4	5,30	7,8	5,45	5,3	4,2
50 °C	2,8	1,39	2,95	1,45	3,1	1,47	2,65	1,45
Coefficient of prolonged water resistance	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	0,99	1,00	1,00
Optimal content of bitumen binder in asphalt concrete, %	5,6	6,2	6,0	6,5	6,3	6,7	6,0	6,2

In determining rutting of studied asphalt concrete with asphalt Polygum binder and BND 40/60 was noted trend of increasing depth of rutting with increasing number of wheel passes and temperature of 55 °C (Fig. 3, 4). Obtained results show that asphalt concrete with asphalt binder Polygum is less rut resistant. As shown in Figure 3 asphalt Type A with asphalt binder Polygum after 20 thousand wheel passes has rutting depth of 3.24 mm, and for Type A asphalt with bitumen BND 40/60 according to Figure 4 rutting depth is 6.48 mm.

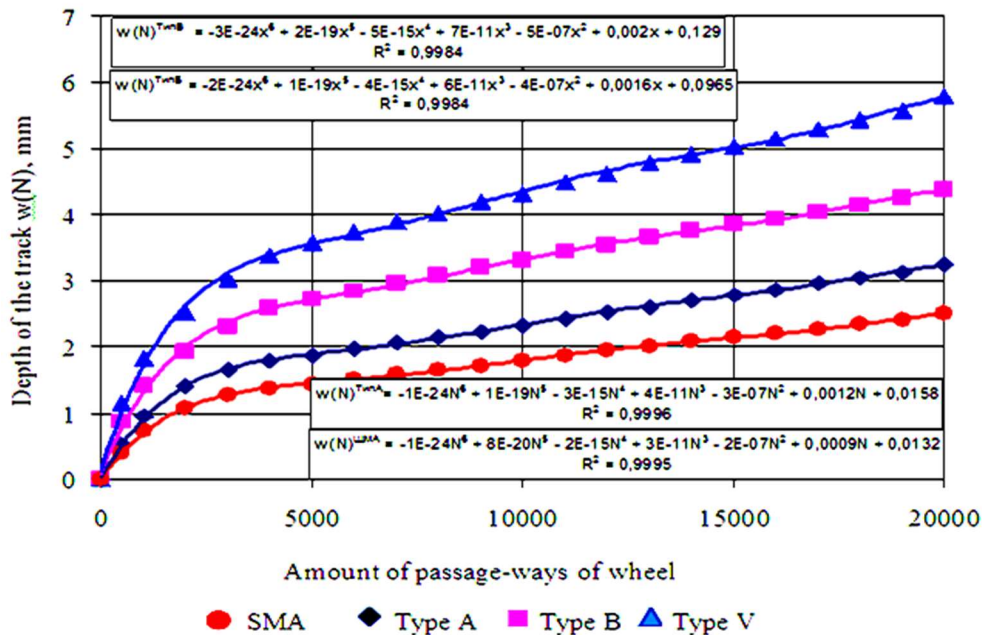


Figure 3 – Dependence of rutting depth on number of wheel passes in the studied asphalt concrete with Polygum binder

Рисунок 3 – Залежність глибини колій від кількості колісних проходів у досліджуваному асфальтобетоні з в'язучим Полігум

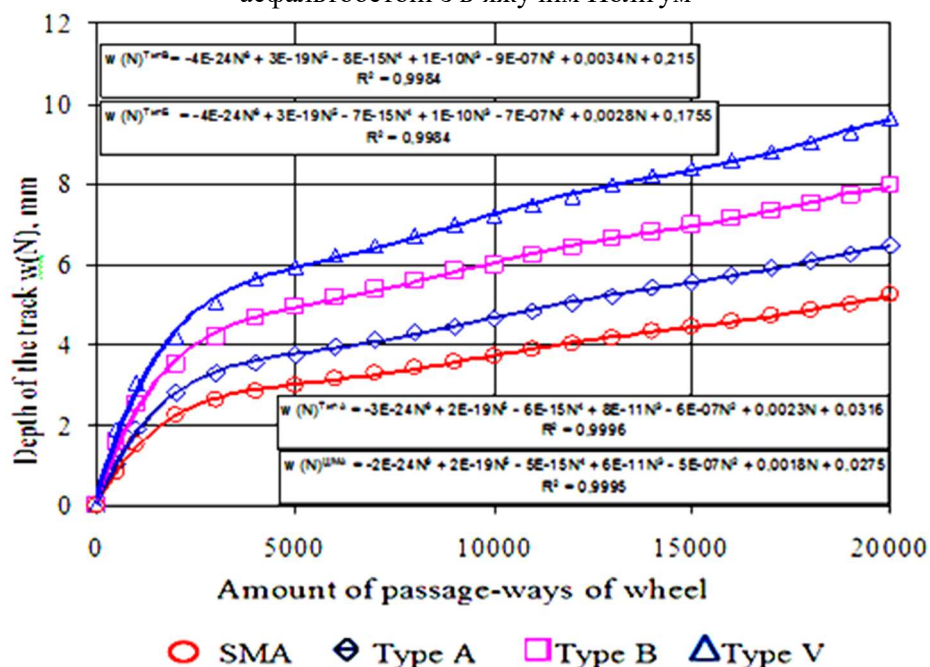


Figure 4 – Dependence of rutting depth on number of wheel passes in the studied asphalt concrete with bitumen BND 40/60

Рисунок 4 – Залежність глибини колії у досліджуваному асфальтобетоні з бітумом BND 40/60 від кількості колісних проходів

Results and Discussion. This indicates that studied asphalt concrete with Polygum binder (Fig. 3) have in almost 1.5-2 times less rutting than asphalt concrete with bitumen BND 40/60 (Fig. 4). Also based on the results of the study (Fig. 3, 4) the influence of gravel content on intensity of asphalt concrete rutting Fig.5.

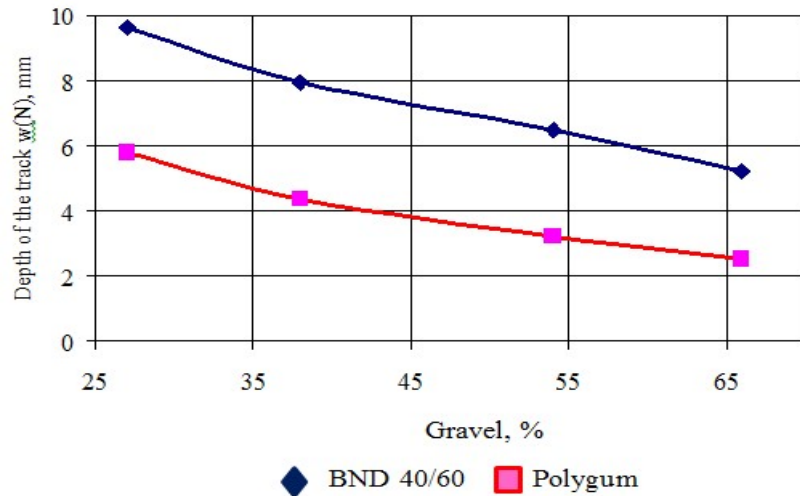


Figure 5 – Dependence of rutting depth after 20,000 wheel passes in studied asphalt concrete on gravel content

Рисунок 5 – Залежність глибини колії від вмісту гравію в досліджуваному асфальтобетоні після 20 000 проходів колеса

Conclusions and Recommendations. 1. Research results indicate that rutting criterion is quite sensitive to the viscosity of bituminous binders. This should be taken into account for preparation of bituminous mixtures for different climatic conditions of asphalt pavement operation.

2. All studied Polygum bituminous binder have 1.5-2 times less rutting than asphalt with BND40/60 bitumen.

3. It is also found that with increasing content of gravel in asphalt with Polygum binder for example with 66% gravel rutting depth is 2.5 mm, and with 27% gravel rutting is 5.79 mm. Rutting depth with decrease of gravel increased 2.3 times.

References

1. Zhdanyuk V.K., Datsenko V.M., Chuhuyenko S.A., Volovik O.O. On the evaluation methods and indicators shearing asphalt concrete. // Avtoshlyahovyk Ukraine. - 2008. - № 3. - P.28-30.
2. Zolotarev V.A. Patterns of deformation and fracture of bitumen and asphalt concrete as a base to improve and control their properties. - Dis. ... Dokt.tehn.nauk. - 05.23.05 / VA Zolotarev - Moscow, 1983. - 575 p.
3. DSTU B V.2.7-127:2015 Building materials. Stone mastic road concrete mix and stone mastic asphalt. Specifications./ Zolotarev V.A., Mozgovoy V.V., Zhdanyuk V.K., and other.
4. DSTU B V.2.7-119-2011 Building materials. Asphaltic concrete mixtures, road and aerodromes asphaltic concrete. Specifications./ Mozgovoy V.V., Onischenko A.M. and other.
5. Zhdanyuk V.K., Datsenko V.M., Zrazhevets E.M., Chuhuenko S.A., Volovik A.A. Stability asphalt concrete different types and kinds of plastycal accu -mulattion of strain in the form of rutting / / Proceedings science and technology conference. / 80 years Beloruskoy dorozhnoy science. Minsk 2008. S. 105-111.
6. Zhdanyuk V.K., Datsenko V.M. Stability asphalt concrete different types and kinds of plastycal accu -mulattion of strain in the form of rutting // Avtoshlyahovyk Ukraine. - 2009. - № 1. S. 31-34.
7. SOU 45.02-00018112-020:2009 Road bituminous Concrete i. Test method for resistance to the accumulation of residual strains./ Mozgovoy V.V., Onischenko A.M. and other
8. Technical rules of repair and maintenance of the vehicle steadily public roads Ukraine U-D.1-218-113-2009.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО СТАНУ З УРАХУВАННЯМ КОЛІЙНОСТІ В РІЗНИХ ТИПАХ ТА ВИДАХ АСФАЛЬТОБЕТОНУ З В'ЯЖУЧИМ ПОЛІГУМ

Онищенко Артур Миколайович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри мости і тунелі, e-mail: artur_onish@bigmir.net, тел.: +380687771899, Україна, 01010, Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, <http://orcid.org/0000-0002-1040-4530>.

Усиченко Олена Юріївна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: fbbk@ukr.net, тел.: +380505535594, Україна, 01010, Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, <https://orcid.org/0000-0002-7482-8420>

Бубела Андрій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: bubelaandrey@ukr.net, тел.: +380505535594, Україна, 01010, Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, <http://orcid.org/0000-0002-5619-003X>.

Анотація. Ця стаття присвячена дослідженню в лабораторних умовах бітумного в'язучого Полігум на вплив стійкості до утворення колії різних типів асфальтобетону. Вона включає в себе дослідження дрібнозернистих асфальтобетонів типів А, Б, В та щебенево-мастикового асфальтобетону (ЩМА) з максимальним розміром частинок зерна 10 мм на бітумному в'язучому Полігум та бітумі БНД 40/60 до накопичення залишкових деформацій у вигляді колії. Результати вказують на те, що досліджуваний асфальтобетон на бітумному в'язучому Полігум майже в 1,5-2 рази має меншу колію ніж асфальтобетон з бітумом БНД 40/60.

Ключові слова: асфальтобетон, в'язуче Полігум, стійкість до колії, метод оцінки, метод випробування, глибина колії.

Перелік посилань

1. Жданюк В.К., Даценко В.М., Чугуєнко С.А., Воловик О.О. Про методи оцінки та показники стрижки асфальтобетону. // Автошляховик Україна. - 2008. - № 3. - С.28-30.
2. Золотарев В.А. Шаблиони деформації та руйнування бітуму та асфальтобетону як основи для поліпшення та контролю їх властивостей. - Дис. ... Dokt.tehn.nauk. - 23.05.05 / В. А. Золотарьов - Москва, 1983. - 575 с.
3. ДСТУ Б В.2.7-127: 2015 Будівельні матеріали. Дорожні бетонні суміші з кам'яної мастики та асфальт з кам'яної мастики Технічні умови./ Золотарев В.А., Мозговий В.В., Жданюк В.К. та ін.
4. ДСТУ Б В.2.7-119-2011 Будівельні матеріали. Асфальтобетонні суміші, дорожній та аеродромний асфальтобетон. Технічні умови./ Мозговий В.В., Онищенко А.М. та інші.
5. Жданюк В.К., Даценко В.М., Зражевець Є.М., Чугуєнко С.А., Воловик А.А. Стабільність асфальтобетону різних типів і видів пластикових акумуляцій - перенапруження деформації у вигляді кола // Науково-технічна конференція. / 80 років Білоруській дорожній науці. Мінськ 2008. С. 105-111.
6. Жданюк В.К., Даценко В.М. Стійкість асфальтобетону різних типів та видів пластику-акумуляції - деформація деформації у вигляді розпушування // Автошляховик України. - 2009. - № 1. С. 31-34.
7. СОУ 45.02-00018112-020: 2009 Дорожній бітумний бетон і. Метод випробування стійкості до накопичення залишкових штамів. / Мозговий В.В., Онищенко А.М. та інші.
8. Технічні правила ремонту та обслуговування транспортного засобу, що стабільно проходять дороги загального користування Україна У-Д.1-218-113-2009.

PERSPECTIVES OF DEVELOPMENT HIGHWAYS NETWORK IN UKRAINE

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗБУДОВИ МЕРЕЖІ ШВИДКІСНИХ АВТОМАГІСТРАЛЕЙ В УКРАЇНІ



Gameliak Ihor P., Dr. Tech. Sci., Professor, National Transport University, Head of Airports Department, e-mail: gip65n@gmail.com, тел. +380503524124.

<https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>



Dmytrychenko Andij Mykolayovich, Candidate of Engineering Sciences, associate professor of department transport law and logistic, National Transport University,

<https://orcid.org/0000-0001-6144-7533>

Summary. The analysis development of highways network for general use is executed in Ukraine, and also development strategy of highways network in Ukraine is offered on a prospect 25 ... 30 years on the basis on definition of minimum and actual ranges between the biggest cities of Ukraine. For comparison, is presented an analysis of the road network in developed countries (The USA, Great Britain, France, and Germany). Calculation methodology and determination direct distance indexes is offered between the cities of Ukraine by their GPS coordinates, minimum spherical distances, minimum vehicle speed and time, and time spent on moving vehicles between the biggest cities of Ukraine. Set four groups of factors (legislative, financial, administrative and productive) that restrain development of highways network for the general use. On results technical and economic comparison is recommended to arrange coverage for highways from cement concrete.

Keywords: highways, development of network, directions, factors, strategy, highways.

Introduction. Socio-economic development of country, its integration, in a world and European community is largely depends on the development of transport infrastructure, in particular from the ramified presence of highways network. The highways of the general use provide domestic and international transportations of passengers and cargo, most accessible for the wide circle of users by automotive transport. An increase level of motorization in Ukraine, increase volumes of carrying passengers and loads, including transit transport, insolvency to satisfy growing demand of user's auto transport infrastructure in accordance with national and European requirements, requires the necessity of development highways network of the general use.

Analysis of the last researches and publications. In accordance with development Conception of road - transport complex in Ukraine until 2015 and to further period [1], Conceptions of the Government having a special purpose economic program of development highways general use are on 2013-2018 [2], Transport strategy of Ukraine on a period to 2020 [3], Transport policy of Ukraine and its approaching to the norms of European Union (EC)[4], development highways of general use should be made towards their integration into the Trans-European Transport Network, which is aimed at bringing the state of roads to the relevant international requirements. In these normative documents register such directions of highways development:

- providing of priority highways development of the general use and bringing them in line with the requirements of the current normative documents [3,4];
- creation of appropriate international standards corridors and roadside infrastructure and roads bring Ukraine to European levels [1];

- development network modern roads of higher categories between all regional centers and large industrial sites [3, 4];
- development network of rural roads and providing access roads paved all villages [1,3];
- improving public sector management road of Ukraine [1,2];
- establishment information-analytical road management system [2];
- improvement the material and technical base of the road economy [2];
- transition to an innovative way of development, technical re-equipment, introduction new technologies of construction and reconstruction highways, reduction of energy works intensity, preventing the harmful effects of road construction on the environment (establishment of anti-noise building, maintenance ways of animal's migration, mode of guard territories and objects of the naturally-protected fund and other nature protection setting) [2];
- strengthening of state support and introduction of world experience in relation to building highways due to credit funds and non-state investments on the basis of concessions or mechanism of state-private partnership, perfection Ukrainian legislation that regulates this sphere of activity [1, 3, 4];
- forming stable system of financing the road economy [1,2];
- making alteration to the current tax legislation in part of size rates increase of taxes and collections in the special fund of the state budget [3,4];
- paying introduction for using highways, that coincide with international transport corridors that is used by heavyweight vehicles and busses [3];
- introduction of paying for using the new highways built on concession principles [3, 4];
- development and claim norms of charges on operating maintenance of highways [2].

Analogical directions of development highways network general use are marked in scientific works by V.O. Galushko [5], N.V. Kudritska [6], U.E. Paschenko [7], D.K. Prayger [8], I.R. Uhnovsky [9] and other.

Unsolved constituents of general issue. For today there is absent determination of concept «development highways network for general use» in legislative and scientific literature, in accordance with that directions of development must be determined. There is not understanding of long-term prospect of development and necessity of building speed highways of world-class. In result, analysis the above-mentioned information can be noted, that in the brought directions development highways network Ukraine for general use is general directions that behave to development of all road economy industry. These general rules for their implementation require detailed ground and revision, wide discussion, definitions of implementation, sources and volumes of financing and etc.

Formulation of article aims. The aim of work is raising the task of development strategy of design highways network of Ukraine on a prospect 25 ... 30 years on the sensing basis of minimum and actual ranges between the most cities of Ukraine and establishment respective directions of development, that is aimed at its integration into the international transport network.

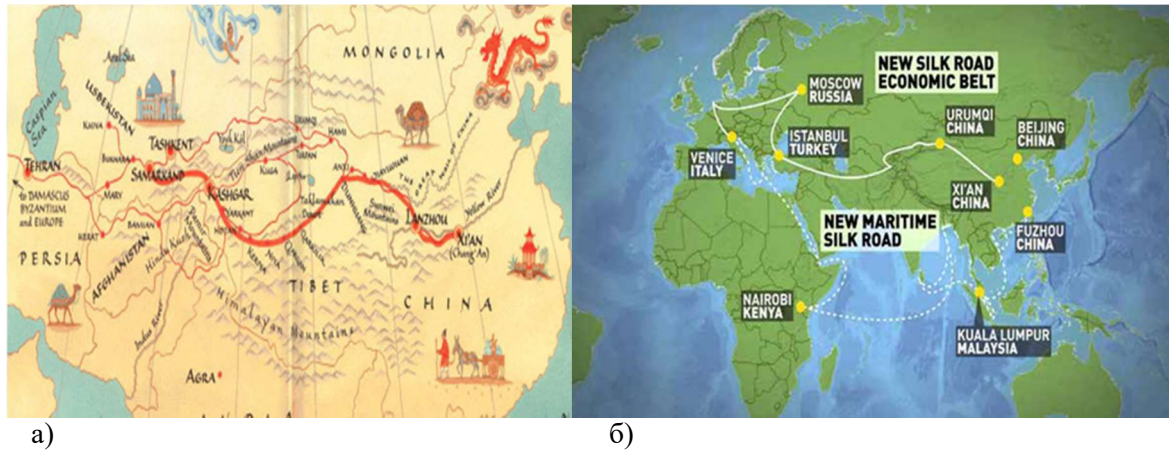
Results and Discussion. A highway is the linear complex of engineering building, intended for continuous, safe and comfortable motion of transport vehicles [10]. The highways of the general use and engineering building on them enter in the complement of road economy which is the only industrial-economic complex [11].

Concordantly [4] it is planned to improve the transport-operating state over 9,1 thousand kilometers of highways on basic routes, first of all between regional centers. Reference volume of financing, necessary for implementation of Program 268880 million hrn. Thus, the cost of repair averages 29 547 252,75 hrn / km or at the course of NBU on 29.05.2018, that presents 26,1495 hrn/ \$, - 1 129 935,67 \$/ km

For today absent developments for integrations national roads transport network in a transport network type the Large Silk Way or New Silk Way.

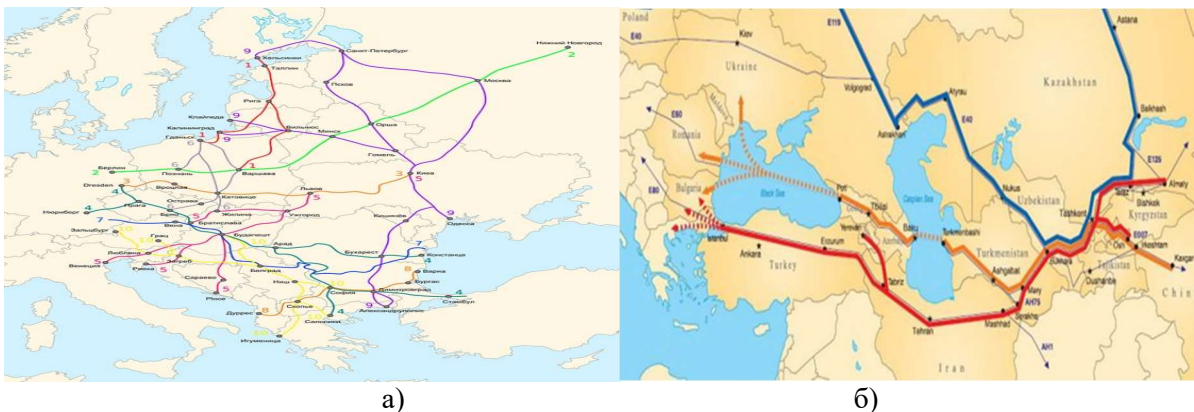
The Large Silk Way is the system of caravan roads, that connected Eurasia from Mediterranean in China and served as in the epoch of antiquity and Middle Ages a key point for the conduct of trade and cultures dialogue between East and West (Fig. 1a). The known «silk way» is a route that began in the Khan capital on east and closed in the capital of the Roman Empire on a west. This route has two directions: south and north [9].

New Silk Way or «One belt - one way» (OBOR), China strategic program started in 2013, sent to at development of the large Eurasian economies through an infrastructure, trade and investments. Initiative contains two international trade connections: the surface «Economic belt – The New Silk Way» and ocean «Silk Sea Way 21 century» (Fig. 16) [10].



a) b)
 Figure 1 – Chart of passing route Old (a) [9] and New (b) Large Silk Way [10]
 Рисунок 1 – Схема маршруту стара (a) [9] та нова (б) Великого Шовкового Шляху [10]

OBOR embraces more than 65 countries there is a half of earth population and 40% GDP (Fig. 2) on that. Investments for OBOR are estimated scope from 4 to 8 trillion dollars of the USA. The China fund of the Silk way, Asian investment bank and state-private financing, is examined as potential sources of investments. Although its tasks in industry of transport are related mainly to multilateral building of infrastructure (transport lines and building), he embraces a navigation and aviation and aims to provide investments for the increase multimodality and integration modes, road safety, custom registration and development of standardized politician and positions. OBOR also will assist a management building and exploitation green and to the low carbon transport, with full impact consideration of climate change on its projects.



a) b)
 Figure 2 – Chart of passing route Asia is Europe [11] for territories European (a) and Asian (b) countries [12-13]
 Рисунок 2 – Схема маршруту Азія це Європа [11] для територій європейських (a) та азіатських (б) країн [12-13]

Participating Ukraine in building of New Silk Way for today have unclear character and it is related mainly to suggestions development existent transport corridors of Ukraine (Fig. 3).

Meantime for development of the state needed strategic decisions related to the pre-eminent development of infrastructure for the next launch economy.

If to look at the map of developed countries highways will see “spider web” of roads. A map highway of Germany (Fig. 4a) is autobahn, France, (Fig. 4b) - AutoRoute, Italy is motorways Great Britain - highways, the USA is an express road (Fig. 4c, and 4d).

In Ukraine for today there is not a single highway of world-class.

For an analysis 95 most cities of Ukraine are chosen with a population more than 60 thousand inhabitants.



Figure 3 – Chart of development transport corridors in Ukraine [14] on initiative of Ministry Infrastructure of Ukraine and Ukravtodor [15]

Рисунок 3 – Схема транспортних коридорів в Україні [14], що розроблена за ініціативою Міністерства інфраструктури України та Укравтодору [15]

Determination of direct distance is between the cities of Ukraine on their coordinates. Determination of direct distance between the cities of Ukraine on coordinates was executed with determination coordinates every city in obedience to the location of Main Post office (center of city) for help to addition of Google Maps [1]. Found coordinates, both in latitude and longitude in degrees, and in degrees, minutes and seconds (table. 1). All indexes were registered in the Excel in the matrix of 4x95.

Table 1 – Coordinates of center cities of Ukraine
 Таблиця 1 – Координати центрів міст України

Name of settlement	Longitude	Width	Longitude, deg.	Width, deg.
Kyiv	50°27'00.3"N	30°31'23.5"E	50,450094	30,523206
Kharkiv	49°59'08.7"N	36°15'28.0"E	49,985753	36,257781

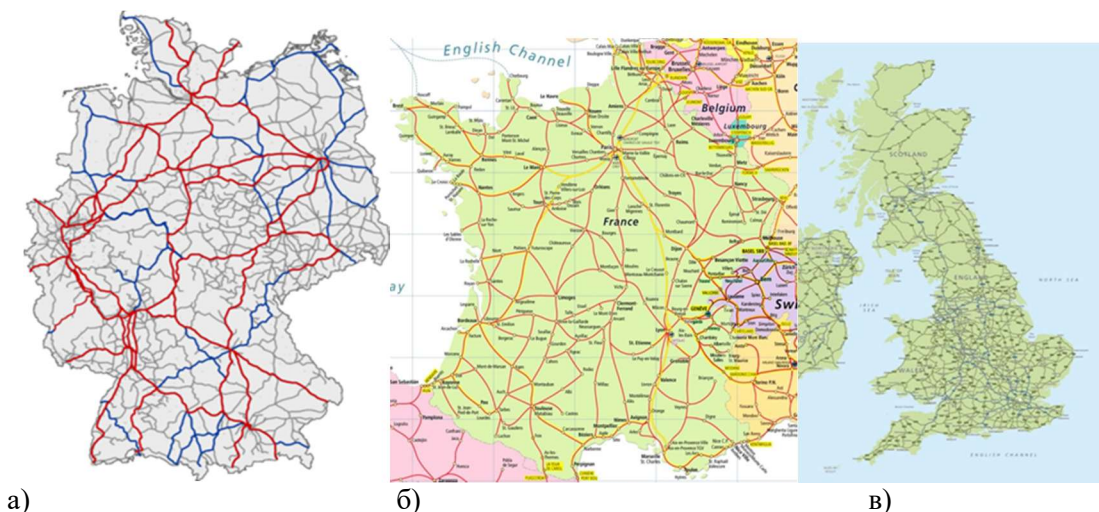
Knowing the center of city point coordinates, it is possible to define a line distance between cities after the chosen points. The formula spherical theorem of cosines is used for this purpose [1]:

$$\Delta\sigma = \arccos\{\sin\varphi_1 \sin\varphi_2 + \cos\varphi_1 \cos\varphi_2 \cos\Delta\lambda\}, \quad (1)$$

where, $\varphi_1, \lambda_1; \varphi_2, \lambda_2$ it is a width and longitude of two points in radians

$\Delta\lambda$ - difference of coordinates on longitude

$\Delta\sigma$ - angular difference.





г) Figure 4 – Map of motorways in the developed countries
Рисунок 4 – Карта автомобільних доріг розвинутих країн

For translation of angular distance in metrical, an angular difference is needed to multiply on an Earth radius ($R_3=6372795$ meters, units of eventual distance equal units, in what expressed radius (in this case meters)).

$$L_{sf} = \Delta\sigma \cdot R_3, \quad (2)$$

Example. Knowing the center cities coordinates table 1, width and longitude transferred in radians, using a formula (3):

$$radians = \frac{\text{deg}^\circ \cdot \pi}{180}, \quad (3)$$

It is accordingly got:

Name of settlement	Width	Longitude	Φ radian	Λ radian
Kyiv	50,45009	30,52319	0,880520	0,532730
Kharkiv	49,98575	36,25778	0,872416	0,632818

Knowing coordinates in radians a calculation is executed by formula 1:

$$\Delta\sigma = \arccos \left\{ \begin{aligned} &\sin(0,880520) \cdot \sin(0,872416) + \cos(0,880520) \cdot \cos(0,872416) \times \\ &\times \cos(0,532730 - 0,632818) \end{aligned} \right\} = 0,064537, \quad (4)$$

Distance (minimum distance between points on a sphere or spherical distance) between cities, which is equal to

$$L_{sf} = 0,064537 \cdot 6371,21 = 411,2, \text{ km} \quad (5)$$

For verification of direct distances between cities by coordinates, used on-line calculation on a site Garmin [16].

The values of distance expected by formula (3) between the city center built in the matrix 95x95, that is created in Excel.

This matrix is basis for further calculations of such parameters:

- rush on the intercity route, equal to the difference distance actual L_{exis} and minimum L_{sf} :

$$\Delta L = L_{exis} - L_{sf}. \quad (6)$$

- coefficient of rejection existent network L_{exis} , from optimal as the ratio of distance between cities at passage roads an existent network to minimum spherical distance:

$$K_{rej} = \frac{L_{exis}}{L_{sf}}. \quad (7)$$

At approaching of this coefficient to 1,0 this direction is optimally provided road on intercity connection. At the value K_{rej} more than 1,20 between cities unsatisfactory connection.

coefficient of overrally:

-

$$K_{or} = \frac{\Delta L}{L_{sf}} = \frac{L_{exis} - L_{sf}}{L_{sf}} = K_{rej} - 1. \quad (8)$$

- loss of time at passage between cities

$$\Delta t = t_{actual} - t_{min}, \quad (9)$$

where t_{actual} is actual time of passage between cities, on the existent roads network.
 t_{min} , is minimum time of passage at permissible speed $V_{allowed} = 60$ (90) km/h.

$$t_{min} = \frac{L_{sf}}{V_{allowed}}.$$

Coefficient of loss time at passage between cities

$$K_t = \frac{\Delta t}{t_{min}}. \quad (10)$$

A comparison of the actual speed of vehicles between cities and speed at a minimum distance L_{sf} . The results of calculations by formulas (1 - 10) are tabulated (1 - 4).

The highways network of Ukraine is formed in a middle 70's past century, according to the requirements that time economy, weak industrial production. It is necessary to form the new network of highways, that must provide the requirements of society in mobility, to steady development, necessities of communication and tourist development, to comply requirements of ecological and road safety.

A task stands before Ukraine, how to convert possibilities of the state with the most index of transit in concrete investments sent to development for road infrastructure. How to leave off a barrier for movement traffic flows between East and the West, by North and South in roads and bridges for the mobile and safe movement goods and passengers.

In the near time necessary development Conception of long-term development highways network of national value (with a prospect on 20 – 30 years). It is especially important to link territories which were long time under the rule of different empires in one state road system (North Bukovyna, Prykarpattia and Zakarpattia with Center, North and South of country, Center, North and South with Donbas). The total length of new highways must be about 8 - 10 thousand km. At the same time, new roads should not pass on existent routes, which must be attributed to the lower level roads that together with entrances to the cities and ports will provide work of logistic chains.

Table 1 – Minimum spherical distances between the biggest cities of Ukraine

Таблиця 1 – Мінімальні сферичні відстані між найбільшими містами України

Cities	Kyiv	Kharkiv	Dnipro	Odesa	Donetsk	Zaporizhzhya	Lviv	Krivij Rig	Mykolaiv	Mariupol	Luhansk	Makijivka	Vinnytsya	Simferopol	Sevastopol	Kherson	Poltava	Chernihiv	Tcherkasy
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Kyiv		411,2	393,8	441,0	594,5	444,0	468,0	349,4	401,2	634,6	666,6	594,5	199,7	667,1	687,6	450,8	303,3	128,0	156,7
Kharkiv	411,2		190,5	564,7	248,0	252,4	875,2	314,4	459,0	334,7	270,7	248,0	566,8	582,6	632,7	459,3	130,3	387,4	307,8
Dnipro	393,8	190,5		391,9	211,2	70,5	814,8	140,6	281,9	240,9	314,0	211,2	487,8	397,4	444,8	272,9	129,5	430,0	243,3
Odesa	441,0	564,7	391,9		559,9	365,9	621,0	252,8	110,7	522,8	684,0	559,8	348,6	312,4	301,8	145,2	446,8	558,3	343,6
Donetsk	594,5	248,0	211,2	559,9		199,2	1025,9	332,4	451,1	102,3	128,1	0,0	698,9	441,8	500,5	419,4	296,5	607,7	450,9
Zaporizhzhya	444,0	252,4	70,5	365,9	199,2		842,7	134,4	255,5	198,0	319,1	199,2	514,7	330,5	380,3	232,7	199,4	491,8	288,5
Lviv	468,0	875,2	814,8	621,0	1025,9	842,7		714,1	668,4	1040,3	1116,7	1025,9	328,1	931,6	922,4	728,3	756,8	544,2	579,9
Krivij Rig	349,4	314,4	140,6	252,8	332,4	134,4	714,1		144,8	327,7	447,5	332,4	387,4	333,3	367,1	151,1	207,1	425,4	195,5
Mykolaiv	401,2	459,0	281,9	110,7	451,1	255,5	668,4	144,8		420,3	574,2	451,1	362,4	277,6	288,8	60,2	346,7	505,1	274,7
Mariupol	634,6	334,7	240,9	522,8	102,3	198,0	1040,3	327,7	420,3		210,7	102,3	712,4	356,9	416,5	377,8	354,1	665,9	482,1
Luhansk	666,6	270,7	314,0	684,0	128,1	319,1	1116,7	447,5	574,2	210,7		128,1	794,0	565,0	624,3	545,5	363,7	657,0	536,8
Makijivka	594,5	248,0	211,2	559,8	0,0	199,2	1025,9	332,4	451,1	19,5	128,1		699,0	441,8	500,5	419,4	296,5	607,7	450,9
Vinnytsya	199,7	566,8	487,8	348,6	698,9	514,7	328,1	387,4	362,4	673,3	794,0	699,0		638,3	641,4	422,2	441,3	321,1	260,7
Simferopol	667,1	582,6	397,4	312,4	441,8	330,5	931,6	333,3	277,6	261,7	565,0	441,8	638,3		59,7	220,0	516,5	756,3	522,7
Sevastopol	687,6	632,7	444,8	301,8	500,5	380,3	922,4	367,1	288,8	505,9	624,3	500,5	641,4	59,7		236,8	559,4	783,5	549,4
Kherson	450,8	459,3	272,9	145,2	419,4	232,7	728,3	151,1	60,2	580,0	545,5	419,4	422,2	220,0	236,8		358,0	548,3	314,7
Poltava	303,3	130,3	129,5	446,8	296,5	199,4	756,8	207,1	346,7	310,8	363,7	296,5	441,3	516,5	559,4	358,0		312,9	180,6
Chernihiv	128,0	387,4	430,0	558,3	607,7	491,8	544,2	425,4	505,1	468,4	657,0	607,7	321,1	756,3	783,5	548,3	312,9		234,2
Tcherkasy	156,7	307,8	243,3	343,6	450,9	288,5	579,9	195,5	274,7	508,0	536,8	450,9	260,7	522,7	549,4	314,7	180,6	234,2	

Table 2 – Minimum rates movement of cars between the biggest cities of Ukraine

Таблиця 2 – Мінімальні автомобільні маршрути між найбільшими містами України

Cities	Kyiv	Kharkiv	Dnipro	Odesa	Donetsk	Zaporizhzhya	Lviv	Krivij Rig	Mykolaiv	Mariupol	Luhansk	Makijvka	Vinnytsya	Simferopol	Sevastopol	Kherson	Poltava	Chernihiv	Tcherkasy
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Kyiv		65	55	65	56	56	69	53	60	55	58	59	63	60	58	60	66	58	56
Kharkiv	65		58	53	47	59	66	57	47	48	49	47	63	59	56	51	55	60	54
Dnipro	55	58		42	49	47	65	51	40	48	44	51	52	56	53	46	54	58	47
Odesa	65	53	42		56	56	59	41	52	56	54	57	61	55	53	51	54	67	61
Donetsk	56	47	49	56		52	62	50	57	49	42	34	51	59	56	56	51	56	49
Zaporizhzhya	56	59	47	56	52		62	56	46	53	50	54	53	57	53	44	55	56	51
Lviv	69	66	65	59	62	62		53	55	60	62	63	53	56	55	56	68	67	65
Krivij Rig	53	57	51	41	50	56	53		34	55	46	55	50	49	48	46	48	56	50
Mykolaiv	60	47	40	52	57	46	55	34		57	53	57	27	46	43	10	45	39	28
Mariupol	55	48	48	56	49	53	60	55	57		48	53	57	60	55	56	52	57	53
Luhansk	58	49	44	54	42	50	62	46	54	48		42	60	55	53	53	54	57	54
Makijivka	59	47	51	57	34	54	63	55	57	53	42		52	60	56	57	55	58	50
Vinnytsya	63	63	52	61	51	53	53	50	55	57	60	52		56	55	55	65	62	50
Simferopol	60	59	56	55	59	57	56	49	60	60	55	60	56		31	55	58	61	52
Sevastopol	58	56	53	53	56	53	55	48	53	55	53	56	55	31		51	55	59	51
Kherson	60	51	46	51	56	44	56	46	49	56	53	57	55	55	51		48	62	56
Poltava	66	55	54	54	51	55	68	48	46	52	54	55	65	58	55	48		61	52
Chernihiv	58	60	58	67	56	56	67	56	62	57	57	58	62	61	59	62	61		59
Tcherkasy	56	54	47	61	49	51	65	50	46	53	54	50	50	52	51	56	52	59	

The statistical analysis of rate movement specifies on the following:

High speed from Kyiv in Rivne 72 km/h. Minimum speed from Kyiv to Brovarys 41 km/h., and for the road of Kropivnitsky- Mykolaiv rate of movement 17 km/h. For comparison in Germany regulation speed on autobahn is 130 km/h.

Table 3 – Time spends on moving of cars between the biggest cities of Ukraine

Таблиця 3 – Час руху автомобілів між найбільшими містами України

Cities	Kyiv	Kharkiv	Dnipro	Odesa	Donetsk	Zaporizhzhya	Lviv	Krivij Rig	Mykolaiv	Mariupol	Luhansk	Makijvka	Vinnytsya	Simferopol	Sevastopol	Kherson	Poltava	Chernihiv	Tcherkasy
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Kyiv		7:24	8:15	7:28	13:41	9:08	7:50	7:53	8:00	14:18	14:12	13:14	4:16	13:36	15:23	9:05	5:12	2:27	3:25
Kharkiv	7:24		3:46	13:44	6:41	5:00	15:17	6:30	11:37	8:43	6:47	6:22	11:43	11:06	13:33	10:52	2:35	8:57	6:58
Dnipro	8:15	3:46		10:46	5:24	1:49	15:51	2:52	7:59	6:37	8:32	5:34	10:54	8:13	10:40	7:12	3:38	9:31	5:54
Odesa	7:28	13:44	10:46		13:03	9:56	13:33	7:31	2:33	11:07	16:37	13:03	6:57	8:26	10:20	3:56	10:47	9:07	7:17
Donetsk	13:41	6:41	5:24	13:03		4:24	20:43	8:09	10:33	2:18	3:53	0:28	16:12	9:15	11:41	9:23	8:01	14:24	11:12
Zaporizhzhya	9:08	5:00	1:49	9:56	4:24		17:04	3:44	7:35	5:08	8:04	4:40	11:47	6:36	9:03	6:35	5:00	10:51	6:46
Lviv	7:50	15:17	15:51	13:33	20:43	17:04		15:30	14:36	22:01	21:56	20:57	6:57	20:12	22:06	15:41	12:55	10:14	11:08
Krivij Rig	7:53	6:30	2:52	7:31	8:09	3:44	15:30		5:07	8:45	11:19	8:20	8:50	7:59	9:53	5:00	5:43	9:46	4:54
Mykolaiv	8:00	11:37	7:59	2:33	10:33	7:35	14:36	5:07		8:38	5:53	2:29	16:05	7:19	9:45	7:27	9:23	15:36	11:31
Mariupol	14:18	8:43	6:37	11:07	2:18	5:08	22:01	8:45	8:38		5:53	2:29	16:05	7:19	9:45	7:27	9:23	15:36	11:31
Luhansk	14:12	6:47	8:32	16:37	3:53	8:04	21:56	11:19	14:09	5:53		3:41	18:18	13:03	15:30	13:11	9:09	15:32	13:33
Makijivka	13:14	6:22	5:34	13:03	0:28	4:40	20:57	8:20	10:45	2:29	3:41		16:23	9:26	11:53	9:34	8:10	14:33	11:23
Vinnytsya	4:16	11:43	10:54	6:57	16:12	11:47	6:57	8:50	7:47	16:05	18:18	16:23		13:29	15:23	8:59	9:19	6:38	6:48
Simferopol	13:36	11:06	8:13	8:26	9:15	6:36	20:12	7:59	5:38	7:19	13:03	9:26	13:29		2:52	4:51	11:06	15:38	12:23
Sevastopol	15:23	13:33	10:40	10:20	11:41	9:03	22:06	9:53	7:52	9:45	15:30	11:53	15:23	2:52		6:43	13:20	17:30	14:15
Kherson	9:05	10:52	7:12	3:56	9:23	6:35	15:41	5:00	1:27	7:27	13:11	9:34	8:59	4:51	6:43		10:10	11:04	11:06
Poltava	5:12	2:35	3:38	10:47	8:01	5:00	12:55	5:43	9:11	9:23	9:09	8:10	9:19	11:06	13:20	10:10		6:38	4:39
Chernihiv	2:27	8:57	9:31	9:07	14:24	10:51	10:14	9:46	9:57	15:36	15:32	14:33	6:38	15:38	17:30	11:04	6:38		5:04
Tcherkasy	3:25	6:58	5:54	7:17	11:12	6:46	11:08	4:54	6:50	11:31	13:33	11:23	6:48	12:23	14:15	11:06	4:39	5:04	

The statistical analysis of spending time on moving of cars specifies on the following:

Maximal spending time from Uzgorog to Konstantinivka of 23 h 59 min

Minimum spending time is from Terez to Snizhne 20min.

Table 4 – Coefficient of rejection *Kвідх* existent network, from optimal for biggest cities of Ukraine

Таблиця 4 – Коефіцієнт відхилення *Kвідх* існуючої мережі, від оптимальної для найбільших міст України

Cities	Kyiv	Kharkiv	Dnipro	Odesa	Donetsk	Zaporizhzhya	Lviv	Krivij Rig	Mykolaiv	Mariupol	Luhansk	Makijivka	Vinnytsya	Simferopol	Sevastopol	Kherson	Poltava	Chernihiv	Tcherkasy
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Kyiv		1,17	1,15	1,10	1,28	1,16	1,16	1,20	1,20	1,24	1,23	1,31	1,34	1,22	1,31	1,21	1,13	1,11	1,23
Kharkiv	1,17		1,15	1,29	1,27	1,18	1,16	1,17	1,19	1,26	1,22	1,22	1,31	1,13	1,20	1,20	1,10	1,40	1,23
Dnipro	1,15	1,15		1,16	1,25	1,20	1,26	1,04	1,14	1,32	1,20	1,34	1,16	1,16	1,26	1,21	1,53	1,29	1,15
Odesa	1,10	1,29	1,16		1,30	1,52	1,29	1,22	1,20	1,19	1,31	1,34	1,22	1,49	1,81	1,38	1,30	1,09	1,30
Donetsk	1,28	1,27	1,25	1,30		1,15	1,25	1,23	1,33	1,10	1,29	-	1,19	1,24	1,30	1,26	1,38	1,33	1,21
Zaporizhzhya	1,16	1,18	1,20	1,52	1,15		1,25	1,56	1,37	1,37	1,25	1,25	1,22	1,13	1,26	1,23	1,39	1,24	1,19
Lviv	1,16	1,16	1,26	1,29	1,25	1,25		1,15	1,20	1,27	1,21	1,28	1,12	1,22	1,32	1,20	1,16	1,26	1,25
Krivij Rig	1,20	1,17	1,04	1,22	1,23	1,56	1,15		1,22	1,46	1,18	1,37	1,15	1,19	1,30	1,53	1,32	1,29	1,26
Mykolaiv	1,20	1,19	1,14	1,20	1,33	1,37	1,20	1,22		1,17	1,34	1,37	1,18	1,21	1,44	1,18	1,22	1,22	1,15
Mariupol	1,24	1,26	1,32	1,19	1,10	1,37	1,27	1,46	1,17		1,34	1,29	1,29	1,23	1,30	1,11	1,38	1,32	1,28
Luhansk	1,23	1,22	1,20	1,31	1,29	1,25	1,21	1,18	1,34	1,34		1,22	1,37	1,28	1,32	1,29	1,35	1,35	1,35
Makijivka	1,31	1,22	1,34	1,34	-	1,25	1,28	1,37	1,37	6,76	1,22		1,21	1,28	1,34	1,31	1,53	1,40	1,25
Vinnytsya	1,34	1,31	1,16	1,22	1,19	1,22	1,12	1,15	1,18	1,36	1,37	1,21		1,19	1,31	1,17	1,37	1,28	1,31
Simferopol	1,22	1,13	1,16	1,49	1,24	1,13	1,22	1,19	1,21	1,68	1,28	1,28	1,19		1,51	1,20	1,24	1,25	1,23
Sevastopol	1,31	1,20	1,26	1,81	1,30	1,26	1,32	1,30	1,44	1,07	1,32	1,34	1,31	1,51		1,46	1,32	1,31	1,32
Kherson	1,21	1,20	1,21	1,38	1,26	1,23	1,20	1,53	1,18	0,72	1,29	1,31	1,17	1,20	1,46		1,35	1,24	1,20
Poltava	1,13	1,10	1,53	1,30	1,38	1,39	1,16	1,32	1,22	1,58	1,35	1,53	1,37	1,24	1,32	1,35		1,29	1,33
Chernihiv	1,11	1,40	1,29	1,09	1,33	1,24	1,26	1,29	1,22	1,88	1,35	1,40	1,28	1,25	1,31	1,24	1,29		1,28
Tcherkasy	1,23	1,23	1,15	1,30	1,21	1,19	1,25	1,26	1,15	1,21	1,35	1,25	1,31	1,23	1,32	1,20	1,33	1,28	



Figure 5 – Scheme of development highways network

Рисунок 5 – Схема розвитку мережі автомобільних доріг

The rays, forming the system of radial roads, leave the largest cities of Ukraine in different directions.

So away from Kyiv radiated eight directions: 1) Kyiv - Chornobyl' – Pripyat; 2) Kyiv - Desna - Slavutich - Gomel. 3) Kyiv - Kaniv - Smila - Kropivnitsky- Mykolaiv. 4) Kyiv - BilaTserkva -Uman - Blagovischensky-Krive Ozero - Shiraevo- Odesa; 5) Kyiv - Fastiv - Vinnytsya - Zhmerinka - Kam'ianets'-Podil's'kyi - Chernivtsi. 6) Kyiv - Zhytomyr –Staro-Konstantiniv - Terebovlia - Monastirska - Kalush-Chop 7, 8) II direction is considered higher.

Farther necessary development Strategy of development highways network top level with such calculations that distance from a large settlement with a population more than 100 thousand inhabitants to the modern highways from 6 - 8 lines did not exceed a 50 - 70 km.

For example, the coefficient of rejection $K_{відх}$ represents for directions: Chernivtsi - Odesa - 1,65, Lviv - Uzhhorod - 1,45, Ternopil - Ivano-Frankivsk - 1,40, Kherson - Odesa - 1,38, Vinnytsya - Poltava - 1,37, Kyiv - Vinnytsya - 1,34, Kyiv - Ivano-Frankivsk - 1,34, Kyiv - Chernivtsi - 1,28 and ect.

Realization Strategy and Conception must come true by development 4 - five-year or 3 years - seven-year construction plans for highways network. Experience of reconstruction a road Kyiv - Odesa showed that repairs on the route of roads built on Soviet technologies are not rational due to poor quality of the basis, insufficient soil compression and layers of road pavements, the occurrence of weak soils in the bases of embankments, etc.

All points Strategy, Conception and Plans must be concrete, in detail done, to have concrete terms of implementation, have the financial and skilled providing.

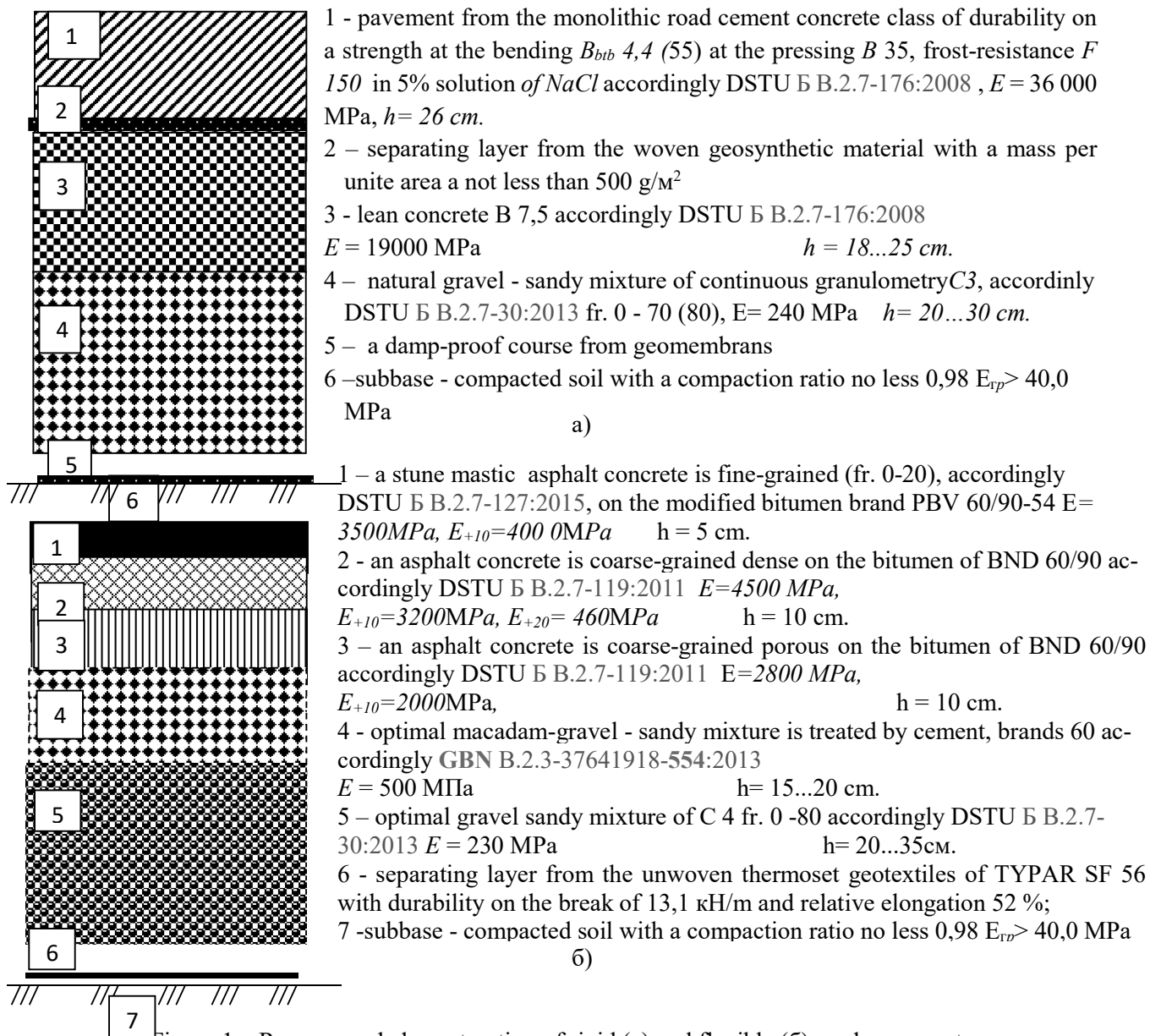


Figure 1 – Recommended construction of rigid (a) and flexible (b) road pavement
 Рисунок 1 – Рекомендовані конструкції жорстких (а) та нежорстких (б) дорожніх одягів

Necessary development of strategy highways network in Ukraine on a prospect 25 – 30 years.

It is suggested to link 95...100 most cities of Ukraine into a single network as combination of the parallel and radial system of network development. It is necessary to build five practically parallel roads in the direction of North - West to South-East (Fig. 5) :

I) The border with Belarus - Ripky, Sivshi. from Chernihiv, Konotop, Southwards from Summy-Kharkiv - Severodonetsk- Luhansk. Length of road I - 708,547 km.

II) On Brest - Kamin - Kashrsky - Sarny-Korosten - Borodianka - Kyiv -Yahotyn - Lubny-Myrhorod - Dykanka - Krasnograd - Lozova- Donetsk. Length of route II is a 1119,968 km.

III) The border with Poland on Holm - Kovel- Lutsk - Rivne -Novograd-Volinsky - Zhytomyr - BilaTserkva-Korsun-Shevchenkovsky - between Smila and Tcherkasy - Kremenchuk- Dnipro - Pokrovske-Mariupol. Length of route III is a 1147,557 km.

IV) Novoyavorivsk- Lviv - to the North Ternopil - Khmelnytskyi-Vinnytsya - Uman - Novoukrainka-South Kropivnitsky-Krivij Rig- Nikopol - Melitopol- Berdiansk. Length of route IV is a 1072,655 km.

V) Old Sambir - SouthDrohobych-Kalush-Ivano-Frankivsk - vil. Zalischiky- Kam'ianets'-Podil's'kyi - South Mogilev Podolsk - Korisha - Lubashivka - Nikolaevsk- Kherson - on Skadovsk (Armiansk). Length of route V is a 807,971 km.

VI) Chop - SouthMukachevo-Hust - Rahiv-Verkhovyna - Vizhnitsa- Chernivtsi. Length of route VI is a 289,213 km.

General length is a 4437,364 km.

From Kharkiv, except for 2 directions of the 1st level, 4 directions to the south depart, etc.

Necessary accumulation facilities on building of new roads and bringing investments, but not loans, creation of concession roads and development state - private partnership. Necessary wide discussion in relation to passing routes and their benefit for a population resident in the zone of route highways. It is also required a technical and economic comparison of variants constructions of rigid and non-rigid pavement taking into account charges on building, maintenance and repair on 40 years' summer prospect (rice. 6) with a return on 20 years to Contractor on maintenance and repair. Variants of construction of rigid, non-rigid road pavements at the action of loading 115 кН/axis expected for the project of entrance road to the airport city of Turkmenobad in Turkmenistan brought around to Fig. 6. In the conditions of Ukraine for motion of heavy transport vehicles more the best is a variant of rigid road pavements.

Conclusions. In Ukraine presence own resources, especially, as basic astringent material for preparation concrete, (but not the imported bitumen) requires the revision strategy of development road industry to the necessity building highways from concrete.

For development of road net in Ukraine it is necessary:

- Development Conception of long-term development highways network (with a prospect on 25 – 30 years).
- Link land Ukraine in one state system with a network of modern highways.
- Length of new modern highways must present a not less than 10 thousand km.
- Highways must not pass on existent routes (there must be an alternative passage for speed roads).
- Establishment Strategy of development highways network, that distance from a large settlement with a population more than 50 - 100 thousand inhab. to the modern highways with 6 ... 8 stripes of motion did not exceed a 70 - 75 km.
- Strategies and Conceptions must be development on 4 - five - year or 3 – 7 years plans for the construction highways network.
- Modern highways must be built with cement-concrete coverage.
- It is necessary to define criteria that allow attributing the concrete projects of bilateral and multilateral collaboration to initiative «One belt - one way» public, scientists and economists, and to the participants in a project to the countries - to develop the general plan of actions on the basis of the declared principles, mechanisms and priorities.

References

1. Conception of development road-transport complex of Ukraine 2015 to and further period: The Ukrainian transport union (official site). it is access Mode: http://www.uts.in.ua/ua/kontseptsiyarozyvytkutransportno-dorozhnogo-kompleksu_tdk_ukrayiny_do_2015_roku_i_podalshyj_period.html.
2. Order of Cabinet Ministers of Ukraine «About approval Conception of the Government having a special purpose economic program development highways of general use on 2013-2018» from Septembers, 3 in 2012 № 719-p // the Official announcer of Ukraine from 05.10.2012. - 2012. - № 73. are 2943 p.s

3. Transport strategy of Ukraine on a period 2020 to / Order Cabinet Ministers of Ukraine from October, 20, 2010 № 2174-р: Ministry infrastructure of Ukraine. it is access Mode: <http://www.mintrans.gov.Ua/uk/discussion/15621.html>.

4. Conceptions of the Government having a special purpose economic development program of highways general use, state value is on 2018-2022.

5. Strategy of steady development is «Ukraine a 2020» / Decree President of Ukraine from January, 12, 2015 № 5/2015: President Administration of Ukraine.

6. A cabinet Ministers of Ukraine is National transport strategy on a period 2030 to. (project).

7. Burmaka M. M., Burmaka T.M. A concept and directions of development highways network of the general use / are Economy of a transport complex, red. 22, 2013. it is a p. 173 - 182.

8. <http://visualizingeconomics.com/blog/2008/01/20/share-of-world-gdp>.

9. https://en.wikipedia.org/wiki/of_Silk_Road.

10. <http://yaleglobal.yale.edu/content/china%20of%2080%99s-new-silk-road-implications-us>.

11. <http://www.globalresearch.ca/the-new-silk-road-a-chinese-style-new-deal-the-economic-and-geopoliticalconsequences/5466022>.

12. <http://www.httpingtonpost.com/fu-ying/china-silk-road- Eurasia b7899236.html>.

13. <http://lib.convdocs.org/pars/docs/refs/128/>.

14. <https://en.ppt-online.org/288307>.

15. <https://gis-lab.info/>.

16. <http://www.garmin.com.ua>.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗБУДОВИ МЕРЕЖІ ШВИДКІСНИХ АВТОМАГІСТРАЛЕЙ В УКРАЇНІ

Гамеляк Ігор Павлович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри аеропортів, e-mail: gip65n@gmail.com, тел +380442807073, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 344. <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>

Дмитриченко Андрій Миколайович, Національний транспортний університет, вул. Омеляновича Павленка 1, Київ, Україна 01010, доцент кафедри транспортного права і логістики, кандидат технічних наук, andrew_d@ukr.net, +380502816006. <https://orcid.org/0000-0001-6144-7533>

Анотація. Виконано аналіз розвитку мережі автомобільних доріг загального користування в Україні, а також запропоновано стратегію розвитку мережі швидкісних автомагістралей України на перспективу 25 ... 30 років на основі визначення мінімальних та фактичних відстаней між найбільшими містами України. Для порівняння наведено аналіз мережі автомобільних доріг в розвинутих країнах (США, Великобританія, Франція Німеччина). Запропоновано методику розрахунку та визначення показників прямої відстані між містами України за їх GPS координатами, визначені мінімальні сферичні відстані, мінімальні швидкості руху автомобілів та час затрачений на переміщення автомобілів між найбільшими містами України. Встановлені чотири групи факторів (законодавчі, фінансові, управлінські та виробничі), що стримують розвиток мережі автомобільних доріг загального користування. За результатами техніко – економічного порівняння рекомендовано влаштовувати покриття швидкісних автомобільних доріг із цементобетону.

Ключові слова: автомобільні дороги, розбудова мережі, напрями, фактори, стратегія, швидкісні автомагістралі.

Перелік посилань

1. Концепція розвитку транспортно-дорожнього комплексу України до 2015 року і подальший період: Український транспортний союз (офіційний сайт). - Режим доступу: http://www.uts.in.ua/ua/kontseptsyiarozvytkutransportno-dorozhnogo-kompleksu_tdk_ukrayiny_do_2015_roku_i_podalshyj_period.html.

2. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Концепції Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування на 2013-2018 роки» від 3 вересня 2012 р. № 719-р // Офіційний вісник України від 05.10.2012. - 2012. - № 73. - 2943 с.

3. Транспортна стратегія України на період до 2020 року / Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 року № 2174-р: Міністерство інфраструктури України. - Режим доступу: <http://www.mintrans.gov.Ua/uk/discussion/15621.html>.

4. Концепції Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки.

5. Стратегія сталого розвитку «Україна 2020» / Указ Президента України від 12 січня 2015 року № 5/2015: Адміністрація Президента України.
6. Кабінет Міністрів України. Національна транспортна стратегія на період до 2030 року. (проект).
7. Бурмака М.М., Бурмака Т.М. Поняття та напрями розвитку мережі автомобільних доріг загального користування / Економіка транспортного комплексу, вип. 22, 2013. – с. 173 – 182.
8. <http://visualizingeconomics.com/blog/2008/01/20/share-of-world-gdp>.
9. https://en.wikipedia.org/wiki/Silk_Road.
10. <http://yaleglobal.yale.edu/content/china%E2%80%99s-new-silk-road-implications-us>.
11. <http://www.globalresearch.ca/the-new-silk-road-a-chinese-style-new-deal-the-economic-and-geopolitical-consequences/5466022>.
12. http://www.hillingtonpost.com/fu-ying/china-silk-road- Eurasia_b_7899236.html.
13. http://lib.convdocs.org/pars_docs/refs/128/.
14. <https://en.ppt-online.org/288307>.
15. <https://gis-lab.info/>.
16. <http://www.garmin.com.ua>

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ АЕРОДРОМНИХ АНТИОЖЕЛЕДНИХ ХІМРЕАГЕНТІВ

ENVIRONMENTAL ASPECTS THE OF AERODROME ANTI-ICE CHEMICALS APPLICATION



Попелиш Іван Іванович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, кафедра аеропортів, доцент, I.I.P@ukr.net, +380668827221,

<https://orcid.org/0000-0003-1485-2717>



Семенченко Оксана Василівна, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри транспортних систем і безпеки дорожнього руху, асистент, O.Semenchenko@ukr.net, +380671314124,

<https://orcid.org/0000-0002-9004-2575>



Корітчук Сергій Олександрович, Національний транспортний університет, кафедра аеропортів, асистент, K.s2501@ukr.net, +380938133430,

<https://orcid.org/0000-0001-5100-873X>

Анотація. Високий рівень забруднення навколишнього середовища в зоні аеропорту, викликане діяльністю авіатранспортних процесів, обумовлює небезпеку, викликану погіршенням якісних характеристик повітря, водних та інших об'єктів.

У статті розглянуті екологічні проблеми застосування антиожедних хімреагентів, специфіка впливу повітряного транспорту на навколишнє середовище. Питання охорони навколишнього середовища та техніки безпеки при експлуатації аеропортів на сьогоднішній день є такими ж важливими як безпека польотів, ефективність капіталовкладень та вартість будівництва аеропортів.

Ключові слова. Безпека польотів, екологія, антиожедні хімреагенти, аеродромна служба, аеродром, ефективність.

Вступ

Під навколишнім середовищем розуміється природне середовище, збереження якого має загальнодержавне значення. Охорона природи являє собою систему природно-наукових, техніко-виробничих, економічних і адміністративно-правових заходів. При експлуатації аеродромів охорона навколишнього середовища включає питання: зниження і захисту від шуму, що виникає при роботі авіадвигунів при стоянці, зльоті і посадці, а також пересуванню по аеродрому повітряних суден; забруднення атмосфери, водоймищ і інших водяних джерел, ґрунтів; попередження ерозії рельєфу і затоплення внаслідок прискороного стоку з ділянок з водонепроникними ґрунтами і покриттям; охорону фауни і флори. У літній період особлива увага приділяється охороні сільськогосподарських угідь і лісових насаджень. Земля яка знаходиться у веденні аеропортів повинна бути цілком освоєна, тобто засіяна травами і засаджена рослинами. Наявність зеленого (дернового) покриву і лісонасаджень, особливо в місцях скупчення людей (аеровокзали) різко зменшують шумливість і запиленість приземного повітря.

У зимовий період при збиранні снігу з ЗПС, РД, МС і перонів важливо зробити правильний вибір його вивезення для того, щоб при весняному сніготаненні потоки стічних вод не пошкодили на своєму шляху молоді лісові насадження, не викликали ерозії і забруднення ґрунтів. Ці місця варто вибирати на ділянках проходження колекторів дренажно-водостічної системи для того, щоб стічні води можна було направити через оглядові колодязі в систему водостоку. Точно також необхідно завчасно визначити шляхи стічних вод, що утворилися після танення снігу, що нагромадився, при його затримці за

допомогою пристроїв виїмок і валів уздовж ЗПС, а також за допомогою щитів чи інших пристроїв уздовж під'їзних доріг.

Адміністрація аеродромів (аеропортів) повинна розробляти і здійснювати заходи по охороні ґрунтів від ерозії, забруднень, раціональному використанню землі, відведеної під аеродром, по очищенню зливових і поталих вод з льотного поля у випадку їхньої забруднення і з інших питань.

Авіація, в порівнянні з іншими видами транспорту, виступає як специфічний забруднювач навколишнього середовища і негативно впливає на екологічний стан повітря, водних об'єктів, а також ґрунтів навколо аеропортів. Забруднення навколишнього середовища в зоні аеропорту, викликане діяльністю авіатранспортних процесів, обумовлює небезпеку, викликану погіршенням якісних характеристик повітря, водних та інших об'єктів. Авіаперевізні процеси призводять до інтенсивного забруднення навколишнього середовища виробничими і господарсько-побутовими стічними водами, пилом, аерозолями. Природні води забруднюються також в результаті осідання з атмосфери пилу з відпрацьованими газами авіадвигунів, наземного транспорту і котельень. Забруднення водних об'єктів відбувається і за рахунок поверхневого стоку, який формується дощовими і талими сніговими водами та стоком води з аеродромів зі штучними покриттями. До природних об'єктів, які підлягають впливу авіатранспортних процесів, разом зі стічними водами надходять мінеральні суміші, феноли, важкі метали, хімічні суміші для миття літаків і протижелезної обробки аеродромних покриттів, мінеральні масла, розчинні органічні домішки і азотовмісні речовини.

Мета і методи. Проблема боротьби з ожеледицею та снігом на дорогах і в аеропортах залишається актуальною на найближчий час. В основі існуючих методів боротьби лежать заходи спрямовані або на видалення з покриття вже утвореного льоду і снігу, або на попередження його появи.

Основною науковою концепцією, при оцінці та вивченні можливого шкідливого впливу токсикантів, в т.ч. хімреагентів, на навколишнє середовище, здоров'я людини є оцінка небезпеки і ступінь їх впливу на ґрунти, воду, атмосферне повітря, флору і фауну.

Виходячи з цього, комплекс досліджень з вивчення оцінки небезпеки будь-якої хімічної речовини включає визначення критеріальних показників, що дозволяють оцінити рівні шкідливого впливу з врахуванням можливих шляхів впливу.

В основі методичних підходів гігієнічного нормування хімічних речовин в ґрунті є визначення критеріїв їх небезпеки для навколишнього середовища і здоров'я населення.

Головним в теорії і практиці оцінки шкідливого впливу на навколишнє середовище та здоров'я людини, а також гігієнічного нормування речовин (будь-яких), покладений критерій, що допускає можливість надходження і наявність небезпечних речовин в ґрунті, воді, атмосферному повітрі в кількостях безпечних для здоров'я людей і навколишнього середовища.

Ця безпечна величина регламентується гранично-допустимою концентрацією (ГДК) вмісту хімічної речовини в ґрунті та інших середовищах, що містять хімічний інгредієнт.

Під ГДК хімічних речовин в ґрунті необхідно розуміти максимальну їх кількість (мг/м^2) в верхньому шарі абсолютно сухого ґрунту, встановлену в екстремальних ґрунтово-кліматичних умовах, яка гарантує відсутність негативного, прямого або опосередкованого впливу через контактуючі із ґрунтом середовища (вода, повітря, харчові продукти, сировина) на здоров'я людини, умови життя населення.

При оцінці небезпеки надходження хімічних речовин в навколишнє середовище (ґрунт), необхідно виходити з неприпустимості перевищення адаптаційної можливості організму найчутливіших груп населення, порогу можливості самоочищення ґрунту при ізольованій, комплексній і комбінованій дії хімічних речовин на органи людини і навколишнє середовище (поріг безпечної дії).

Істотне значення при оцінці ступеня небезпеки хімічних речовин та їх впливу на ґрунт – має ступінь перевищення вмісту елемента над ГДК. Чим вище перевищення, тим вище ступінь його небезпеки.

В даний час при оцінці санітарно-гігієнічного стану ґрунту основна увага відводиться в загальному вмісту металів в ґрунті. Однак більш важливо при оцінці ступеня небезпеки (токсичності) хімічних речовин для навколишнього середовища і людини знати – в якій формі вони присутні в ґрунті.

Доведено, що найбільш небезпечними є рухомі форми хімічних речовин, які і визначають ступінь токсичності і небезпечності їх впливу на навколишнє середовище і людину.

Ступінь небезпеки антижелезних реагентів та клас їх небезпеки обґрунтовується і визначається на підставі результатів санітарно-гігієнічних досліджень.

Про пряму небезпеку свідчать дані, отримані за сумою результатів досліджень біологічного впливу. Вміст токсикантів в ґрунті говорить про потенційну небезпеку, але він не може служити прямим показником небезпеки, тому що відсутні дані про хімічні форми стану речовин, їх взаємодію і співвідношення в ґрунті.

Для оцінки ступеня небезпеки порівнюють рівні вмісту складових в антижеледному реагенті з їх вмістом в ґрунті. Однак це не може бути єдиним і основним критерієм оцінки ступеня небезпеки в цілому.

Головним гарантом достовірності оцінки ступеня токсичності є результати санітарно-токсикологічних біологічних досліджень, тому що тільки вони можуть об'єктивно відобразити ступінь небезпеки реагенту, як єдиного цілого.

В даний час застосовуються різні тверді і рідкі хімреагенти, що стимулюють інтенсивність тавлення снігу – хлориди, карбаміди (сечовина), ацетати, форміати і т.д.

За ступенем впливу на організм людини шкідливі речовини поділяються на п'ять класів небезпеки: 1 – речовини надзвичайно небезпечні; 2 – речовини високонебезпечні; 3 – речовини помірно небезпечні; 4 – речовини малонебезпечні; 5 – практично незагрозливі.

Клас небезпеки шкідливих речовин встановлюють залежно від норм і показників, наведених у таблиці 1. Належність шкідливої речовини до того чи іншого класу небезпеки визначають за показником, значення якого відповідає найбільш високому класу небезпеки.

Таблиця 1 – Клас небезпеки шкідливих речовин

Table 1 – Classes danger of harmful substances

Клас небезпеки хімічних-сполук для навколишнього середовища	Ступінь шкідливого впливу небезпечних сполук на навколишнє середовище	Критерії віднесення небезпечних сполук до класу небезпеки для навколишнього середовища
I клас (надзвичайно небезпечні)	дуже високий	Екологічна система безповоротно порушена. Період відновлення відсутній.
II клас (високонебезпечні)	високий	Екологічна система дуже порушена. Період відновлення не менше 30 років після повного усунення джерела шкідливого впливу.
III клас (помірнонебезпечні)	середній	Екологічна система порушена. Період відновлення не менше 10 років після зниження шкідливого впливу від існуючого джерела.
IV клас (малонебезпечні)	низький	Екологічна система порушена. Період самовідновлення не менше 3 років.
V клас (практично незагрозливі)	дуже низький	Екологічна система практично не порушена.

Забруднення повітряного середовища в зоні аеропорту та на прилеглий до нього території визначається загальним об'ємом викидів і концентрацією забруднюючих речовин на цих територіях. Вплив антижеледних хімреагентів на повітря в робочій зоні наведено на рисунку 1 а, б, в населених пунктах на рисунку 2 а, б, на забруднення ґрунту – на рисунку 3 а, б, на забруднення води – на рисунку 4 а, б, перевищення ГДК в воді на рисунку 5 а, б.

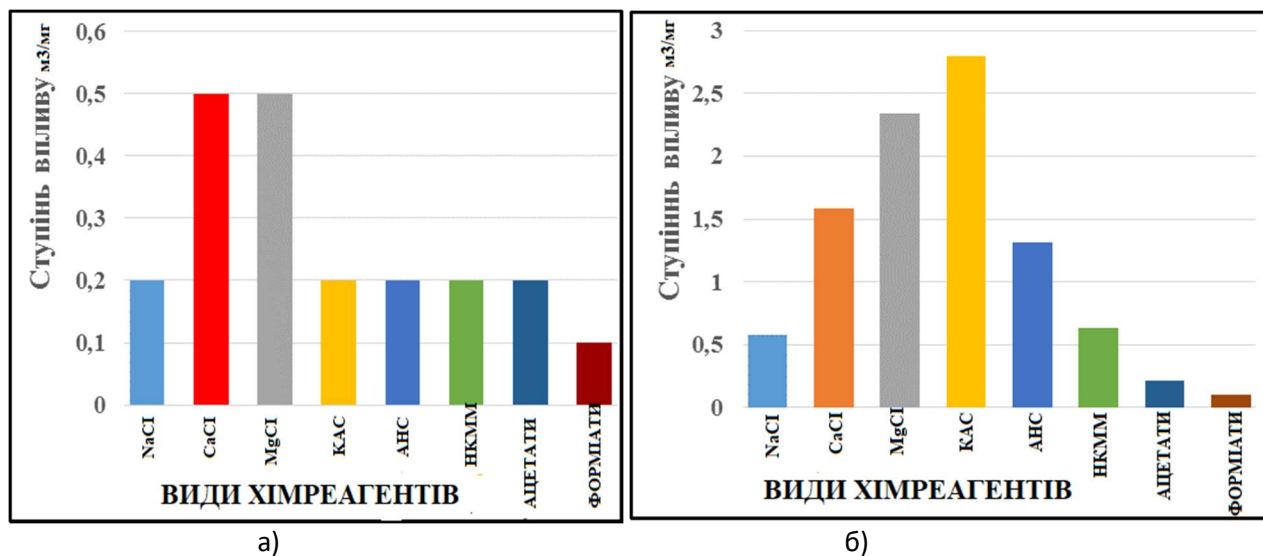


Рисунок 1 – Вплив хімреагентів на забруднення повітря у робочій зоні:
 а - при одноразовому застосуванні; б - при багаторазовому застосуванні

Figure 1 – Chemicals impact on air pollution in activity zones:
 a - in the one time usage ; b - when it's reusable.

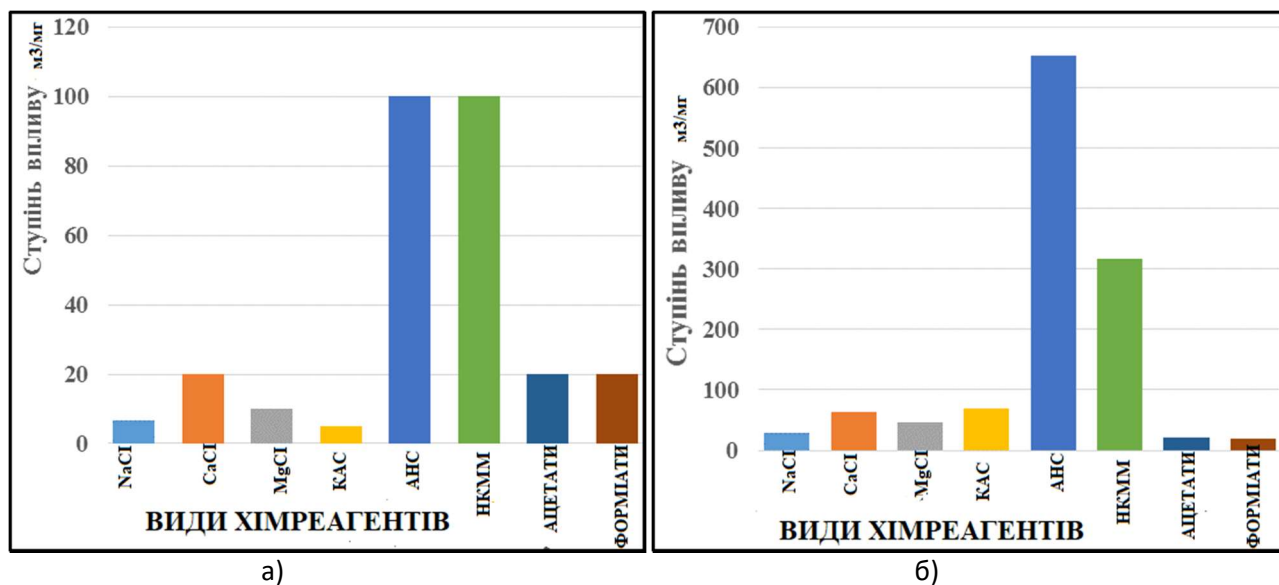


Рисунок 2 – Вплив хімреагентів на забруднення повітря в населених пунктах:
 а - при одноразовому застосуванні; б - при багаторазовому застосуванні

Figure 2 – Influence of chemical reagents on air pollution in settlements:
 a - in the one time usage ; b - when it's reusable.

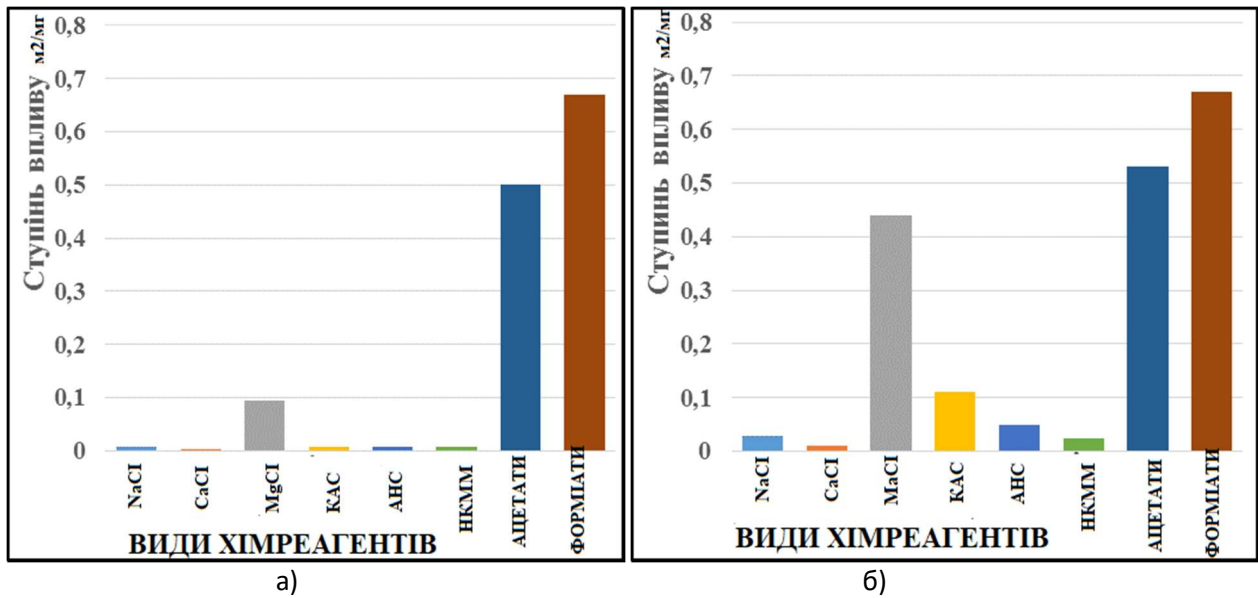


Рисунок 3 – Вплив хімреагентів на забруднення ґрунту:
а - при одноразовому застосуванні; б - при багаторазовому застосуванні

Figure 3 – Influence of chemicals impact on soil pollution
а - in the one time usage ; б - when it's reusable.

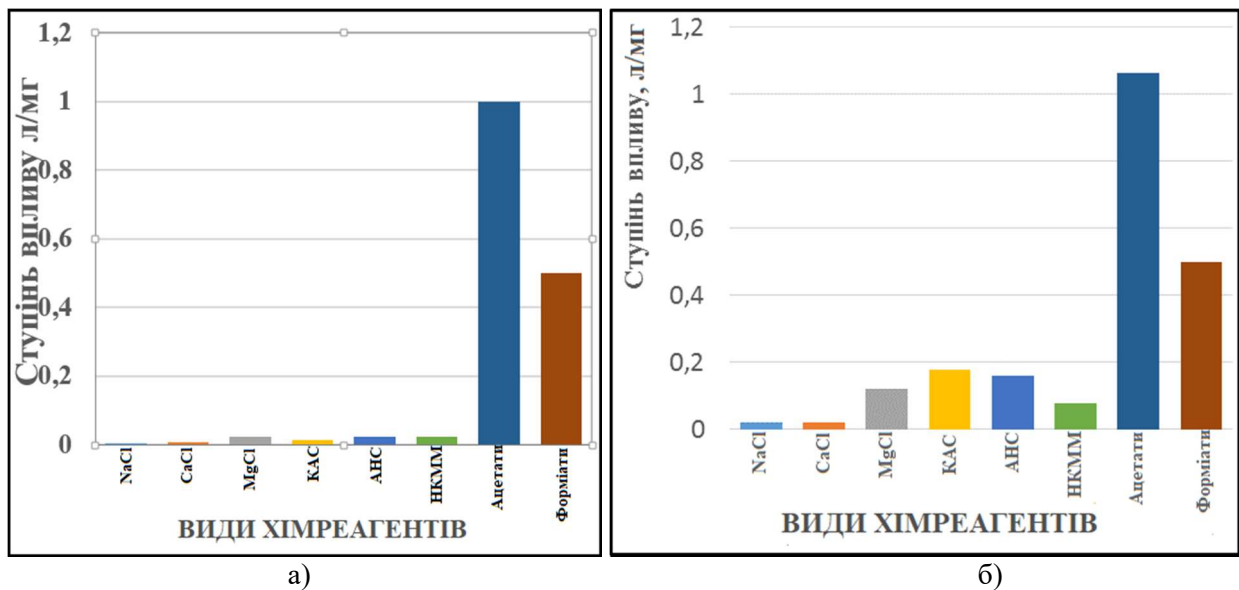


Рисунок 4 – Вплив хімреагентів на забруднення води:
а - при одноразовому застосуванні; б - при багаторазовому застосуванні

Figure 4 – Influence of chemicals impact on water pollution
а - in the one time usage ; б - when it's reusable.

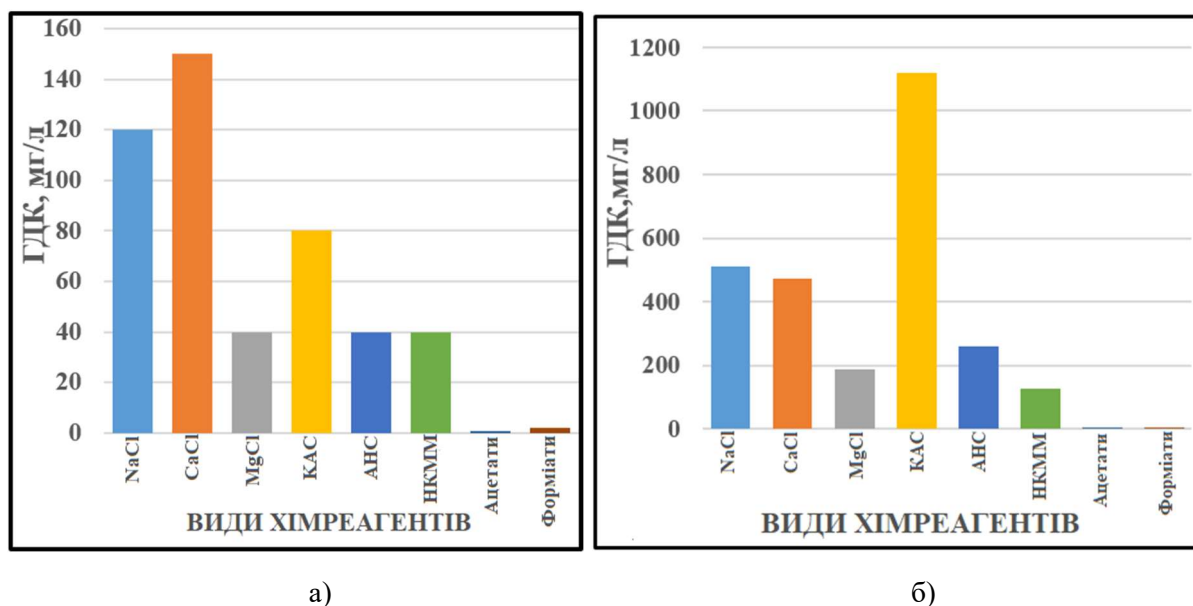


Рисунок 5 – Перевищення вмісту хімреагенту у воді над ГДК
 а - при одноразовому застосуванні ; б - при багаторазовому застосуванні.

Figure 5 – Exceeding of chemicals content in the water over the maximum allowable concentration.
 a - in the one time usage ; b - when it's reusable.

Висновки

1. Охорона природи являє собою систему природно-наукових, техніко-виробничих, економічних і адміністративно-правових заходів. При будівництві і експлуатації аеропортів охорона навколишнього середовища включає питання: захист від шуму; забруднення атмосфери, водоймищ і інших водних джерел, ґрунтів; попередження ерозії рельєфу і затоплення внаслідок прискореного стоку води з ділянок з водонепроникними ґрунтами і покриттями; охорону флори і фауни.

2. Для виключення можливого негативного впливу застосування антиожедедних хімреагентів на людину і навколишнє середовище необхідно чітко і точно виконувати вимоги інструкцій з їх транспортування, зберігання і застосування.

3. Найбільше впливають на забруднення повітря у робочій зоні аеропортів хлорид кальцію і магнію, як при одноразовому так і багаторазовому їх застосуванні, і карбаміди та нітрати – при багаторазовому застосуванні.

4. На забруднення повітря в населених пунктах найбільше впливають такі хімреагенти як АНС, НКММ і при одноразовому і при багаторазовому їх застосуванні.

5. На забруднення ґрунту найбільше впливають хлориди магнію, ацетати і форміати як при одноразовому так і багаторазовому їх застосуванні.

6. На забруднення води найбільше впливають ацетати і форміати, при цьому перевищення ГДК відзначається для всіх хімреагентів, окрім ацетатів і форміатів.

Пелелік посилань

1. Шишков А.Ф., Запорожець В.В., А.Н.Білякович. Аеропорт: Теорія й практика зимового утримування аеродромів. -К.: Дніпро, 2006р, 196с.;

2. Белінський І.А., Закревський А.І., Шинкарчук Н.В. Технічна експлуатація аеродромів.- Київ: КМУГА, 1996.-240с.;

3. Орлов В.А. Теорія і практика боротьби з ожеледдю. - М.: Повітряний транспорт, 2010.-112с.;

4. Експлуатація аеродромів. Справочник / Под ред. Л.И. Горещкого - М.: Транспорт, 1990. - 287 с.;

5. Експлуатація аеродромів: підручник, для студентів вищих закладів освіти/ М.Ф. Дмитриченко, М.М. Дмитрієв, І.П. Гамеляк, І.А. Рутковська, І.І. Попелиш, С.О. Корітчук. – К. : НТУ, 2018. – 420 с.;

6. КЕРІВНИЦТВО по аеропортовим службам: Частина 2. Стан поверхні покриттів. ІКАО, 2002;
7. Наказ Міністерства оборони України від 01.07.2013 № 441 «Про затвердження Інструкції з експлуатації аеродромів державної авіації України»;
8. Циркуляр ІКАО 329-AN/191 Состояние поверхности ВПП: оценка, измерение и представление данных. ИКАО, 2012.

ENVIRONMENTAL ASPECTS THE OF AERODROME ANTI-ICE CHEMICALS APPLICATION

Popeshil Ivan Ivanovich, Ph.D., Associate Professor, National Transport University, Department of Airports, Associate Professor, I_I_P@ukr.net, +380668827221, <https://orcid.org/0000-0003-3358-6565>

Semenchenko Oksana Vasylivna, National Transport University, Senior Lecturer, Department of Transportation Systems and Road Safety, O.Semenchenko@ukr.net, +380671314124, <https://orcid.org/0000-0002-9004-2575>

Koritchuk Sergey Aleksandrovich, National Transport University, Department of Airports, Assistant, K.s2501@ukr.net, +380938133430, <https://orcid.org/0000-0001-5100-873X>

Annotation. This article refers to ecological problems of using anti-icing chemicals, specificity of air transport impact on environment. The question of environmental protection and airport operations safety to date is as much crucial as flight safety, investments efficiency and value of airport constructing.

Keywords. Safety flight, ecology, against ice chemical reagents, aerodromes service, aerodrome, efficiency.

References

1. Shishkov A.F, Zaporozhets V.V, O.N. Bilyakovich. Airport: Theory and practice of winter maintenance of airfields. -K.: Dnepr, 2006, 196 s.;
2. Belinsky A.A., Zakrevsky A.I., Shinkarchuk N.V. Technical maintenance of aerodromes. - Kiev: MNCU, 1996.-240 s.;
3. Orlov V.A. Theory and practice fight against ice. - M.: Povitryany transport 2010.-112 s.;
4. Operation of airfields. Handbook / Ed. L.I. Goretsky - M.: Transport, 1990. - 287 s.;
5. Exploitation of airfields: textbook, for students of higher educational institutions / M.F. Dmitrichenko, M.M Dmitriev, I.P Gamelyak, I.A Rutkovskaya, I.I. Popelish, S.O. Koritchuk - K.: NTU, 2018. - 420 s.;
6. AIRPORT MANAGEMENT: Part 2. Condition of surface coatings. ICAO, 2002.;
7. Order of the Ministry of Defense of Ukraine of 01.07.2013 № 441 "On approval of the Instruction on the operation of airfields of the State Aviation of Ukraine".;
8. ICAO Circular 329-AN / 191 Runway Surface Condition: Evaluation, Measurement, and Data Representation. ICAO, 2012.

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗНАХОДЖЕННЯ НАЙКОРОТШОГО ШЛЯХУ НА ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ

USING INFORMATION TECHNOLOGIES TO FIND THE SHORTEST WAY ON THE TRANSPORT NETWORK



Прокудін Георгій Семенович, доктор технічних наук, завідувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету,

<https://orcid.org/0000-0001-9701-8511>



Єрко Ярослав Володимирович, аспірант кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету,

<https://orcid.org/0000-0002-6759-9578>

Анотація. Приведений аналіз функціонування транспортно-дорожнього комплексу України, який представляє собою складну організаційно-технічну систему, яка вимагає нових підходів до оптимізації міжнародними вантажними перевезеннями. Актуальність досліджень у цьому напрямку визначається необхідністю підвищення ефективності перевезень вантажів у міжнародному сполученні за рахунок розробки і впровадження моделей, методів та програмного забезпечення процесу раціональної організації і оптимізації маршрутів міжнародних вантажних перевезень. Процедура знаходження оптимальних планів перевезень вантажів на транспортних маршрутах дозволяє з усіх існуючих варіантів перевезення вантажів вибрати найбільш дешеві по двох режимах оптимізації перевезення вантажів – або за критерієм вартості, або за критерієм часу. Використання в процесі знаходження оптимального плану маршрутів міжнародних вантажних перевезень дозволяє значною мірою підвищити якість рішень, які приймаються.

Для розв'язання транспортної задачі про найкоротший шлях на мережі як задачі про вантажопотоки у мережах запропоновано використання матрично-мережевої моделі вантажних перевезень з використанням сучасних інформаційних технологій. Більшість оптимізаційних задач на мережах – це задачі про потоки у мережах (network flow problems). Для мережевих задач оптимізації фундаментальним є принцип збереження потоку в будь-якому вузлі, а саме –сума потоків на виході вузла дорівнює сумі потоків на його вході плюс потенціал вузла (+ пропозиція/ - попит). Класичними задачами на графах є задачі про побудову найкоротших шляхів та їх сукупностей у вигляді відповідних дерев чи контурів. Однією з таких задач є пошук найкоротшого шляху між двома заданими вузлами: джерелом і стоком. Об'єктами потоків у практичних задачах виступають вантажі, газ, пасажери, транспортні засоби, сигнали зв'язку, рідини тощо. Для обчислення потоку у вузлах використовується функція обчислення суми величин, координати яких задовольняють визначеній умові (тобто, якщо певні величини належать відповідній множині). В Excel таку процедуру виконує функція СУММЕСЛИ (аргументи). Це дає можливість автоматизувати задачі про вибір найкоротшого шляху на мережі, особливо у міжнародних перевезеннях.

Ключові слова: міжнародні вантажні перевезення, найкоротший шлях, задачі про вантажопотоки, Excel-програми.

Вступ. Світова транспортна система зараз переживає процес глибоких, фундаментальних змін. Одержано інтенсивні імпульси для розвитку процесів створення єдиного торгового ринку на різних

континентах, істотно спрощено процедуру перетинання кордонів. Підвищення ефективності міжнародних перевезень у першу чергу пов'язано з вирішенням задач про найкоротший шлях на мережі. Для вирішення задач оптимізації рекомендується використання матричних або мережевих моделей транспортних систем.

Аналіз матричної моделі представлення вантажних перевезень дозволив зробити наступні висновки: вантажні перевезення і заснована на них транспортна задача є частковим випадком загальної задачі лінійного програмування; у підході, заснованому на лінійному програмуванні, кожна досліджувана система розглядається як сукупність декількох елементарних операцій, названих технологічними процесами. На початковому етапі до неї подаються матеріальні ресурси (машини, люди, сировина, устаткування), а результатом є продукти чи послуги промислового або іншого виробництва; зведення вантажних перевезень до системи лінійних рівнянь і далі до матричного представлення припускає використовувати до їх оптимізації стандартні матричні методи [1].

Мережева модель представлення вантажних перевезень є більш наочна і природна по відношенню до матричної моделі, але існуючі методи оптимізації перевезень вантажів на цій моделі є досить складними і важко піддаються формалізації. Оптимізація перевезень на транспортній мережі за допомогою методу потенціалів дозволяє розв'язати лише транспортні завдання невеликої розмірності, а сама процедура одержання кінцевого результату – оптимального плану перевезень вантажу безпосередньо на транспортній мережі, є достатньо громіздкою і слабо формалізованою [2].

Описана у роботі матрично-мережева модель перевезень вантажів дозволяє отримати нові результати по розв'язанню проблеми оптимізації вантажопотоків на транспортних мережах за рахунок широкого застосування методів і алгоритмів обчислювальної математики, сучасних інформаційних технологій і розв'язати транспортних завдань різної розмірності і конфігурації.

Класичними задачами на графах є задачі про побудову найкоротших шляхів та їх сукупностей у вигляді відповідних дерев чи контурів. Однією з таких задач є пошук найкоротшого шляху між двома заданими вузлами: s (джерелом) і t (стоком). Більшість оптимізаційних задач на мережах – це задачі про потоки у мережах (network flow problems). Для мережевих задач оптимізації фундаментальним є принцип збереження потоку в будь-якому вузлі, а саме – сума потоків на виході вузла дорівнює сумі потоків на його вході плюс потенціал вузла (+ пропозиція/ - попит). Класичними задачами на графах є задачі про побудову найкоротших шляхів та їх сукупностей у вигляді відповідних дерев чи контурів. Однією з таких задач є пошук найкоротшого шляху між двома заданими вузлами: джерелом і стоком. Об'єктами потоків у практичних задачах виступають вантажі, газ, пасажери, транспортні засоби, сигнали зв'язку, рідини тощо [3].

Мета і завдання роботи - автоматизувати задачі про вибір найкоротшого шляху на мережі, особливо у міжнародних перевезеннях.

Виклад основного матеріалу. Більшість оптимізаційних задач на мережах – це задачі про потоки у мережах (network flow problems). Для мережевих задач оптимізації фундаментальним є принцип збереження потоку в будь-якому вузлі, а саме – сума потоків $F_{вих}(x)$ на виході вузла дорівнює сумі потоків на його вході $F_{вх}(x)$ + потенціал $p(x)$ вузла (+ пропозиція/ - попит) [3].

Потік у кожному вузлі мережі – це функція, що задовольняє лінійним рівнянням і нерівностям, де кожній дузі (x_i, x_j) мережі поставлено у відповідність одне чи кілька позитивних чисел. Наприклад, величина $C(x_i, x_j)$ в задачі про максимальний потік є пропускною здатністю дуги (максимальна кількість продукту, що може бути доставлена з вузла x_i у вузол x_j по цій дузі за одиницю часу), в транспортній задачі – це або відстань, або час перевезення, або вартість перевезення одиниці вантажу по цій дузі. Отже величина потоку по дузі (x_i, x_j) не перевищує пропускної здатності цієї дуги $C(x_i, x_j)$, якщо вона задана.

Класичними задачами на графах є задачі про побудову найкоротших шляхів та їх сукупностей у вигляді відповідних дерев чи контурів. Однією з таких задач є пошук найкоротшого шляху між двома заданими вузлами: s (джерелом) і t (стоком). Більшість оптимізаційних задач на мережах – це задачі про потоки у мережах (network flow problems). Для мережевих задач оптимізації фундаментальним є принцип збереження потоку в будь-якому вузлі, а саме – сума потоків на виході вузла дорівнює сумі потоків на його вході плюс потенціал вузла (+ пропозиція/ - попит). Класичними задачами на графах є задачі про побудову найкоротших шляхів та їх сукупностей у вигляді відповідних дерев чи контурів. Однією з таких задач є пошук найкоротшого шляху між двома заданими вузлами: джерелом і стоком. Об'єктами потоків у практичних задачах виступають вантажі, газ, пасажери, транспортні засоби, сигнали зв'язку, рідини тощо.

Для прикладу використання сучасних інформаційних технологій пропонується розв'язання

транспортної задачі про найкоротший шлях на мережі від вузла-джерела – м. Рівне до вузла-стоку – м. Прага, так як основна частина витрат на здійснення перевезення припадає саме на витрати на паливо.

Як правило, перевезення вантажів відбувається на маршруті м. Рівне (Україна) – м. Прага (Чехія) – м. Рівне (Україна) через транзитну країну Польщу, який будується на використанні електронних карт і наведено на рис.1.

Дослідження показали, що загальна довжина традиційного маршруту складає 2400 км.

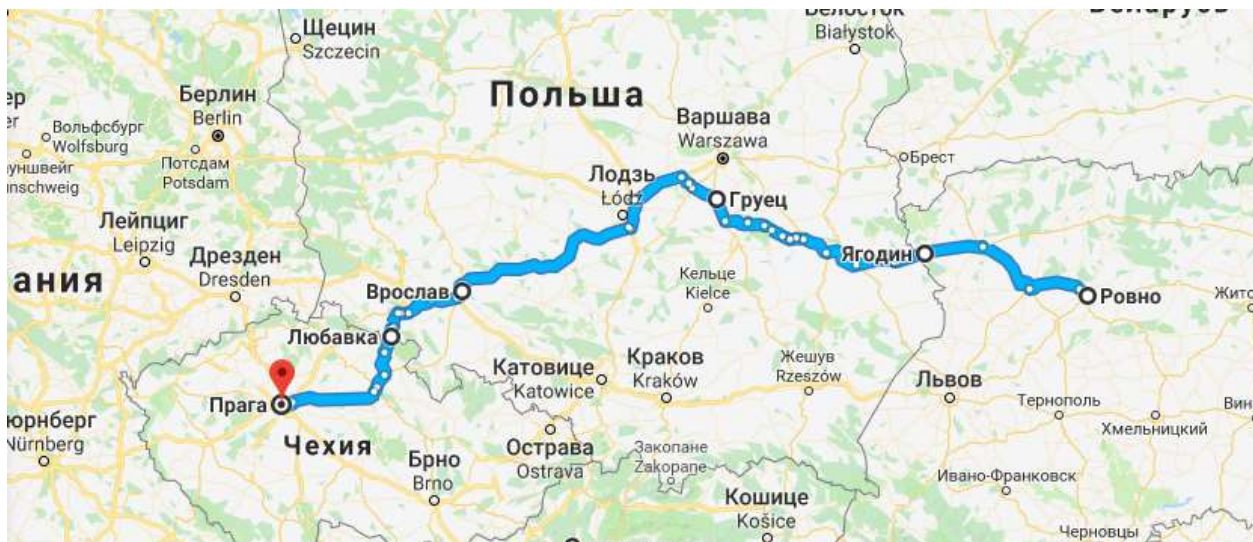


Рисунок 1 – Схема маршруту перевезення м. Рівне (Україна) – м. Прага (Чехія) – м. Рівне (Україна), який побудовано на використанні електронних карт

Figure 1 – Scheme of the route of transportation Rivne (Ukraine) - Prague (Czech Republic) - Rivne (Ukraine), which is based on the use of electronic maps

Знайдемо найкоротший шлях на транспортній мережі від вузла джерела вузла-джерела – м. Рівне до вузла-стоку – м. Прага (нехай на всіх ділянках цієї транспортної мережі допустимий двосторонній рух, а їхня довжина в обох напрямках однакова).

Орієнтований граф називають мережею (network), де визначається:

- вузол-джерело, що має тільки вихідні дуги (позначається буквою s, від source - джерело);
- вузол-стік, що має тільки вхідні дуги (позначається буквою t, від terminal – кінцевий пункт);
- всі інші вузли – проміжні (транзитні), з'єднані між собою дугами, серед яких є і вхідні, і вихідні дуги.

Орієнтовані дуги у мережі позначаються стрілками, неорієнтована дуга замінюється двома назустріч спрямованими стрілками. Дуга зі стрілкою і певним значенням відповідного параметру (це може бути: пропускна здатність транспортної комунікації, відстань між парою вузлів, вартість або час перевезення тощо) визначає універсальне поняття – потік (flow), що рухається з початкового вузла дуги в кінцевий. Об'єктами потоків у практичних задачах виступають вантажі, газ, пасажери, транспортні засоби, сигнали зв'язку, рідини тощо.

Задана сітка у вигляді змішаного зваженого графа з 10 вузлами і 18 дугами, початкові дані мають наступний вигляд у Excel-таблиці (рис.1).

Треба визначити найкоротший шлях від вузла-джерела – м. Рівне до вузла-стоку – м. Прага у наступній математичній постановці:

- знайти вектор дуг $X = (x_1, x_2, \dots, x_{18})$, де елемент $x_i = 1$, якщо відповідна дуга належить найкоротшому шляху, і 0 у протилежному випадку; i – порядковий номер дуги ($i = 1, 2, \dots, 18$);
- щоб загальна довжина шляху

$$D = \sum_{i=1}^{18} d_i x_i \rightarrow \min$$

де d_i – довжина i -ої дуги;

- за умови збереження балансу потоків для кожного j -го вузла ($j = 1, 2, \dots, 10$): $F_{\text{вих}}(x_i) - F_{\text{вх}}(x_i) = 0$, де $F_{\text{вих}}(x_i)$, $F_{\text{вх}}(x_i)$ – сума потоків на вході та виході кожного j -го вузла; для вузла-джерела $F_{\text{вих}}(x_1) - F_{\text{вх}}(x_1) = 1$; для вузла – стока $F_{\text{вих}}(x_{10}) - F_{\text{вх}}(x_{10}) = -1$;
 - при всіх $x_i \geq 0$.

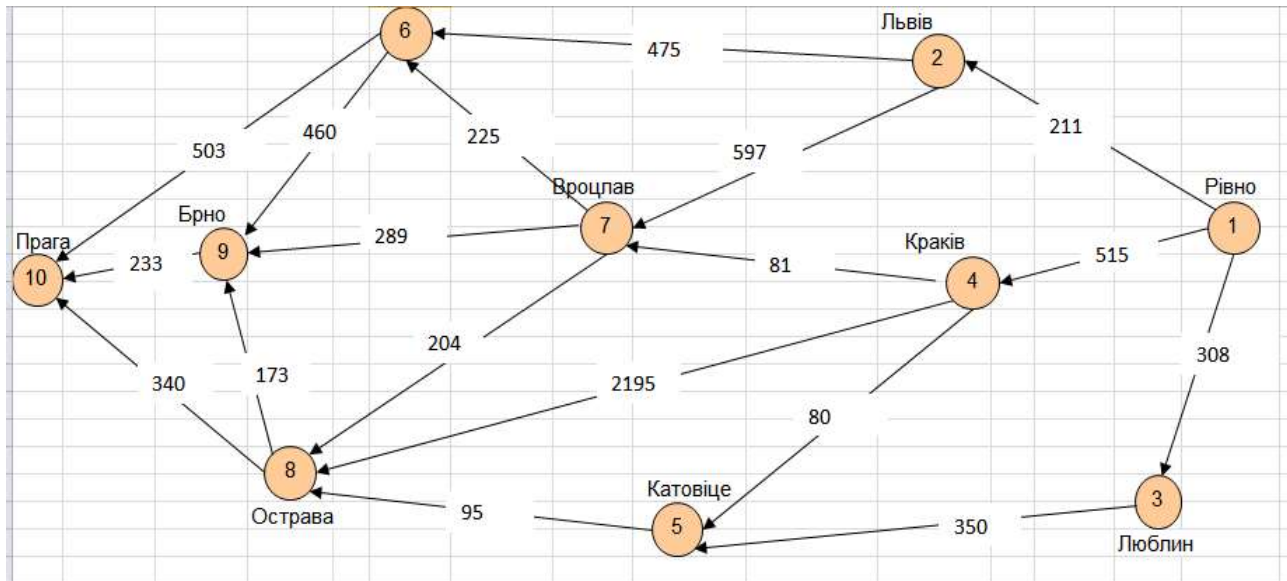


Рисунок 1 – Транспортна мережа м. Рівне (Україна) – м. Прага (Чехія)

Figure 1 – Transport network of Rivne (Ukraine) - Prague (Czech Republic)

Для цього в Excel-таблиці для всіх дуг визначаємо діапазон для невідомих X (Дуга) і обчислюємо значення цільової функції за формулою – СУММПРОИЗВ (Дуга; Довжина), а для всіх вузлів обчислюємо суми вхідних (Вхід) і вихідних (Вихід) потоків, їх суму (Вихід-Вхід), задаємо колонку правих частин обмежень (Обмеження).

На рис. 3 показано графічне зображення отриманого результату, а саме – найкоротший шлях, який зображений на транспортній мережі у вигляді стрілок.

Для обчислення потоку у вузлах використовується функція обчислення суми величин, координати яких задовольняють визначеній умові (тобто, якщо певні величини належать відповідній множині). В Excel таку процедуру виконує функція СУММЕСЛИ (аргументи). Наприклад, сума вхідних потоків вузла визначається за формулою – СУММЕСЛИ (всі кінці дуг; вузол; потоки), тобто, підсумовуються потоки по тих дугах, кінці яких співпадають з поточним вузлом. За формулою – СУММЕСЛИ (всі початки дуг; вузол; потоки) підсумовуються вихідні потоки. На рис. 2 показано розв'язання поставленої задачі за допомогою команди «Пошук рішення» в середовищі Excel-програми, з якого видно, що вектор $X = (0,1,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0)$, а це, у свою чергу означає, що найкоротший шлях з міста Рівно в місто Прага пройде послідовно через м. Краків, м. Катовіце, м. Острава складе 1030 км.

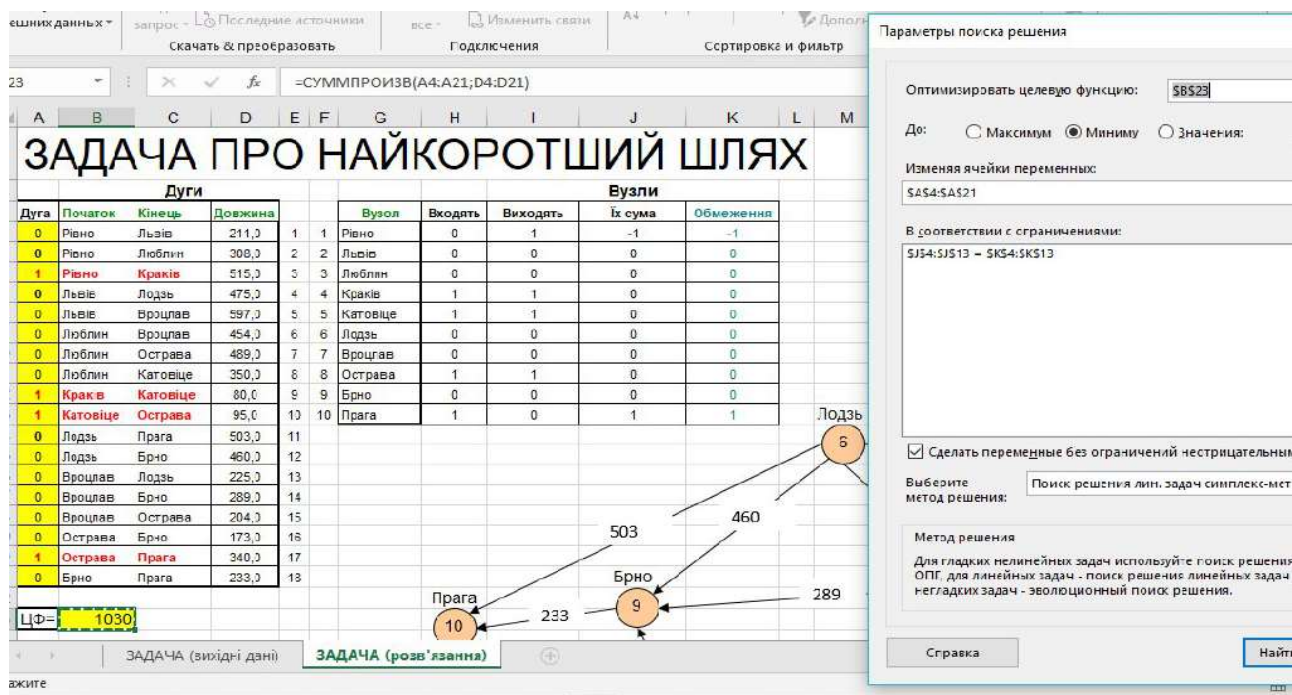


Рисунок 2 – Розв’язання задачі про найкоротший шлях на мережі

Figure 2 – Solving the problem of the shortest path on the network

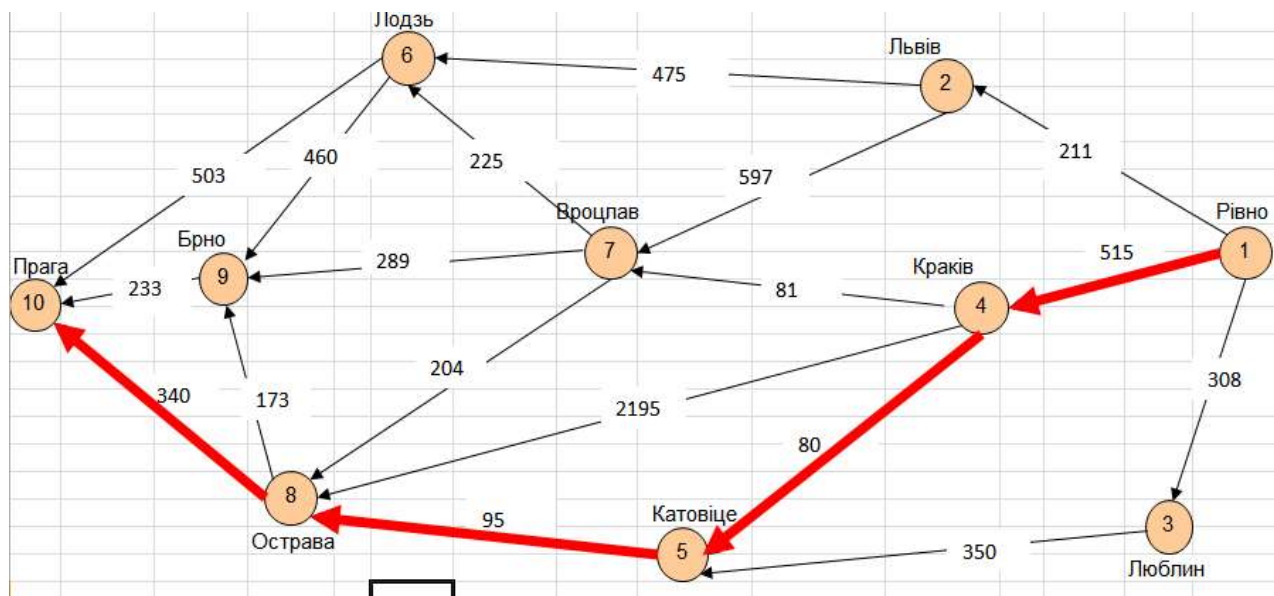


Рисунок 3 – Графічне зображення розв’язання задачі про найкоротший шлях на мережі

Figure 3 – Graphical representation of the solution of the problem of the shortest path on the network

Проведені розрахунки показали, що запропонований варіант маршруту має найкоротший шлях у 1030 км, що більше ніж у два рази коротше традиційного маршруту (2400 км).

Висновки. Для розв’язання транспортної задачі про найкоротший шлях на мережі як задачі про вантажопотоки у мережах запропоновано використання матрично-мережевої моделі вантажних перевезень з використанням сучасних інформаційних технологій. Більшість оптимізаційних задач на мережах – це задачі про потоки у мережах (network flow problems). Для мережевих задач оптимізації фундаментальним є принцип збереження потоку в будь-якому вузлі, а саме – сума потоків на виході вузла

дорівнює сумі потоків на його вході плюс потенціал вузла (+ пропозиція/ - попит). Класичними задачами на графах є задачі про побудову найкоротших шляхів та їх сукупностей у вигляді відповідних дерев чи контурів. Однією з таких задач є пошук найкоротшого шляху між двома заданими вузлами: джерелом і стоком. Об'єктами потоків у практичних задачах виступають вантажі, газ, пасажери, транспортні засоби, сигнали зв'язку, рідини тощо. Для обчислення потоку у вузлах використовується функція обчислення суми величин, координати яких задовольняють визначеній умові (тобто, якщо певні величини належать відповідній множині). В Excel таку процедуру виконує функція СУММЕСЛИ (аргументи). Це дає можливість автоматизувати задачі про вибір найкоротшого шляху на мережі, особливо у міжнародних перевезеннях. Проведені розрахунки показали, що запропонований варіант маршруту має найкоротший шлях у 1030 км, що більше ніж у два рази коротше традиційного маршруту (2400 км). Використання сучасних інформаційних технологій дає можливість автоматизувати задачі про вибір найкоротшого шляху на мережі, особливо у міжнародних перевезеннях, що значно підвищить ефективність міжнародних автомобільних перевезень.

Keywords: International Freight Transportation, Shortest Way, Problems About Freight Flows, Excel-Programs.

Перелік посилань

1. Prokudin G. Application of Information Technologies for the Optimization of Itinerary when Delivering Cargo by Automobile Transport / O. Prokudin, O. Chupaylenko, O. Dudnik, A. Dudnik, V. Svatko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. N. 2/3 (92). P. 51-59. (ISSN 1729-3774, DOI:10.15587/1729-4061.2018.128907, <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/128907>).
2. Prokudin G. Application of Information Technologies for the Optimization of Itinerary when Delivering Cargo by Automobile Transport / O. Prokudin, O. Chupaylenko, O. Dudnik, A. Dudnik, V. Svatko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. N. 2/3 (92). P. 51-59. (ISSN 1729-3774, DOI:10.15587/1729-4061.2018.128907, <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/128907>).
3. Prokudin G. Logistics Approach to the Organization of Unbalanced Freight Transportation in Transport Networks / G. Prokudin, O. Chupaylenko, I. Lebid, N. Luzhanska // Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020. Sustainability: Research and Solutions. PART I. September 30 - October 02, 2020 Online Conference - Kaunas, Lithuania. P. 22-26.

USING INFORMATION TECHNOLOGIES TO FIND THE SHORTEST WAY ON THE TRANSPORT NETWORK

Prokudin GS, Doctor of Engineering Sciences, Professor, head of the International Transportation and Customs Control Department, National Transport University, e-mail: p_g_s@ukr.net, tel. +380633270243, Ukraine, 01010, city Kyiv, street M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, room 437, <https://orcid.org/0000-0001-9701-8511>

Yerko YV, postgraduate Department of International Transportation and Customs Control, National Transport University, e-mail: yaroslav95@gmail.com, tel. +380681420008, Ukraine, 01010, city Kyiv, street M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, room 437, <https://orcid.org/0000-0002-6759-9578>

Abstract. An analysis of the functioning of the transport and road complex of Ukraine, which is a complex organizational and technical system that requires new approaches to optimization of international freight. The relevance of research in this direction is determined by the need to increase the efficiency of international cargo transportation through the development and implementation of models, methods and software for the process of rational organization and optimization of international freight routes. The procedure of finding the optimal plans of cargo transportation on TM allows from all existing options of cargo transportation to choose the cheapest on two modes of optimization of cargo transportation - either on the criterion of cost, or on the criterion of time. The use of international freight routes in the process of finding the optimal plan allows to significantly improve the quality of decisions made.

To solve the transport problem of the shortest path on the network as a problem of freight flows in networks, it is proposed to use a matrix-network model of freight transportation using modern information technologies. Most network optimization problems are network flow problems. For network optimization problems, the principle of preserving the flow in any node is fundamental, namely, the sum of flows at the output of the node is equal to the sum of flows at its input plus the potential of the node (+ supply / - demand). The classic problems on graphs are the problems of constructing the shortest paths and their aggregates in the

form of corresponding trees or contours. One such task is to find the shortest path between two given nodes: source and drain. The objects of flows in practical problems are cargo, gas, passengers, vehicles, communication signals, liquids, and so on. To calculate the flow in the nodes, the function of calculating the sum of quantities whose coordinates satisfy a certain condition (ie, if certain quantities belong to the corresponding set) is used. In Excel, this procedure is performed by the function SUMMES (arguments). This makes it possible to automate the task of choosing the shortest path on the network, especially in international traffic.

References

1. Prokudin G. Application of Information Technologies for the Optimization of Itinerary when Delivering Cargo by Automobile Transport / O. Prokudin, O. Chupaylenko, O. Dudnik, A. Dudnik, V. Svatko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. N. 2/3 (92). P. 51-59. (ISSN 1729-3774, DOI:10.15587/1729-4061.2018.128907, <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/128907>).
2. Prokudin G. Application of Information Technologies for the Optimization of Itinerary when Delivering Cargo by Automobile Transport / O. Prokudin, O. Chupaylenko, O. Dudnik, A. Dudnik, V. Svatko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. N. 2/3 (92). P. 51-59. (ISSN 1729-3774, DOI:10.15587/1729-4061.2018.128907, <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/128907>).
3. Prokudin G. Logistics Approach to the Organization of Unbalanced Freight Transportation in Transport Networks / G. Prokudin, O. Chupaylenko, I. Lebid, N. Luzhanska // Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020. Sustainability: Research and Solutions. PART I. September 30 - October 02, 2020 Online Conference - Kaunas, Lithuania. P. 22-26.

ЩОДО РОЗВИТКУ ЗЕМЕЛЬНО-КАДАСТРОВОЇ СИСТЕМИ

THE DEVELOPMENT OF THE LAND CADASTRAL SYSTEM



Хом'як Анна Ярославівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, кафедра проектування доріг, геодезії та землеустрою, доцент, akhomjak@gmail.com, +380673990164

<https://orcid.org/0000-0002-2483-8153>



Омельчук Сібілла Костянтинівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, кафедра проектування доріг, геодезії та землеустрою, доцент, sib-@ukr.net, +380974403827

<https://orcid.org/0000-0003-2191-1551>



Соловйова Наталія Петрівна, Національний транспортний університет, кафедра проектування доріг, геодезії та землеустрою, старший викладач, solovjovan@ukr.net, +380674474377

<https://orcid.org/0000-0002-5581-4373>



Фещенко Ганна Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет e-mail: fanna2160@gmail.com, тел. +380677441754, Україна, 01010, м. Київ, вул. Московська, 24.

Анотація. Земельно-кадастрові роботи в Україні історично пов'язані з плануванням території Австро-Угорщини, Польщі, Румунії, Чехії, Словаччини та Росії. В подальшому формування кадастру відбувалося в радянський період. Сьогодні, коли формуються земельні відносини на основі приватної власності, цікавим є досвід зарубіжних країн, які вже пройшли шлях становлення. В роботі розглядаються та аналізуються питання розвитку земельно-кадастрової системи в зарубіжних країнах та в Україні, становлення та вдосконалення земельних відносин в Україні. Вивчення досвіду зарубіжних країн є необхідним елементом формування та розвитку національної системи кадастрового обліку.

Ключові слова. Земельно-кадастрова система, земельний кадастр, кадастрові зйомки, земельні ресурси, документація.

Вступ. Земля відіграє величезну роль у створенні матеріальних благ як джерело існування людської спільноти, природна основа суспільного господарювання, яке безпосередньо пов'язане з використанням землі як просторового базису і засобу виробництва. Обмеженість земельних ресурсів на тлі зростання населення робить все більш важливою проблему дбайливого ставлення та раціонального ви-

користання земель. Земля в країні - це по суті «золото», в даний час земля є дуже дорогою. Для розподілу та обліку землі проводяться кадастрові роботи. Достовірна земельно-кадастрова інформація створює належні умови для надання земель, раціонального й ефективного використання їх за призначенням (будівництва доріг, лінії зв'язку, електропередачі, спорудження виробничих і побутових об'єктів, необхідних для населення) [4]. Актуальним є питання оцінки земель придорожніх смуг, оскільки їх вартість може впливати на вибір напрямку й розташування автомобільних доріг, їх облаштування.

У всіх розвинених державах земельний кадастр ведеться протягом багатьох століть і є складним заходом, який охоплює широке коло питань з вивчення та оцінки земель. Тож аналіз земельних кадастрів та досвіду європейських країн є актуальним в період становлення земельних відносин в Україні.

Питанням дослідження кадастрових систем в світі і в окремих країнах присвячені численні публікації зарубіжних авторів: Вільямсона і Тінг (Австралія), Кауфманна і Стеудлера (Німеччина), Ларссона (Швеція), Хенссена (Канада), Енермак (Данія) і ін. Проблемам сучасного етапу розвитку кадастрової системи в Україні присвячені роботи українських вчених: Володіна Н. А., Даниленко А. С., Лихогруд Н. Г., Третьяка А. М., Черемшинський М. Д. та ін. Однак і на законодавчому рівні, і в наукових колах питання щодо концептуальних засад побудови і направлення подальшого розвитку системи земельного кадастру в Україні все ще залишається дискусійним і не вирішеним.

Мета і методи. Мета дослідження полягає в аналізі земельно-кадастрових систем в країнах з високим рівнем економічного розвитку, що дозволить зробити висновок про суттєві відмінності в поняттях земельного кадастру, його організаційну структуру, зміст і способи ведення. Вивчення досвіду зарубіжних країн є необхідним елементом формування і вдосконалення національної системи кадастрового обліку.

Щоб одержати земельно-кадастрові відомості, використовують різні методи, які залежать від призначення показників земельного кадастру. Для обчислення площ земельних ділянок проводяться зйомки місцевості, для визначення показників природних властивостей ґрунтів – обстеження земель, а для економічної їх оцінки – збирання, оброблення й аналіз статистичних даних про господарське використання земель.

Результати і пояснення. Дані земельного кадастру призначені для юридичного оформлення земельної власності, оподаткування та встановлення цін на землю при купівлі-продажу, а також для їх ефективного господарського використання. У більшості країн земельному кадастру державні і господарські органи приділяють велику увагу. Земельні кадастри всіх країн мають загальні положення, і в той же час кожен з них відрізняється за змістом, технікою та організацією проведення.

Найбільш передові технології, які використовуються в земельному кадастрі в зарубіжних країнах, повинні в адаптованому вигляді перейматися і українськими земельно-кадастровими органами. Прогрес не стоїть на місці, і земельний кадастр, як і всі інші сфери людської діяльності, розвивається і вдосконалюється. Вивчення досконало досвіду зарубіжних країн земельно-кадастрової системи необхідно для врахування своїх власних можливих помилок і недоліків у розвитку власної земельно-кадастрової системи, а також для подальших дій в даному напрямку.

Державний земельний кадастр – єдина державна система земельно-кадастрових робіт, яка встановлює процедуру визнання факту виникнення чи припинення права власності на земельні ділянки і права користування ними та містить сукупність відомостей і документів про місце розташування та правовий режим цих ділянок, їх оцінку, класифікацію земель, кількісну та якісну характеристику, розподіл серед власників землі й землекористувачів [2].

У країнах Європи та інших країнах створено найдосконаліші земельно-кадастрові системи. В європейських країнах є багато спільного між різними системами реєстрації землі та інформації про землю за окремими групами країн цієї частини світу, що склалося історично [3].

Європейські та інші країни світу налічують майже 2 сторіччя історії розвитку земельно-кадастрових та реєстраційних систем.

Їх умовно можна виділити чотири основні блоки країн:

- країни з так званою наполеонівською адміністративною системою (країни півдня Європи, включаючи Францію, Іспанію, Італію, Грецію, і т.п.);
- країни з німецькою системою (Німеччина, Австрія, Швейцарія);
- блок скандинавських країн, найяскравішим представником якого є Швеція;
- група англійських країн (Великобританія, а також інші країни світу, які в тій чи іншій мірі зазнали впливу англійського «загального права», включаючи США і Канаду).

У Франції кадастр був заснований в першій половині XIX ст. Земельний кадастр вирішує завдання, пов'язані з оподаткуванням, обліком земель, ідентифікацією та описом земельних ділянок – земельна ділянка з встановленням землевласників і землекористувачів, складанням кадастрових планів. Для ведення земельно-кадастрових робіт в країні діє Генеральна дирекція податкових служб, податкових і земельних операцій, розташована в Парижі, а в кожному департаменті є окремі дирекції податкових служб. Функції кадастру у Франції - визначення місця розташування та ідентифікація земельних ділянок; опис їх меж, типу вирощуваних культур, характеристика будівель, розрахунок бази для оподаткування земельних ділянок і будівель; оновлення кадастрового плану та супутньої текстової інформації [1.]

Кадастр Франції виконує три основні функції [7]:

- фінансову (оцінка нерухомості; ідентифікація власника оцінки);
- юридичну (правова ідентифікація і фізичний опис нерухомості);
- технічну (виготовлення кадастрових планів, підтримка геопросторових даних для ідентифікації та фізичного опису власності тощо).

Основним завданням кадастру в Іспанії є забезпечення податкової політики по відношенню до нерухомості, завдяки чому він знаходиться у веденні міністерства економіки і майна. Урахуванням нерухомості займається Державний секретаріат з майна, якому підпорядковується Головне управління кадастру.

Кадастр містить наступну інформацію: відомості про власника; дані про кожну окрему земельну ділянку, в тому числі його економічні і фізичні характеристики; дані по оподаткуванню нерухомості, включаючи ціну, ставку податку, розмір та зміну податків. Кадастрова інформація використовується не тільки податковими органами, але і в плануванні, управлінні міськими і сільськими територіями, в будівництві і розвитку інфраструктури, в рішенні земельних суперечок, розвитку діяльності служб соціальної допомоги і т. д.

Кадастрова система інформації в Іспанії складається з чотирьох підсистем.

Підсистема оцінки містить вартісні показники, які визначаються згідно з діючими правилами про технічні нормативи земельно- кадастрової оцінки та постійно оновлюється розрахунковим таблицям вартостей. Підсистема географічної земельно-кадастрової інформації - дані, які є основою для цифрової картографії. Підсистема базової інформації - сукупність ін. інформації, пов'язаної з фізичними характеристиками нерухомого майна. Підсистема оподаткування встановлює вартісні взаємини між земельно-кадастровою вартістю, об'єктами оподаткування та платниками податків.

Головною особливістю земельно-кадастрової системи в Німеччині є відсутність федерального рівня. Земельно-кадастрова система Німеччини має дві складові: кадастр нерухомості та господарський кадастр. В першому класифікація земель здійснюється за природними, економічними та юридичними показниками. В господарському ж кадастрі поділ землі відбувається безпосередньо за призначенням сільськогосподарським (рілля, сади, виноградники тощо), лісгосподарські види (ліси, болота та землі, не придатні до обробітку), землі під забудову та інші землі (дороги, аеродроми тощо). Для достовірної та справедливої оцінки землі в Німеччині земельно-оціночні роботи передбачали детальне вивчення ґрунтів за генетико морфологічними ознаками для визначення продуктивності тієї чи іншої ділянки землі сільськогосподарського призначення. Цей процес називається бонітуванням. Інформацію, отриману в результаті бонітування, в поєднанні з даними, отриманими від економічної оцінки, можна використовувати для оцінювання ділянки за 100 бальною шкалою та розподілити землі на сім груп: в першу групу потрапляють кращі землі, а в останню, сьому, відповідно, найгірші [5].

Основною відмінністю австралійської кадастрової системи від європейських систем є те, що австралійська система базується на кадастрові зйомки окремих земельних ділянок для індивідуальних власників. Хоча кадастрові системи всіх штатів дуже схожі, в кожному штаті є свої специфічні відмінності. У кожному штаті прийнятий один або кілька законів, які підтримують земельно-кадастрову систему. При створенні кадастрової системи в межах цілого штату все окремі земельні ділянки повинні бути об'єднані разом, щоб сформувати єдине ціле. Тобто, система розвивається по принципу «від часткового до загального»

З огляду на велику площу, в США не існує єдиної земельно-кадастрової системи, дія якої б поширювалась на всю територію країни. Кожен штат має свою кадастрову систему, але основні принципи лишаються незмінними

Основною одиницею земельної власності в США є індивідуальна земельна ділянка, що має певні ознаки: адреса, геодезичні дані та оціночний індекс. На карті поряд з ділянками показуються автомобільні і залізні дороги, елементи гідрографії. Фахівцями землевпорядного бюро (Bureau of Land

Management) виконується кадастрова зйомка, ведення земельних (реєстраційних) архівів 31 штату, а також різних земельно-інформаційних систем США.

Різні штати ведуть земельно-кадастрові та реєстраційні системи по-різному. У країні розроблено кілька основних кадастрових багатоцільових інформаційних систем [8]. В одних штатах є семантичні дані, в інших - карти, на яких показані дані, що підлягають включенню в загальну систему.

Головною особливістю моделі земельного кадастру, використовуваної в Великобританії, є поділ функцій між службами, які проводять зйомку і виконують картографічні роботи, і службами, які здійснюють реєстрацію речових прав на землю та облік спеціалізованої інформації про землю. Кожна з них може самостійно розробляти методики і форми обліку. Функції з реєстрації прав на землю покладено на Королівську земельну реєстраційну палату (КЗРП). Традиційно КЗРП реєструє права на землю і нерухомість на паперових носіях, а текстова частина свідоцтва про володіння ведеться в електронному вигляді. У Великобританії впроваджується система, що дозволяє вносити записи про власність з використанням електронних карт.

В Англії важливу роль відіграє правило «кордонів загального характеру», тобто кордони деяких землеволодінь існують з тих пір, коли ще не було їх документального підтвердження, і найкраще підтвердження розташування - це фактичне існування. У зв'язку з цим інформаційна основа управління земельними ресурсами в Великобританії відрізняється від інших європейських країн, оскільки немає формального земельного кадастру

Таблиця 1 – Зарубіжний досвід розвитку земельно-кадастрових систем
Table 1 – International experience in developing the land cadastral systems

Країна	Відповідальні органи	Головні функції кадастрової системи	Нормативна база
Франція	Національна служба кадастру, Служба національної документації кадастру, Дирекція податкових служб департаменту,	Облік кількості та якості земель з метою оподаткування, оновлення застарілих кадастрових планів, координація, перевірка і централізація зйомок земельних ділянок.	Національні детективи облаштування території, декрет Міністерства фінансів про створення кадастрового Цифрового плану.
Іспанія	Муніципальні органи влади	Оцінка, накопичення географічної кадастрової інформації, базової інформації, оподаткування.	Закон про землю, громадянський кодекс.
Німеччині	Федеральне агентство картографії і геодезії, Геоінформаційний офіс бундестагу.	Оподаткування та встановлення ціни на землю, земельно-оціночні роботи.	Національні та локальні уряди, окремі громадяни та бізнес.
Австрія	Кадастрові управління в кожному штаті., Державне комерційне підприємство земельно-майнової інформації	-Ведення реєстру власності; - створення кадастрових карт та підготовка документації; - реєструються угоди та інші правові акти	
США	Публічна земельно-знімальна система (PLSS), головний земельний офіс (GLO).	Поділ території на окремі блоки та секції, система реєстрації прав.	Декрет про землю,
Великобританії	Королівська земельна реєстраційна палата (КЗРП), служба ведуча зйомку і виконує картографічні роботи	Підтвердження і реєстрація прав власності Кадастр ведеться для справедливого оподаткування землевласників та є гарантом права власності та права використання земель.	

Незважаючи на відмінності кадастрових інформаційних систем, в тому числі що містяться в них даних, вони використовуються з метою оподаткування, а також для інформаційного забезпечення органів управління необхідною інформацією. Кадастр перерахованих вище країн вирішує завдання, пов'язані з урахуванням земель, ідентифікацією земельних ділянок, встановленням землевласників або землекористувачів, реєстрацією земельних ділянок і нерухомого майна, створенням кадастрових карт.

Науково-методичні основи земельних кадастрів європейських країн застосовувалися в минулому на всій території Західної України, де пізніше велися у вигляді австрійського, чеського, польського, румунського кадастрів. У 1828 р. в Галичині було введено новий земельний кадастр під назвою "дефінітум". Він існував тут до 1939 року. Оцінка земель чистим доходом (за 15 років). Було виділено 5 класів земель, рілля відносилась до трьох класів – третього, четвертого і п'ятого. У 1935 році створений польський кадастр, який базувався на методиці оцінки австро-угорського кадастру. Оцінці підлягали шість видів земельних угідь. При віднесенні ґрунту до того чи іншого класу враховувались механічний склад ґрунту, кліматичні умови, водний режим, рельєф, середня урожайність провідної культури. Всі ці чинники оцінювались "пунктами" (балами). Через це метод отримав назву "пунктового". Пунктовий метод оцінки земель зародився в Німеччині. З 1919 року на значній території Галичини земельно-кадастрові роботи велися органами буржуазної Чехословаччини. В основу робіт була покладена методика австро-угорського кадастру.

У Російській імперії, до складу якої протягом тривалого часу входила частина України, земельно-кадастрові роботи проводилися з метою оподаткування. Зі скасуванням кріпосного права, з розвитком капіталізму почалися масові переділи земель, купівля-продаж, оренда, внаслідок чого виникла необхідність нових методик оцінки земель. Таку методику запропонував російський вчений ґрунтознавець В. В. Докучаєв. Його науковий напрям включав два методи: природно-історичний і статистико-економічний. Суть першого полягає в класифікації ґрунтів та їх оцінці за природними властивостями, для чого проводилися масові обстеження і лабораторні аналізи. Докучаєв оцінював ґрунти не тільки як природно-історичне тіло, але й як засіб виробництва, тому й запропонував другий метод проведення оцінки земель – статистико-економічний. Суть його в тому, що на всіх визначених ґрунтах визначався чистий дохід від використання землі. Порівняння даних бонітування ґрунтів з їх економічною оцінкою дозволяло визначати дохідність землі. Поряд з методом Докучаєва в кінці XIX століття застосовувалися й інші методи (за зовнішніми ознаками), наприклад вегетаційний, коли ґрунти досліджувались.

Офіційно земельний кадастр ведеться в Україні з початку 80-х років минулого століття. На думку Р. Панас, сучасна система включає в себе наступні елементи [5]:

- кадастрове зонування;
- кадастрові знімання;
- бонітування ґрунтів;
- економічна оцінка;
- грошова оцінка і державна реєстрація земельних ділянок;
- облік кількості та якості земель та ін.

Таким чином, на кінець 80-х років XX ст. земельний кадастр в Україні сформувався у цілісну систему даних, які містять відомості про реєстрацію земель і прав на них. облік кількості та якості земель, бонітування ґрунтів і економічну оцінку земель. Слід підкреслити той факт, що у пореформений період, у 1988 році, були проведені повторні суцільні роботи з економічної оцінки земель, дані якої нині прийняті за основу визначення показників грошової оцінки земель в Україні.

Важливою віхою в історії земельно-кадастрових робіт у перші роки демократичної влади було проведення бонітування ґрунтів у 1993 році. Згідно з методичними рекомендаціями щодо проведення бонітування ґрунтів, схваленими науково-методичною радою УААН з питань бонітування ґрунтів України 21 січня 1993 року, роботи з бонітування ґрунтів проводилися в такому порядку:

- уточнено природно-сільськогосподарське районування земельного фонду;
- складено списки агровиробничих груп ґрунтів;
- проведено агроекологічне обґрунтування розміщення сільськогосподарських культур;
- зібрано і оброблено дані про властивості ґрунтів;
- вибрано еталони для бонітування ґрунтів ріллі;
- розроблено шкали бонітування ґрунтів. З метою врахування кліматичних і місцевих умов у межах конкретного природно-сільськогосподарського району застосовувався екологічний коефіцієнт, на який множився загальний бал бонітету кожної агрогрупи за природними властивостями єдиної шкали бонітування ґрунтів. Екологічний коефіцієнт – це відношення урожайності відповідної культури на

еталонному (прийнятому за 100 балів) ґрунті у земельно-оціночному районі до урожайності цієї культури на еталонному ґрунті в зоні її вирощування.

Розробкою шкал бонітування ґрунтів (детальне вивчення ґрунтів за генетико-морфологічними ознаками) було завершено перший етап (січень-квітень 1993 року) бонітувальних робіт. На підставі цих даних були визначені середньозважені бали бонітування ґрунтів районів, областей і України загалом. Недоліком в організації виконання бонітувальних робіт можна вважати те, що не визначалися бали бонітету для окремих земельних ділянок і землекористувань.

Значною проблемою проведення бонітування в Україні є наявність застарілих баз даних. Провести достовірну оцінку та створити об'єктивні плани, опираючись на подібну інформацію, неможливо, а оновлення баз просувається значно повільніше, ніж необхідно. Важливо розуміти, що сама земельно-кадастрова система в Україні, незважаючи на неактуальність наявних в неї даних про стан земель, потребує принципових змін.

Для того, щоб наблизити вітчизняну земельно-кадастрову систему до європейської не вистачає процесу формування та зберігання інформації про стан, кількісні та якісні характеристики земель, не повинне стати самоціллю, а дані — використовуватись не лише в правовому полі. Яскравим прикладом є Іспанія, кадастрові бази якої містять інформацію не лише про стан та місцезнаходження землі, а й про всі зміни, які відбувалися з тим чи іншим об'єктом власності за весь час ведення записів.

Висновки та рекомендації. Земельний кадастр в більшості країн Західної Європи є основою для побудови і підтримки різних видів кадастру та реєстрів (нерухомості, лісового, водного, природоохоронного, містобудівного та т.) і базується на земельних ділянках. Цим забезпечуються оперативне отримання і передача інформації про природні ресурси, значна ефективність земельно-кадастрових систем.

Значний ефект дають інформаційні системи, перш за все в тих державах, де інтегровані земельно-кадастрові та реєстраційні системи в рамках однієї організації. Це властиво такій країні, як Франція та ін.

Для того, щоб наблизити вітчизняну земельно-кадастрову систему до європейської, важливо забезпечити реєстрацію земель з усіма характеристиками, що необхідні для сталого еколого-економічного та соціального розвитку територій.

Враховуючи світовий досвід регулювання земельних відносин, для формування ефективної земельно-кадастрової системи в Україні важливо сформувати масив інформації про: землі та земельні ділянки, права на які не оформлені, або оформлені неправильно; не використовувані або неефективно використовувані землі і земельні ділянки; землі, вільні від прав трьох сторін, придатних до використання.

Сучасна земельно-кадастрова система, яка вибудовується з використанням сучасних інформаційних технологій, у перспективі створить можливість оперативно отримувати необхідну інформацію про землі та земельні ділянки по всій території України за рахунок користування відомостями про об'єкти кадастру, що відображені на цифровій картографічній основі.

Перелік посилань

1. Государственное регулирование земельных отношений за рубежом / Под ред. Л.И. Кошкина. — М : Трида Плюс, 2001. — 180 с
2. Земельний кодекс України. — Львів: Укр. технології, 2001.- 80 с.
3. Клебанович Н.В. Земельный кадастр: учебное пособие / Н.В. Клебанович: - Минск: БГУ, 2006. - 325 с.
4. Новаковський Л.Я. Земельна реформа і землеустрій України/Л.Я. Новаковський, А.М. Третяк, Д.С. Добряк.-К.:Урожай, 2001.-138 с.
5. Панас Р. Порівняльна оцінка земельних кадастрів зарубіжних країн і України / Р. Па нас, М. Маланчук // Геодезія, картографія і аерографія. — 2008. — № 70. — С. 68—75.
6. Сеница Ю.С. Анализ мировых земельных кадастровых систем / Ю.С. Сеница // Имущественные отношения в Российской Федерации. — Москва. — 2014. — № 10 (157). — С. 55—66.
7. Ступень М.Г. Теоретичні основи Державного земельного кадастру : навчальний посібник/М.Г. Ступень:-Львів. 25-36 с.
8. Филипова, А.П. Зарубежный опыт функционирования кадастровых информационных систем / А.П. Филипова. — Земельный вестник России, № 1, 2005.

THE DEVELOPMENT OF THE LAND CADASTRAL SYSTEM

Khomiak Anna, National Transport University, Department of Road Designing, Geodesy and Land Management, PhD in technical science, Associate Professor, akhomjak@gmail.com, +380673990164, <https://orcid.org/0000-0002-2483-8153>

Omelchuk Sibilla, National Transport University, Department of Road Designing, Geodesy and Land Management, PhD in technical science, Associate Professor, sib-@ukr.net, +380974403827, <https://orcid.org/0000-0003-2191-1551>

Solovjova Natalia, National Transport University, Department of Road Designing, Geodesy and Land Management, Associate , solovjovan@ ukr.net, +380674474377, <https://orcid.org/0000-0002-5581-4373>.

Feshchenko Anna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, e-mail: fanna2160@gmail.com, тел. +380677441754, Ukraine, 01010, Kyiv, street Moscowska, 24.

Summary: Work related to Land cadasters in Ukraine is historically related to the planning of the territory of Austria-Hungary, Poland, Romania, the Czech Republic, Slovakia and Russia. Subsequently, the formation of the cadastre occurred in the Soviet period. Nowadays, international experience of countries that have already gone through the path of formation is interesting regarding land relations are formed on the basis of private property in Ukraine. In the paper issues of development of land cadastral system in foreign countries and in Ukraine, development and improvement of land relations in Ukraine are considered and analyzed. The study of international experience is a necessary element of the formation and development of the national cadastral accounting system.

Key words: Land cadastral system, land cadastral, cadastral surveys, land resources, documentation.

References

1. Government regulation of the land relations /Koshkina L.I. – М : Triada Plus, 2001. – 180 p
2. Land code of Ukraine. – Lviv: Ukrainian technologies, 2001.- 80 p.
3. Klebanovych N.V Land cadaster: textbook/ Klebanovych N.V.: - Minsk: BSU, 2006. - 325 p.
4. Novakovskyy L. Ja, Land reform and land surveying of Ukraine /L. Ja. Novakovskyy, A.M . Tretiak, D.S. Dobriak.-K.:Harvest, 2001.-138 p.
5. Panas P. Comparison of international land cadastres and Ukraine / R. Panas, M. Malanchuk // Geodesy, cartography and aerography. — 2008. — № 70. — p. 68—75.
6. Sinitsa Yu.S.. Analysis of the world land cadastral systems. Property Relations in the Russian Federation. - Moscow. - 2014. - № 10 (157). - p. 55-66.
7. Stupen M.G. Theoretical fundamentals of state land cadaster: textbook/M.G. Stupen:-Lviv. 25-36 p.
8. Phillipova, A.P. International experience of functioning of the information systems with cadastes / Phillipova A.P.. – Land information of Russia, № 1, 2005.

УДК 656.078.1/ UDC 656.078.1

**ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ДИСЛОКАЦІЮ
МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ТЕРМІНАЛІВ
RESEARCH OF FACTORS INFLUENCING THE DISLOCATION OF MULTIMODAL
TERMINALS**



Ширяєва С.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна,
e-mail: svitlana007@gmail.com,

orcid.org/0000-0001-9696-635X



Ісасенко В.Л., Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: isvova49@gmail.com,

orcid.org/0000-0001-7935-4554

Анотація. У даній роботі розглядаються фактори, що впливають на дислокацію мультимодальних терміналів. Помилка при виборі регіону дислокації мультимодального терміналу може призвести до великих витрат і погіршення якості мультимодального перевезення вантажів, висувається гіпотеза про необхідність дислокації мультимодальних терміналів з врахуванням групи факторів, що мають істотний вплив на ефективність їх функціонування.

Ключові слова: мультимодальні перевезення, мультимодальний термінал, вантаж, фактори, регіон.

Постанова проблеми. В сучасних умовах розвиток мультимодальних перевезень є найбільш перспективним напрямом для розбудови світової транспортної системи, оскільки дає можливість значно зменшити навантаження на навколишнє середовище та знайти оптимальний баланс між часом доставки та її вартістю.

Важливою складовою мультимодальних перевезень є мультимодальні термінали, ефективна робота яких, відіграє значну роль в забезпеченні зростання міжнародних транспортних потоків та підвищення конкурентноздатності України на міжнародних ринках. У зв'язку з цим, актуальним є дослідження факторів, що впливають на дислокацію мультимодальних терміналів.

Мета дослідження – дослідження факторів, що впливають на дислокацію мультимодальних терміналів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Згідно Проекту Закону України «Про мультимодальні перевезення», мультимодальний термінал – виробничо-перевантажувальний комплекс будь-якої форми власності, що використовується під час мультимодального перевезення для зміни видів транспорту, виконання операцій навантаження, розвантаження, зберігання вантажів тощо. [1]

До складу мультимодального терміналу можуть входити: криті складські корпуси, відкриті складські майданчики для контейнерів та великовагових вантажів, залізничні та автомобільні під'їзні та внутрішні шляхи, службово-технічні та адміністративно-побутові будівлі, стоянки для автомобілів, що знаходяться під охороною, гаражі та ремонтні майстерні для транспортних засобів, тари, контейнерів, підйомно-транспортних машин, паливозаправочні та екіпірувальні пристрої для транспортних засобів, митний пост, зовнішні та внутрішньомайданчикові інженерні мережі, пристані та пірси, засоби освітлення, пожежної та охоронної сигналізації та зв'язку і т.д. [5]

Мультимодальні термінали можуть бути різнопрофільними або спеціалізованими – адаптованими під певний вид транспорту. Вибір того чи іншого терміналу при організації мультимодальних вантажних перевезень залежить від функціональної приналежності терміналу (в залежності від особливостей його організаційної структури та технічної оснащеності). [2]

Помилка при виборі регіону дислокації мультимодального терміналу може призвести до великих витрат і погіршення якості мультимодального перевезення вантажів, висувається гіпотеза про необхідність дислокації мультимодальних терміналів з врахуванням групи факторів, що мають істотний вплив на ефективність їх функціонування. Вибір факторів, що повинні враховуватись, здійснюється на основі теоретичних і практичних знань. Доцільним є використання принципу: чим більший комплекс факторів охоплено, тим точніші результати дослідження.

Транспортно-інфраструктурні фактори характеризують рівень розвитку транспортної інфраструктури, транспортну доступність регіону, кількість працюючих вантажних терміналів, вихід на міжнародні ринки, наявність вантажовласників тощо. Транспортно-інфраструктурні фактори впливають на тип мультимодального терміналу та зону його обслуговування.

Світовий досвід свідчить, що близькість до великих автомагістралей, залізниць, водних шляхів, міжнародних транспортних коридорів та вантажовласників впливає на доцільність дислокації мультимодальних терміналів.

В залежності від регіону дислокації, мультимодальний термінал може об'єднувати кілька видів транспорту (автомобільний, залізничний, водний, повітряний), це дозволяє виконувати більш широкий спектр послуг, пов'язаних з обробкою вантажів, збільшуючи транспортний потенціал мультимодального терміналу. На даний момент існують такі типи мультимодальних терміналів за видами транспорту: автомобільно-залізничний, автомобільно-водний, автомобільно-повітряний, залізнично-водний, залізнично-автомобільно-водний, залізнично-автомобільно-повітряний.

Функціонування терміналу також пов'язано з його негативним впливом на прилеглу територію. Це пов'язано з великими вантажопотоками по автомобільних дорогах, часто непристосованих до руху великовагового вантажного транспорту, що генерує підвищений шум і коливання на будівлі, що розташовані поблизу доріг. Отже, бажана дислокація терміналу в місці стиковки автомобільного та залізничного транспорту поблизу магістральних автодоріг і залізниць великої пропускної здатності. [4]

Дислокація мультимодального терміналу в регіоні, через який проходять міжнародні транспортні коридори, впливає на збільшення міжнародних вантажопотоків в мультимодальних сполученнях.

В регіоні дислокації мультимодального терміналу мають бути розташовані вантажовласники, транспортні, складські, страхові компанії, банки, що забезпечить ефективну роботу всіх учасників мультимодальних перевезень вантажів.

Економічні фактори визначають привабливість регіону з економічної точки зору та включають: рівень використання валового регіонального продукту, виробничі можливості регіону, обсяг перевезень за видами транспорту, обсяг експорту та імпорту товарів і послуг, пропускну здатність вантажних терміналів.

Демографічні фактори характеризують трудовий потенціал регіону, до них належать: наявність кваліфікованих трудових ресурсів, чисельність працездатного та загальна чисельність населення.

Мультимодальний термінал може бути розташований поруч з населеним пунктом, що дозволяє вирішити питання трудових ресурсів, а також, сам термінал може стати причиною зростання населення регіону.

Науково-технічні та інноваційні фактори виражають інвестиційну та науково-технічну привабливість регіону, включають в себе: кількість підприємств, які виконують науково-технічні роботи; обсяг наукових та науково-технічних робіт, виконаних власними силами підприємств; обсяг інноваційної продукції, що є новою для ринку; частку підприємств, що впроваджують інновації.

За результатами дослідження факторів, викладеними вище, запропоновано фактори, що впливають на дислокацію мультимодальних терміналів, які згруповано за відповідними категоріями: транспортно-інфраструктурні, економічні, демографічні, науково-технічні та інноваційні фактори (табл.1).

Для комплексної оцінки факторів, що впливають на дислокацію мультимодального терміналу, запропоновано показник привабливості регіону ($P_{пр}$).

Показник привабливості регіону ($P_{пр}$) відображає реальний рівень розвитку регіону, стан транспортної інфраструктури, демографічний стан в регіоні, рівень впровадження науково-технічних та інноваційних технологій, який розраховується за формулою:

$$P_{пр} = F_{іф} + F_e + F_d + F_{нті}, \quad (1)$$

де F_{if} – показник, що характеризує транспортну інфраструктуру регіону;

F_e – показник, що характеризує економіку регіону;

F_d – показник, що характеризує демографічний стан регіону;

F_{nti} – показник, що характеризує науково-технічні впровадження та інновації в регіоні.

Таблиця 1 - Групи факторів, що впливають на дислокацію мультимодальних терміналів в регіонах

Table 1 - Groups of factors influencing the location of multimodal terminals in the regions

№	Назва фактору
1	Транспортно-інфраструктурні фактори
1.1	Довжина автомобільних доріг загального користування, (тис. км)
1.2	Щільність автомобільних доріг з твердим покриттям, (км на 1000 км ² території)
1.3	Кількість вантажних автомобільних терміналів, од.
1.4	Експлуатаційна довжина залізничних колій загального користування, (км)
1.5	Щільність залізничних колій загального користування, (км на 1000 км ² території)
1.6	Кількість вантажних залізничних терміналів, од.
1.7	Морська доступність, (ТАК/НІ)
1.8	Доступність внутрішніх водних шляхів, (ТАК/НІ)
1.9	Кількість морських торговельних портів, од.
1.10	Кількість повітряних вантажних терміналів, од.
1.11	Кількість внутрішніх водних терміналів, од.
1.12	Вихід до міжнародних транспортних коридорів, (ТАК/НІ)
1.13	Кількість складських комплексів, од.
1.14	Наявність вантажовласників, (ТАК/НІ)
2	Економічні фактори
2.1	Валовий регіональний продукт, (млн. грн)
2.2	Обсяг вантажних автомобільних перевезень, (млн. т)
2.3	Обсяг вантажних залізничних перевезень, (млн. т)
2.4	Обсяг вантажних морських перевезень, (млн. т)
2.5	Обсяг вантажних внутрішніх водних перевезень, (млн. т)
2.6	Обсяг вантажних повітряних перевезень, (млн. т)
2.7	Пропускна здатність вантажних автомобільних терміналів
2.8	Пропускна здатність вантажних залізничних терміналів
2.9	Пропускна здатність морських торговельних портів
2.10	Пропускна здатність повітряних вантажних терміналів
2.11	Обсяг експорту товарів, (млн.дол.США)
2.12	Обсяг імпорту товарів, (млн.дол.США)
2.13	Обсяг експорту послуг (млн.дол.США)
2.14	Обсяг імпорту послуг, (млн.дол.США)
3	Демографічні фактори
3.1	Чисельність населення, осіб
3.2	Працездатне населення, осіб
3.3	Наявність кваліфікованих трудових ресурсів, (ТАК/НІ)
4	Науково-технічні та інноваційні фактори
4.1	Кількість підприємств, які виконують науково-технічні роботи, од.
4.2	Обсяг наукових та науково-технічних робіт, виконаних власними силами підприємств, (млн. грн)
4.3	Обсяг інноваційної продукції, що є новою для ринку, (тис. грн)
4.4	Частка підприємств, що впроваджують інновації

Результати дослідження факторів, що впливають на дислокацію мультимодальних терміналів показують перспективність досліджень по даному напрямку. Постає необхідність вдосконалення існуючих або створення нових методик визначення дислокації мультимодальних терміналів з врахуванням оцінки факторів впливу на показник привабливості регіону.

Висновки. Дослідження факторів, що впливають на дислокацію мультимодальних терміналів дозволить сформувати мережу мультимодальних терміналів, що сприятиме збільшенню обсягів мультимодальних перевезень вантажів.

Перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

Дослідження та вдосконалення методик визначення дислокації мультимодальних терміналів.

Перелік посилань

1. Проект Закону України «Про мультимодальні перевезення», 2019 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/JI01075A.html
2. Основы проектирования инфраструктуры мультимодальных перевозок/ Е.В. Пасечная; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2016. – 44 с.: ил. – Библиогр.: с. 43
3. Корнійко Я.Р. Наукове обґрунтування вибору місця розташування мультимодального транспортно-логістичного центру / Я. Р. Корнійко. // Ефективна економіка. - 2013. - № 1. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2013_1_52
4. Логістичні аспекти функціонування інтермодальних терміналів / І. О. Проценко, С. Лішак, Ю. Стоклоси // Людський капітал і професійна освіта. - 2014. - № 04. - С. 36-42.
5. Ширяєва С.В., Ісаєнко В.Л. Сучасний стан мережі мультимодальних терміналів України // Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації». – Переяслав, 2020. Вип. 59. – С. 473.

RESEARCH OF FACTORS INFLUENCING THE DISLOCATION OF MULTIMODAL TERMINALS

Shyriaieva Svitlana V., Ph.D., associate professor, National Transport University, professor department of transport technologies, e-mail: svitlana007@gmail.com, tel.: +380508855299, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovich-Pavlenko, str. 1, of. 432, orcid.org/0000-0001-9696-635X.

Isaienko Volodymyr L., National Transport University, Kyiv, e-mail: isvova49@gmail.com, tel.: +380984199084, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovich-Pavlenko, str. 1, of. 432, orcid.org/0000-0001-7935-4554

Summary. This paper considers the factors influencing the dislocation of multimodal terminals. The error in choosing the location of the multimodal terminal can lead to high costs and deterioration of the quality of multimodal transportation, the hypothesis of the need to deploy multimodal terminals, taking into account a group of factors that significantly affect their efficiency.

Key words: multimodal transportation, multimodal terminal, cargo, factors, region.

REFERENCES

1. Draft Law of Ukraine "On Multimodal Transport". (2019). [Electronic resource]. – Access mode: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/JI01075A.html [in Ukrainian].
2. Pasechnaya E.V. (2016) Osnovy proektirovaniya infrastruktury mul'timodal'nykh perevozok: [Fundamentals of multimodal transportation infrastructure design: lecture texts] Rostov-on-Don, 44 p. [in Russian].
3. Korniyko Y.R. Naukovo obgruntuvanna vibory mistysya roztashuvannya multimodal transport and logistics center/ Y. R. Korniyko. // Effective economy. - 2013. - No. 1. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2013_1_52 [in Ukrainian].
4. Procenko I. O. Logistical aspects of functioning Intermodal terminals/ Procenko I. O., Liscak S., Stoklosa J. // Human capital and professional education. – 2014.-No.04.-S.36-42. [in Ukrainian].
5. Shyriaieva, S.V., Isaienko V.L. (2020). The current state of the network of multimodal terminals of Ukraine // International scientific-practical Internet conference "Trends and prospects for the development of science and education in the context of globalization." - Pereyaslav, 2020. Issue. 59. - P. 473. [in Ukrainian].