

РОЗВІДУВАННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ ДОРІГ ТА ПЕРЕХОДІВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ

УДК 625.72

Богаченко В.М. канд. техн. наук, Асатрян В.Г.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ОБХОДУ ТРАСОЮ ПЕВНИХ ДІЛЯНОК МІСЦЕВОСТІ

Анотація. В даній роботі розглянуто питання визначення доцільності обходу трасою автомобільної дороги певних ділянок місцевості на основі техніко-економічного обґрунтування, адаптованого під нинішні економічні умови.

Ключові слова: трасування автомобільних доріг, траса, сумарні приведені витрати, вантажні перевезення, пасажирські перевезення.

Аннотация. В данной работе рассмотренный вопрос определения целесообразности обхода трассой автомобильной дороги определенных участков местности на основе технико-экономического обоснования, адаптированного под нынешние экономические условия.

Ключевые слова: трассирование автомобильных дорог, трасса, суммарные приведенные затраты, грузовые перевозки, пассажирские перевозки.

Annotation. This work reviewed the issue of determination alignment tracking expediency of certain terrain based on feasibility study, adapted to the current economic conditions.

Keywords: road-location, alignment, summary reduced expenditures, freight traffic, ridership.

Досить часто при трасуванні автомобільних доріг в смузі варіювання існують ділянки місцевості, відносно яких необхідно вирішити питання можливості їх обходу або проходження через них.

Звісно, оптимальне інженерне рішення обирається на основі техніко-економічних розрахунків. Тому і в даному випадку доцільність обходу траси характерних ділянок місцевості буде визначатися техніко-економічним

обґрунтуванням. Але, кардинальні зміни економічних умов, які виникли в нашій країні, вимагають корегування існуючих підходів щодо окремих положень техніко-економічних обґрунтувань проектних рішень.

Визначення доцільності відхилення можна виконати шляхом порівняння додаткових витрат на проходження трасою через певну ділянку місцевості з сумарними приведеними витратами, які виникають через подовження траси при її відхиленні від генерального напрямку. Відхилення буде вважатися доцільним при виконанні головної умови:

$$P_{\text{діл}} > P_{\text{пр}}, \quad (1)$$

де $P_{\text{діл}}$ – додаткові витрати на проходження трасою через певну ділянку місцевості, тис. грн.;

$P_{\text{пр}}$ – сумарні приведені витрати, які виникають через подовження траси при її відхиленні від генерального напрямку, тис. грн.

Сумарні приведені витрати враховуються за розрахунковий період (t), який, як правило, приймається 20-30 років, та розраховуються за формулою:

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{д}} + P_{\text{т}} + P_{\text{е}}, \quad (2)$$

де $P_{\text{д}}$ – дорожні витрати, тис. грн.;

$P_{\text{т}}$ – транспортні витрати, тис. грн.;

$P_{\text{е}}$ – експлуатаційні витрати, тис. грн.

1 Дорожні витрати

До дорожніх витрат відноситься вартість будівництва автомобільної дороги ($P_{\text{бюд.}}$) з врахуванням вартості відведеної землі. В умовах нинішніх ринкових відносин будівництво доріг частіше виконується за рахунок кредитних коштів, що призводить до збільшення коштів, відведених на розвиток інфраструктури, через необхідність повернення відсотків по кредиту.

В залежності від способу нарахування відсотків вартість нарахування кредиту буде відрізнятись. На сьогодні нарахування плати по кредитам відбувається за наступними способами [4]:

1) За простими відсотками, які розраховуються за формулою:

$$P_{кр} = Kp \cdot \frac{i \cdot n}{100}, \quad (3)$$

де $P_{кр}$ – загальна сума відсотків за кредитом, тис. грн.;

Kp – сума кредиту, тис. грн.;

i – відсоткова ставка, %;

n – кількість періодів, роки.

2) За складними відсотками, які розраховуються за формулою:

$$P_{кр} = Kp \cdot \left(\left(1 + \frac{i}{100} \right)^n - 1 \right). \quad (4)$$

3) Повернення кредиту з погашенням тіла кредиту рівними частинами.

Відсотки розраховуються за формулою:

$$P_{кр} = \frac{2 \cdot Kp - \frac{Kp \cdot (n-1)}{n}}{2} \cdot n \cdot \frac{i}{100}. \quad (5)$$

4) Повернення кредиту зі сплатою однакової загальної суми щороку (ануїтет). Відсотки розраховуються за формулою:

$$P_{кр} = Kp \cdot (An \cdot n - 1), \quad (6)$$

де An – коефіцієнт ануїтету, який розраховується за формулою:

$$An = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}. \quad (7)$$

Як приклад, при рівних умовах: сумі кредиту – 1 000 000 грн., терміні – 8 років та кредитних відсотках – 8 % – сума відсотків за користування кредитом буде відрізнятись в залежності від способу нарахування відсотків (табл. 1).

Таблиця 1 – Сума відсотків за користування кредитом в залежності від способу нарахування відсотків

Рік	Сума відсотків за користування кредитом за рік, грн.			
	Прості відсотки	Складні відсотки	Погашення тіла кредиту рівними частинами	Ануїтет
1	80 000,00	80 000,00	80 000,00	80 000,00
2	80 000,00	86 400,00	70 000,00	72 478,82
3	80 000,00	93 312,00	60 000,00	64 355,94
4	80 000,00	100 776,96	50 000,00	55 583,24
5	80 000,00	108 839,12	40 000,00	46 108,72
6	80 000,00	117 546,25	30 000,00	35 876,23
7	80 000,00	126 949,95	20 000,00	24 825,15
8	80 000,00	137 105,94	10 000,00	12 889,98
Всього	640 000,00	850 930,21	360 000,00	392 118,08

Як видно з табл. 1 загальна сума відсотків за кредитом значною мірою залежить від способу нарахування відсотків і становить значні кошти. З врахуванням того, що будівництво доріг коштує сотні мільйонів гривень сума відсотків за кредитом становитиме значних величин. Тому при визначенні вартості будівництва автомобільних доріг варто враховувати суму відсотків за кредитом.

2 Транспортні витрати

В техніко-економічних розрахунках прийнято враховувати собівартість автомобільних перевезень, яка розраховується за формулою:

$$C_{\pi} = \frac{C_L \cdot L + C_a \cdot T + 3\Pi_B}{Q}, \quad (8)$$

де C_L – собівартість 1 км пробігу за змінними витратами (витрати на паливо, змащувальні продукти, ремонт і т. п.), грн./км;

L – відстань пробігу, км;

C_a – собівартість 1 авто-год. за накладними витратами (заробітна плата адміністративно-управлінського та допоміжного персоналу, витрати на утримання споруд і т. п.), грн./авто-год.;

T – тривалість пробігу за поїздку, $T = \frac{L}{V_{\phi}}$, год;

V_{ϕ} – швидкість руху автомобіля з врахуванням впливу інтенсивності руху, км/год.;

$ЗП_B$ – заробітна плата водія, грн.;

Q – вантажообіг за поїздку, $Q = q \cdot \gamma \cdot L$, т км;

q – вантажопідйомність автомобіля, т;

γ – коефіцієнт завантаженості.

Транспортні витрати на рік визначаються за формулою:

$$P_T = 365 \cdot L \cdot N \cdot C_{\Pi}, \quad (9)$$

де N – розрахункова інтенсивність руху, авто/добу.

Такий підхід на сьогодні неможливо застосувати з декількох причин. По-перше, на сьогодні на ринку автоперевезень немає державних автотранспортних підприємств і відповідним чином тарифи на перевезення вантажів та пасажирів визначаються з урахуванням ринкових умов – вартості паливо-мастильних матеріалів, заробітної плати персоналу, утримання приміщень, орендної плати і т. п. По-друге, нормативне регулювання [6] визначає мінімальні тарифи на автоперевезення, які досить часто не відповідають існуючим тарифам. Тому для подальших розрахунків ми використовуємо існуючі тарифи на автоперевезення, які включають в себе і собівартість перевезень і прибуток автоперевізників. Враховуючи те, що прибуток в розмірі 15 % вважається таким, що дозволяє підприємству бути рентабельним, собівартість автоперевезень можна приймати як 85 % від тарифів на перевезення.

До транспортних витрат можна віднести витрати на перевезення вантажів і пасажирів та втрати, пов'язані із часом знаходження пасажирів в дорозі.

$$P_T = P_{\Pi B} + P_{\Pi \Pi} + P_B, \quad (10)$$

де P_T – транспортні витрати, тис. грн./рік;

$P_{\Pi B}$ – витрати на перевезення вантажів, тис. грн./рік;

$P_{\text{п}}$ – витрати на перевезення пасажирів, тис. грн./рік;

$P_{\text{в}}$ – втрати, пов'язані із часом знаходження пасажирів в дорозі, тис. грн./рік.

2.1 Вантажні перевезення

Згідно [6] мінімальний розмір тарифів на перевезення вантажів автотранспортними засобами, крім міжнародних перевезень, визначається шляхом обчислення добутку середньої роздрібною ціни автомобільного палива та коефіцієнтів згідно з табл. 2. З врахуванням вартості палива (станом на 12.11.15: А-92 – 18,94 грн./л.; А-95 – 19,70 грн./л.; ДТ – 17,17 грн./л), мінімальна вартість перевезень становитиме величини, наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Коефіцієнти, що застосовуються для визначення мінімального розміру тарифу на 1 км перевезень відповідно до вартості 1 л. автомобільного палива (ДТ)

Вантажопідйомність, кг	Коефіцієнт	Вартість перевезень грн./км
Від 500 до 2500	0,5	8,58
Від 2501 до 5000	0,7	12,02
Від 5001 до 10000	0,9	15,45
Від 10001 до 20000	1,1	18,89

Маркетингові дослідження ринку автомобільних перевезень по Україні за 2015 рік дозволили виявити, що ціни на перевезення коливаються в певних межах в залежності від маршруту перевезень і якщо визначити їхню середню величину, то можна перейти до собівартості, яка буде складати 85 % від середньої вартості перевезень (табл. 3).

Таблиця 3 – Вартість вантажних перевезень в залежності від вантажопідйомності

Вантажопідйом- ність, т	Вартість, грн./км	Середня вартість, грн./км	Собівартість, грн./км
1 – 2 т	3,70 – 6,74	4,85	4,12
3 т	4,00 – 7,94	5,21	4,43
5 т	6,21 – 9,28	8,64	7,34
10 т	6,72 – 15,00	10,93	9,29
20 т	8,56 – 20,00	15,03	12,78

Для розрахунків необхідно брати дані табл. 3, так як вони реально відображають ситуацію на ринку.

Вартість вантажних перевезень за розрахунковий період можна розрахувати за формулою:

$$P_{PB} = \sum_{i=1}^t \frac{365 \cdot L \cdot (N_i^e \cdot C_i^{1km} + N_i^{aem} \cdot C_i^{1km})}{1000 \cdot (1+u)^i}, \quad (11)$$

де t – розрахунковий період, роки;

L – довжина дороги, км;

N_i^e, N_i^{aem} – відповідно інтенсивності вантажного автомобіля і автопотяга в i -тому році, авто/добу;

C_i^{1km} – собівартість 1 км перевезення в i -тому році, грн./км.

u – ставка дисконту в частках одиниці.

2.2 Пасажирські перевезення

Вартість пасажирських перевезень можна розрахувати за формулою:

$$P_{PII} = \sum_{i=1}^t \frac{365 \cdot C_i^{1nac} \cdot L \cdot (N_i^l \cdot P_l + N_i^a \cdot P_a)}{1000 \cdot (1+u)^i}, \quad (12)$$

де C_i^{1nac} – собівартість перевезення 1 пасажирів на 1 км в i -тому році, чол.грн./км;

N_i^l, N_i^a – відповідно інтенсивності легкового автомобіля і автобуса в i -тому році, авто/добу;

P_l, P_a – відповідно середня кількість пасажирів в легковому автомобілі і автобусі.

Маркетингові дослідження вартості пасажирських перевезень на 2015 рік в різних областях показали, що вартість перевезень коливається від 0,40 грн./км до 0,55 грн./км, в середньому по Україні становить 0,45 грн./км. Відповідно собівартість приймається 85 % від вартості і становить 0,38 грн./км.

2.3 Втрати, пов'язані із часом знаходження пасажирів в дорозі

Вони визначаються за формулою:

$$P_B = \sum_{i=1}^t \frac{365 \cdot C_i^{1200} \cdot (N_i^l \cdot \frac{L}{V_l} \cdot P_l + N_i^a \cdot \frac{L}{V_a} \cdot P_a)}{1000 \cdot (1+u)^i}, \quad (13)$$

де C_i^{1200} – втрати 1 год. перебування в дорозі 1 пасажир в і-тому році, грн.;

V_l, V_a – відповідно середні швидкості легкового автомобіля і автобуса, км/год.

$$C^{1200} = \frac{3П}{D \cdot T_D}, \quad (14)$$

де $3П$ – середня заробітна плата, згідно [7] на 09.15 $3П = 4343$ грн.;

D – середня кількість робочих днів за місяць, $D = 21$ день;

T_D – тривалість робочого дня, $T_D = 8$ год.

Окрім цього, згідно [1], необхідно враховувати вартісну оцінку часу населення від заробітної плати, що складає:

- 100-115 % – для роботодавців;
- 75 % – для водіїв;
- 35 % – для дорослих пасажирів;
- 25 % – для дітей віком до 16 років.

3 Експлуатаційні витрати

Щорічні дорожньо-експлуатаційні витрати складаються з витрат на утримання, поточного та капітального ремонтів автомобільного ремонту.

$$P_E = P_{утр.} \cdot n_{утр.} + P_{пот.р} \cdot n_{пот.р} + P_{кап.р} \cdot n_{кап.р}, \quad (15)$$

де $P_{утр.}, P_{пот.р}, P_{кап.р}$ – відповідно витрати на утримання, поточний та капітальний ремонт автомобільної дороги, тис. грн.;

$n_{утр.}$ – кількість років утримання дороги;

$n_{пот.р}$ – кількість поточних ремонтів;

$n_{кап.р}$ – кількість капітальних ремонтів.

Розмір цих витрат залежить від категорії та протяжності ділянок дороги, на яку вони розраховуються [8].

Середня щорічна вартість утримання одного кілометра дороги II категорії становить 9 025 грн., III категорії – 7220 грн., IV категорії – 5415 грн.; поточного ремонту II категорії – 112 000 грн., III категорії – 89600 грн., IV категорії – 67200 грн.; капітального ремонту – 40 % від вартості будівництва

дороги, приведеної до одного року початку експлуатації автомобільної дороги, з урахуванням терміну міжкапітального ремонту (для II категорії 12 років, III категорії – 13 років, IV категорії – 13 років).

Висновок

Визначені сумарні приведені витрати будуть підходити до нинішньої економічної ситуації. Порівнявши додаткові витрати на проходження трасою через певну ділянку місцевості з сумарними приведеними витратами, які виникають через подовження траси при її відхиленні від генерального напрямку, можливо обґрунтувати доцільність того чи іншого відхилення.

Література

1. Справочная энциклопедия дорожника, V том «Проектирование автомобильных дорог» / Под ред. Федотова Г.А. и Поспелова П.И., Москва 2007.
2. Хавкин К.А., Дашевский Л.Н. Проектирование продольного профиля автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1966. – 239 с.
3. Техничко-економическое обоснование при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов (справочное пособие) / Болдаков Е.В., Федотов Г.А., Перевозников Б.Ф.; Под ред. Болдакова Е.В. – М.: Транспорт, 1981, 207 с.
4. Фінанси/Обчислення відсотків за кредитом або депозитом [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://uk.wikibooks.org/wiki/Фінанси/Обчислення_відсотків_за_кредитом_або_депозитом.
5. Бабков В.Ф.Трассирование автомобильных дорог: учебное пособие / МАДИ. М., 1993. – 80 с.
6. Питання стабілізації цін на внутрішні вантажні автомобільні перевезення [Текст]: Постанова Кабінету Міністрів України від 25.02.2009 р. № 226 // Офіційний вісник України. – 2009. – № 20. – С. 68.
7. Державна служба статистики [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
8. Довгополук Л.О. Удосконалення методу техніко-економічного обґрунтування типу дорожніх розв'язок в різних рівнях: дис. канд. техн. наук: спец. 05.22.11 "Автомобільні шляхи та аеродроми" / Довгополук Людмила Олексіївна – Київ, 2015. – 180 с.

Рецензенти

Є.Б. Угненко, д-р техн. наук, ХНАДУ (Харків)
Ф.П. Гончаренко, канд. техн. наук, ДП "Укрдипродор" (Київ)

Reviewers

Ye.B. Uhnenko, Dr.Tech.Sci., KhNAHU (Kharkiv)
F.P.Honcharenko, Ph.D., "Ukrdiprodor" (Kyiv)

Довгополюк Л.О., канд. техн. наук

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАТРИМОК НА ДОРОЖНІХ РОЗВ'ЯЗКАХ В РІЗНИХ РІВНЯХ

Анотація: представлено розрахунок затримок автомобільного транспорту при виконанні маневрів вливання в основний потік; визначення транспортних витрат з урахуванням затримок транспорту.

Ключові слова: автомобільна дорога, дорожня розв'язка в різних рівнях, час проїзду, час затримки, транспортні витрати.

Аннотация: представлено расчет задержек автомобильного транспорта при выполнении маневров вливания в основной поток; определение транспортных расходов с учетом задержек транспорта.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожная развязка в разных уровнях, время проезда, время задержки, транспортные расходы.

Annotation: The calculation of delays of road transport in carrying out maneuvers infusion into the main stream; determining transport costs, taking into account transport delays.

Keywords: road, road junction at different levels, time travel, time delay, transport costs.

Вступ

Збільшення інтенсивності руху на автомобільних дорогах викликає необхідність проектування перехресть та примикань у різних рівнях, для збільшення пропускної здатності.

Проте, конкретний вибір дорожньої розв'язки потребує техніко-економічного обґрунтування, основою якого є сумарні дорожньо-транспортні витрати. Дорожні витрати – це вартість будівництва дорожньої розв'язки, а транспортні витрати повинні складатися з сумарного часу проїзду та затримок автомобільного транспорту. В існуючих методах не враховуються затримки, а враховується лише час проїзду, тому метод визначення затримок є актуальним.

1 Визначення меж порівняння дорожньої розв'язки в різних рівнях

При порівнянні дорожньої розв'язки автомобільних доріг на різних рівнях виділяють ділянки доріг, що перетинаються, на яких розміщуються всі варіанти розв'язок. Розташування ділянок показано на рис. 1, по одній дорозі ділянка АВ, по другій – CD.

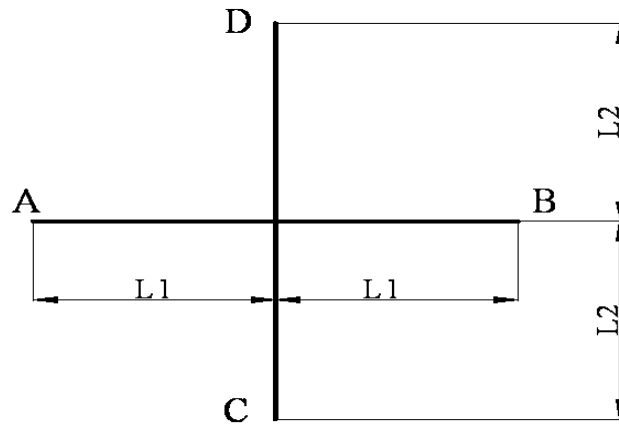


Рисунок 1 – Межі дорожньої розв'язки, на якій проводиться порівняння варіантів дорожньої розв'язки

Межі вибираються так, щоб на них розмістилися усі елементи дорожньої розв'язки у найвіддаленішому варіанті дорожньої розв'язки по відношенню до центру перетину осей автомобільних доріг.

Сумарні дорожньо-транспортні витрати складаються з капітальних витрат на будівництво дорожньої розв'язки та вартості часу проїзду автомобільного транспорту за перший рік експлуатації дорожньої розв'язки.

Для визначення транспортних витрат необхідно знати час проїзду дорожньою розв'язкою в різних рівнях. Час проїзду по напрямку дорожньої розв'язки:

$$T_{\text{пр}} = \sum_n^{i=1} t_i, \quad (1)$$

де t_i – час проїзду i -тої ділянки напрямку автомобільної дороги, год.;

n – кількість ділянок з однорідними умовами руху (однаковою швидкістю).

Час проїзду, який потрібний транспортному засобу для проїзду дорожньої розв'язки визначається довжиною ділянки та, відповідно, швидкістю руху по ній:

$$t_i = \frac{l_i}{v_i}, \quad (2)$$

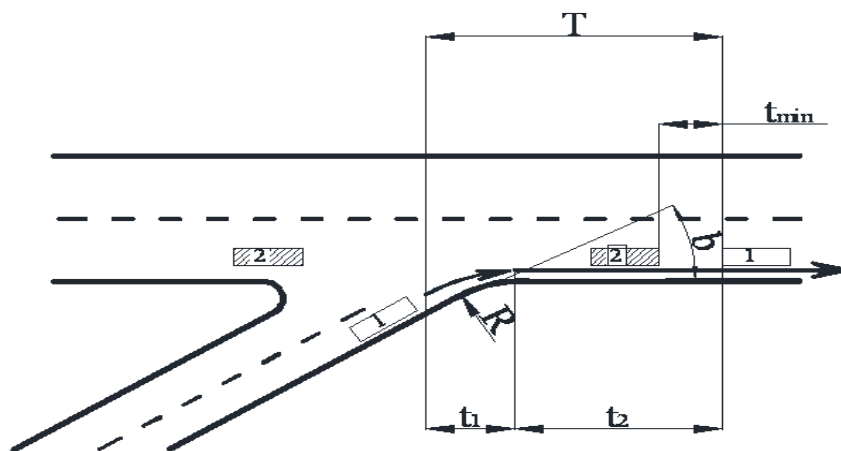
де l_i – довжина i -тої ділянки напрямку автомобільної дороги, км;

v_i – швидкість руху транспорту на i -тій ділянці напрямку автомобільної дороги, км/год.

2 Визначення затримок транспорту на з'їздах

Врахування лише часу проїзду дорожньою розв'язкою при визначенні транспортних витрат справедливе лише, коли транспортний потік рухається вільно. Зростання інтенсивності руху значно впливає на час проїзду, особливо при злитті транспортних потоків. На дорожніх розв'язках в різних рівнях, злиття транспортних потоків, в більшості випадків, відбувається при виконанні маневру правого чи лівого повороту. Злиття транспортних потоків можливе при наявності чи відсутності перехідно-швидкісної смуги.

1) Випадок, коли перехідно-швидкісна смуга відсутня.



t_1 – час проїзду кривої (довжини дуги повороту), с; t_2 – час, необхідний для розгону від швидкості на з'їзді до швидкості на головній дорозі, с; $t_{\min}$ – мінімальний безпечний інтервал між автомобілями, с

Рисунок 2 – В'їзд на головну дорогу із з'їзду без перехідно-швидкісної смуги:

При виконанні правого повороту в'їзду на головну дорогу із з'їзду транспортний потік проходить дві відстані:

– відстань, необхідну для здійснення правого повороту по кривій $L_{\text{пов}}$:

$$L_{\text{пов}} = \frac{\pi \cdot R}{180^\circ} \cdot b, \quad (3)$$

де R – радіус з’їзду (при повороті на головну дорогу), м;

b – кут примикання, °;

– відстань, необхідну для здійснення розгону від швидкості на з’їзді ($v_{\text{з’їзду}}$) до середньої швидкості руху на головній дорозі ($v_{\text{гол}}$), при відповідному прискоренні:

$$L_{\text{роз}} = \frac{v_{\text{гол}}^2 - v_{\text{з’їзду}}^2}{2 \cdot a_p}, \quad (4)$$

де $v_{\text{гол}}$ – середня швидкість руху на крайній смузі головної дороги, м/с;

$v_{\text{з’їзду}}$ – швидкість руху на з’їзді, м/с;

a_p – середнє прискорення автомобіля при розгоні, м/с².

Час розгону ($t_{\text{роз}}$) складається з часу проїзду кривої (t_1) при швидкості проїзду кривої $v_{\text{з’їзду}}$ та часу, необхідного для розгону (t_2) від швидкості руху на з’їзді до швидкості руху на основній дорозі. Час розгону запропоновано визначати за формулою:

$$t_{\text{роз}} = t_1 + t_2 = \frac{L_{\text{пов}}}{v_{\text{з’їзду}}} + \frac{v_{\text{гол}} - v_{\text{з’їзду}}}{a_p}. \quad (5)$$

Загальний час, необхідний для виконання маневру:

$$T = t_{\text{роз}} + t_{\text{мін}}, \quad (6)$$

де $t_{\text{мін}}$ – мінімальний безпечний інтервал між автомобілями, с:

$$t_{\text{мін}} = 3,6 \cdot \frac{(1 + l_{\text{авт}}) \cdot e^{\frac{v_{\text{гол}}}{v_0}}}{v_{\text{гол}}}, \quad (7)$$

де v_0 – швидкість, що відповідає пропускній здатності, км/год;

$l_{\text{авт}}$ – середня довжина автомобіля у транспортному потоці, м:

$$l_{\text{авт}} = 4,5 \cdot a + 7,0 \cdot b + 10,5 \cdot c + 12,0 \cdot d, \quad (8)$$

4,5; 7,0; 10,5; 12,0 – середня довжина типу автомобілів, відповідно легкових, вантажних автомобілів, автобусів та автопотягів, м;

a, b, c, d – відсоток відповідно легкових, вантажних автомобілів, автобусів та автопотягів.

e – основа натурального логарифму.

Для визначення часу затримки транспорту при виконанні маневру в'їзду, знаходимо кількість автомобілів, які можуть чекати моменту виконання маневру (використовуючи систему масового обслуговування):

$$p = \frac{T}{t_{\text{заг}}} \cdot N_2 = \frac{T}{\frac{3600}{N_1}} \cdot N_2 = \frac{T \cdot N_1 \cdot N_2}{3600}, \quad (9)$$

де $\frac{T}{t_{\text{заг}}}$ – кількість автомобілів, які можуть чекати моменту виконання маневру в частках одиниці;

N_1 – інтенсивність на крайній смузі головної дороги, авт./год;

N_2 – інтенсивність на з'їзді, авт./год.

T – загальний час виконання маневру;

$t_{\text{заг}} = \frac{3600}{N_1}$ – інтервал на головній дорозі,

Час очікування виконання маневру при в'їзді на основну (другорядну) дорогу із з'їзду без влаштування перехідно-швидкісної смуги визначається за формулою:

$$t_{\text{зап}}^{\text{сер}} = \frac{N_1 \cdot N_2 \cdot t_{\text{заг}}^2}{7200}, \quad (10)$$

де $t_{\text{заг}}$ – значення інтервалу руху, необхідного для виконання маневру, с;

N_1 – інтенсивність руху транспортного потоку на з'їзді, авт./год.;

N_2 – інтенсивність руху транспортного потоку на основній (другорядній) дорозі, авт./год.

Час очікування виконання маневру за рік становитиме:

$$T_{\text{річ}}^{\text{зап}} = t_{\text{зап}}^{\text{сер}} \cdot K \cdot F \cdot N_1. \quad (11)$$

2) Випадок, коли перехідно-швидкісна смуга наявна.

Час очікування виконання маневру при в'їзді на основну (другорядну) дорогу із з'їзду при влаштуванні перехідно-швидкісної смуги визначається часом, необхідним для зміни смуги руху $t_{зм. см.}$.

$t_{зм. см.}$ – час, необхідний для виконання маневру влиття в транспортний потік на основній (другорядній) дорозі, с. Визначається в залежності від середньої довжини автомобіля в транспортному потоці ($l_{авт}$) та швидкості руху (v) за формулою:

$$t_{зм. см.} = (0,0164 \cdot l_{авт} + 0,0069) \cdot v^2 - (0,0112 \cdot l_{авт} + 0,4364) \cdot v + 0,0276 \cdot l_{авт} + 2,1475 \quad (12)$$

де v – швидкість руху при виконанні маневру влиття на основну (другорядну) дорогу, км/год.

Час очікування виконання маневру за рік становитиме:

$$T_{річ}^{загр} = T \cdot K \cdot F \cdot N_1. \quad (13)$$

Час очікування виконання маневру автомобілями при віднесеному розвороті:

$$t_{загр}^{загр} = t_{загр}^{сер} + t_{загр}^{смо} = \frac{N_1 \cdot N_2 \cdot t_{загр}^2}{7200} + \frac{N_1^4}{(N_v \cdot (N_v - N_1))^2} = N_1 \cdot \left(\frac{N_2 \cdot t_{загр}^2}{7200} + \frac{N_1^3}{(N_v \cdot (N_v - N_1))^2} \right). \quad (14)$$

Час очікування виконання маневру автомобілями при перетині потоків.

У випадку, коли транспортні потоки при проїзді дорожньої розв'язки перетинаються, виникає необхідність порівняти існуючий та необхідний безпечний інтервали для виконання даного маневру:

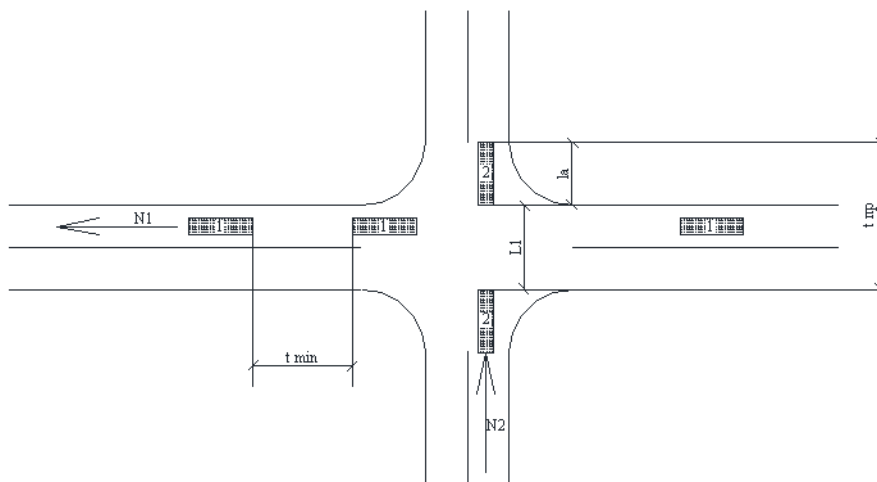


Рисунок 3 – Схема виконання маневру при перетині транспортних потоків

Час, необхідний для здійснення маневру:

$$T^{\text{необ}} = 2 \cdot (t_{\min} + t_{\text{пр}}), \quad (15)$$

де $t_{\text{пр}}$ – час, який необхідний для проїзду $L_{\text{пр}} = l_1 + l_a$, с.

Час очікування визначається як:

$$t_{\text{затр}}^{\text{заг}} = (N_2 - N_2 \cdot \frac{t_{\text{пр}}}{t_{\text{пр}} + t_{\min}^{\text{існ}}}) \cdot \frac{t_{\text{пр}}}{2}, \quad (16)$$

де $t_{\min}^{\text{існ}}$ – існуючий безпечний інтервал між автомобілями на дорозі при наявній інтенсивності руху:

$$t_{\min}^{\text{існ}} = \frac{3600}{N_1}, \quad (17)$$

де N_1 – інтенсивність руху на основній (другорядній) дорозі, авт./год.

Вартість транспортних витрат знаходиться за формулою:

$$P = (T_{\text{річ}} + \sum T_{\text{річ}}^{\text{затр}}) \cdot U_i. \quad (18)$$

Висновок

Цей метод, на основі техніко-економічного обґрунтування, дозволяє правильно вибрати схему дорожньої розв'язки з урахуванням затримок.

Література

1. Апелът Ф. Выбор схемы пересечения / Ф. Апелът, С.А. Давыдов // Автомобильные дороги, 2010. – №8. – С.35–39.
2. Білятинський О.А. Дорожні розв'язки із розгалуженими проїздами / О.А. Білятинський, В.П. Старовойда // Автошляховик України, 2006. – №4. – С.40–41.
3. Державні будівельні норми. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво: ДБН В.2.3 – 4:2007. – [Чинний від 2007-31-10]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – С. 42 – 43.

Рецензенти

А.В. Мішутін, д-р техн. наук, ОДАБА (Одеса)

Ф.П. Гончаренко, канд. техн. наук, ДП “Укрдипродор” (Київ)

Reviewers

A.V.Mishutin, Dr.Tech.Sci., OSACEA (Odesa)

F.P.Honcharenko, Ph.D., “Ukrdiprodor” (Kyiv)

UDC 625.7/.8 : 622.35

Hameliak I.P., D.Eng.Sc. professor of “Airports” faculty, NTU,

Reneiska S.V., director of LLC “Dortek”

APPLICATION OF NATURAL BITUMEN IN HIGHWAY AND AIRFIELD CONSTRUCTION IN UKRAINE

Гамеляк І. П., Ренейська С. В.

ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ БІТУМІВ В ДОРОЖНЬОМУ ТА АЕРОДРОМНОМУ БУДІВНИЦТВІ УКРАЇНИ

Анотація. У статті наводяться результати випробувань та дослідного впровадження природного бітуму при будівництві асфальтобетонного покриття автомобільних доріг та аеродромів.

Метою роботи є встановлення ефективності використання природного бітуму в дорожньому та аеродромному будівництві України.

Об’єкт дослідження – природний бітум, який має природне походження і добувається в Албанії. Це екологічно чистий продукт, котрий є економічним та ефективним, що підтверджується численними лабораторними та практичними дослідженнями виконаними в Україні різними установами.

За результатами досліджень розроблено “Рекомендації по дослідному впровадженню добавки природного бітуму Selenizza SLN 120 для покращення властивостей асфальтобетонного покриття”, “Тимчасовий технологічний регламент на виробництво дослідної партії сумішей гарячих асфальтобетонних з добавкою природного асфальту Selenizza SLN 120” та “Технологічна карта на влаштування дослідних ділянок автомобільних доріг з асфальтобетонними шарами із гарячої асфальтобетонної суміші типу А і Б та гарячої щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші з добавкою природного асфальту Selenizza SLN 120”.

Ключові слова: природний бітум, гільсоніт, класифікація природних бітумів, технічні характеристики, груповий склад бітуму.

Аннотация. В статье приводятся результаты испытаний и опытного внедрения природного битума при строительстве асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог и аэродромов.

Целью работы является установление эффективности использования природного битума в дорожном и аэродромном строительстве Украины

Объект исследования - естественный битум, который имеет природное происхождение и добывается в Албании. Это экологически чистый продукт, который является экономическим и эффективным, что подтверждается многочисленными лабораторными и практическими исследованиями выполненными в Украине различными учреждениями.

По результатам исследований разработаны "Рекомендации по опытному внедрению добавки природного битума Selenizza SLN 120 для улучшения свойств асфальтобетонного покрытия", "Временное технологический регламент на производство опытной партии смесей горячих асфальтобетонных с добавкой природного асфальта Selenizza SLN 120" и "Технологическая карта на устройство опытных участков автомобильных дорог с асфальтобетонными слоями с горячей асфальтобетонной смеси типа А и Б и горячей щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси с добавкой природного асфальта Selenizza SLN 120".

Ключевые слова: природные битумы, гильсонит, классификация природных битумов, технические характеристики, групповой состав битума.

Annotation. The article provides the results of tests and pilot implementation of natural bitumen in the construction of asphalt covering of roads and airfields.

The purpose of the study is defining the natural bitumen utilization efficiency in highway and airfield construction in Ukraine.

Object of study - Selenizza SLN-120 – natural bitumen, of naturally occurring and is produced in Albania. This is an ecologically pure and cost efficient product, which is confirmed by numerous laboratory and field trials, carried out in Ukraine by various establishments.

Following the results of the research elaborated were “Recommendations for trial introduction of the natural bitumen Selenizza SLN 120 additive for improvement of asphalt concrete pavement properties”, “Temporary process procedure for production of a trial batch of hot asphalt concrete mixes with the natural bitumen additive Selenizza SLN 120” and “Method statement for construction of highway trial

sections with asphalt concrete layers of asphalt concrete mix type A and B and hot stone mastic asphalt concrete mix with natural asphalt additive Selenizza SLN 120”.

Keywords: natural bitumen, hilsonit, classification natural bitumen, specifications, the group structure bitumen.

Introduction

In the recent decades the climatic conditions for asphalt concrete pavements maintenance have been changing in Ukraine. In summer season, even in the northern regions, pavement temperature can reach +60 °C. Along with the increase of axle load up to 12 -15 t/axle, the increase of tyre pressure up to 0,9 ... 1,1 MPa and the increase of environmental temperature, this leads to acceleration of highways deterioration, particularly rutting. Added to this is the fact of degradation of oil refinery plants producing blown asphalt, being in need for development and reinstatement. This results in an increased quantity of imported road bitumen. In recent times natural bitumen has become frequently used as a part of highway technologies, being an additive to asphalt concrete mixes and bitumens, enabling improvement of road pavement transport operating parameters.

Challenge problem

From the mid 90s of the XX century, in Spain and France were developed road pavements with an increased modulus, for the purpose of improvement of mechanical properties, reduction of thickness, reduction of rutting extent, avoiding cracking in base course treated with hydraulic binder. Asphalt concrete is produced for pavement of hard bitumen (depth of needle penetration 12 – 15 dmm, softening point 70 °C), bitumen consumption - 5,5%, grading with high content of aggregate and containing fine grained particles of mineral filler from 6 to 9%. Asphalt concrete elasticity modulus value is between 12 000 and 20 000 MPa, whereas the temperature is 15 °C and deformation frequency is 10 Hz, which is close to the range of cement treated sand aggregate mix. Despite an enhanced value of the elasticity modulus the fatigue strength is maintained at the level of traditional dense asphalt concrete mixes. They are produced, paved and compacted using standard equipment, but the temperature during compaction should not fall below 140 °C. Since 1992, pilot sections were established on the national road, and up to date they have behaved satisfactorily/ But data from many years is required for final conclusion.

In France the asphalt concrete with enhanced modulus has the elasticity modulus higher than 9000 MPa for wearing courses and higher than 12 000 MPa for other layers. There are mixes designed for strengthening intermediate courses. Grading - fr. 0-14 or fr. 0-10 discontinuous or continuous, with hard binder. Due to increasing of traffic density and axle load, the control over pothole and rutting occurrence has become the main priority, and the mixes are designed to ensure enhanced deformation resistance (less than 5 mm, and the temperature 60 °C). Recommended elasticity moduli (Sweden) are 2,4 times higher, than the moduli of standard bituminous mineral materials used in base courses, applied in the areas withstanding high loads.

Like on “Big Rock” highway, which is very popular in the USA, the same concepts are followed in the course of mix designs development, as in the case of SMA, that implies using a higher content of coarse aggregate, moderate proportion of dusty materials and an enlarged quantity of binder. Maximum size of particles is usually 32 or 64 mm, with fibres and polymers used as additives. Mixes containing aggregate higher than 35 mm should be prepared in specialized mixers, and the layer thickness should be 2 – 3 times higher than the maximum particle size.

Such mixes have been used in the recent years (Italy) for completion of road reconstruction, when the traffic was ceased only during in night time.

For mixtures used bitumen with the addition of polymer modifiers, and in recent years the use of natural bitumen.

Nowadays there are only four main active deposits of natural bitumen in the world: in Trinidad, USA (Utah), Iran and Albania.

From 1712 [1], when rich deposits of natural bitumen were found, it started to be used widely.

Stocks in USA, Canada, Venezuela, Kazakhstan and Tatarstan can provide $3 \cdot 10^{11} \text{ m}^3$ of organics, which is 3 times more than the world oil supplies [2].

The purpose of the study is defining the natural bitumen utilization efficiency in highway and airfield construction in Ukraine.

Main part

Natural bitumen classification

Natural bitumen is a residuary product of the slow evaporation process of light and medium fractions of oil outflow, its natural asphaltization and interaction of oil components with oxygen and sulphur.

Natural bitumen – organic substance, as a form of residuary product, formed in the process of natural oil asphaltization (evaporation of light and medium fractions) and interaction of oil components with oxygen and/or sulphur [1-4].

Natural bitumen types split into liquid, viscous and hard bitumen. Liquid natural bitumen – maltha is a viscous fluid, completely soluble in organic solvents.

Kir – is a variety of bituminous stock – soft formation, mainly represented by fine and sandy silt, saturated with natural bitumen sorts of various viscosities.

Deposits of natural bitumen differ from each other by origin, chemical and physical properties of formations [4-7].

Viscous natural bitumen types, usually containing mineral impurities, called natural asphalts. They contain 25-40 % of oils and 60-75 % of asphalt pitch. Viscous natural bitumen types can significantly vary by content of asphaltenes – from 10-16 % to 46-60 %. Asphalts with low content of asphaltenes and accordingly high content of resins and oils are approaching maltha, in terms of their properties.

Hard natural bitumen is called asphaltite. It contains less than 25 % of oils or more than 75 % of asphalt pitch. Asphaltites split into gregemit and gilsonite. Compared to gregemit gilsonite contains less asphaltenes, but are richer in resins. Gilsonite is used both in pure form, and with mineral admixtures (cindery asphaltite).

The most famous deposits of natural bitumen are situated in the Near East, Albania, USA, Canada, Trinidad and Tobago, Tatarstan, Kazakhstan [2 - 5].

In the countries of Western Europe and North America the natural bitumen varieties are used as additives to artificial road bitumen sorts, improving their properties.

Adding natural bitumen into a binder enhances pavement resistance to deformation, shoving in high summer temperature conditions, occurrence of low-temperature and fatigue cracks, which significantly extends the road operating lifespan. Natural bitumen has an advantage on other bitumen additives through its stability, usability and cost efficiency.

The field of application of natural bitumen is construction of upper layers of asphalt concrete, producing poured asphalt, wearing and high-strength base courses.

The most commonly encountered natural bitumen types are:

Trinidad asphalt – is produced on the lake of Trinidad and Tobago island;

Natural bitumen from Utah deposits in USA.

Gilsonite – a variety of hard bitumen produced on deposits near Kermanshah town (Iran).

Table 1 – Classification of natural bitumen

	Classification criterion	Subgroup
Types of bitumen	Content of oils	A) Oil > 65 %; B) Maltha 40... 65 %; B) Asphalts 25... 40 %; Γ) Asphaltite < 25 %.
Groups of natural bitumen	Consistency	1. Liquid (softening point lower than 35 °C); 2. Viscous (softening point between 35 and 90 °C); 3. Hard (softening point higher than 90 °C).
Varieties – Natural bitumen sorts and bituminous formations	Geological mode of occurrence	1) surface: “asphalt lakes”, kir flows, bituminous sands. 2) vein; 3) embedded: bituminous lime rock, dolomitic rock and sand rock (“bituminous formations”).
Bituminous formations	Structure and grading	1. Massive – dolomite: a) lime rock; 6) dolomitic rock; 2. detrital sedimentary: a) soft formation – sand, silt, clay loam; 6) cemented formation – sand rock; b) kir.

Selenizza (Selenizza SLN-120) – natural bitumen, is produced in Albania. This is an ecologically pure and cost efficient product, which is confirmed by numerous laboratory and field trials, carried out in Ukraine by various establishments.

According to Albanian legislation, the company (100% affiliated company of the French KLP group, working in mining industry and highway construction sector) is the first investor in Albania.

Commencement of activity beginning in 2000 - 2001.

Natural additive in Selenizza (Vlora – South Albania).

Product: Bitumen – natural bituminous composition (table 2).

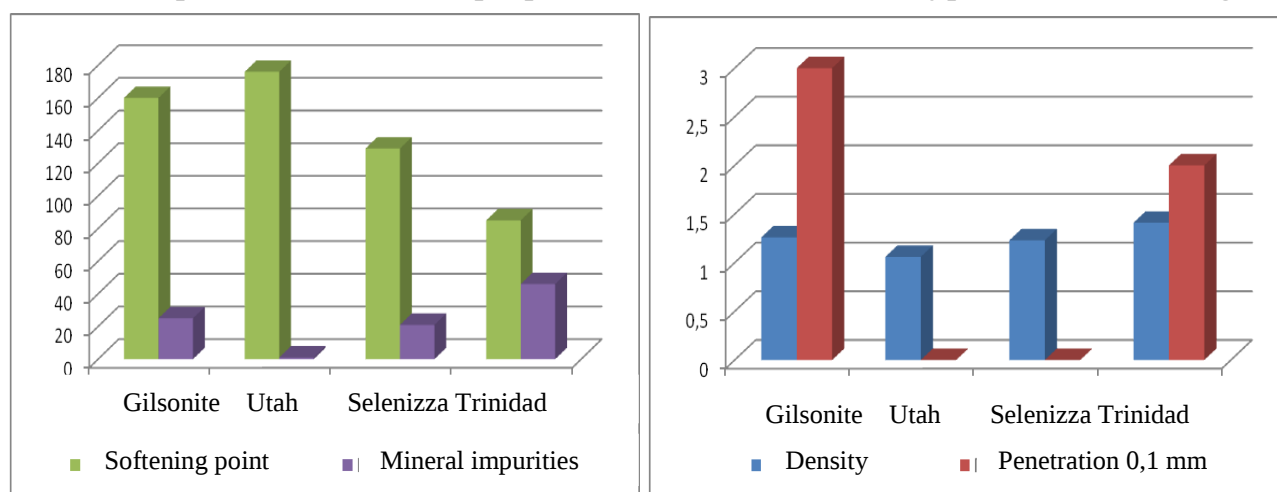
Stock size is quantified as 6 million tons.

Production capacity are 4 – 6 thousand year.

Table 2 – Properties of natural bitumen Selenizza SLN-120

Measures	Norms	Value
Penetration 0,1 mm (100 g, 5c, 25 °C)	EN 1426	0
Softening point, °C ring-and-ball test	EN 1427	115...120
Index of Penetration, IP	-	> 3,0
Saponification number, mg KOH/ g	NFT 66 013	3,50
Asphaltene content, %		42,0... 50,0
Solvation in carbon disulphide		85 - 95%
Loss at + 163 ° C, in 5 hours		0,08
Density at 25 °C, not less than g/cm ³	NFT 66 004	1,16

Comparison of the main properties of natural bitumen types is shown on fig. 1.

**Figure 1** - Comparison of properties of natural bitumen types

Natural bitumen additive Selenizza SLN-120 – black colour powder, with the maximum particle diameter 6 mm, packed in 500 kg packages, or 12 kg hexagonal blocks.

On request of LLC DorteK, in the laboratory of Lviv Polytechnic University “Oil” Faculty, was established the technical characteristics and structural group analysis of artificial (table 2 - 3), natural (table 3) and modified bitumen (table 3).

The technical parameters of the examined original bitumen fully comply with the requirements of DSTU 4044-2001 to bitumen BND 60/90, and the main characteristics meet the requirements of EN 12951 to bitumen 70/100.

Upon the main characteristics the modified bitumen can be attributable to BMP 60/90-52 according to DSTU B V.2.7-135:2007.

Structural-group composition of the bitumen and the modified bitumen is close to colloidal structure type “sol-gel”, which is considered to be optimal for commercial bitumen.

Table 3 – Technical characteristics of original bitumen

Parameters	Actual value 70/100	Rate according to DSTU 4044-2001 for bitumen BND 60/90	Rate according to EN 12951 for bitumen 70/100
1 Depth of needle penetration (penetration) at the temperature 25 °C, $m \cdot 10^{-4}$ (0,1 mm)	90	From 61 to 90	From 70 to 100
2 Softening point, by ring-and-ball test, °C	48	From 47 to 53	From 43 to 51
3 Ductility, $m \cdot 10^{-2}$ (cm), 3.1 At 0 °C 3.2 At 25 °C	6 140	≥ 3 ≥ 55	- -
4 Properties variation after heating:			
4.1 Mass variation after heating, %	0,4	$\leq 0,8$	$\leq 0,8$
4.2 Residual penetration, %	68	≥ 60	≥ 46
4.3 Softening point variation, °C	3	$\leq 6,0$	≤ 9
5 Brittleness point, °C	-22	≤ -12	≤ -10
6 Flash point in an open cup, °C	280	≥ 230	≥ 230
7 Adhesion with glass surface	88	Not rated	-
8 Waxes mass content, %	0	Not rated	-
9 Solvency in organic solvent, %	99,4	$\geq 99,00$	$\geq 99,0$
10 Penetration index	-1,0	From -2,0 to +1,0	From -1,5 to +0,7

Table 4 – Bitumen structural group analysis

N o.	Component	Seleni zza SLN- 120	Bitumen 70/100 Mozyr	Bitumen 70/100 + 10 % Selenizza SLN-120	Optimal content % according to Kolbanovska A.K.		
					Type 1	Type 2	Type 3
		Component content, %					
1.	Carbenes, carboides and mechanical impurities		0	1,87	-	-	-
2.	Asphaltenes	42- 59,9	24,45	25,93	>25	<18	21-23
3.	Oils	16,5	46,26	37,58	>50	<48	46-50
4.	Resins	22,3	29,29	34,62	<24	>36	29-34
5.	A/(C+O)		0,32	0,36	>0,35	<0,2	0,25-0,3
6.	A/(A+O)		0,35	0,41	>0,5	<0,3	0,39- 0,44

Table 5 – technical characteristics of modified bitumen

Parameter	Actual value 70/100 + 10% PR	Rate according to DSTU 4044-2001 for bitumen BND 60/90	Rates for BMP 60/90-52 according to DSTU B V.2.7-135:2007
1 Depth of needle penetration (penetration) at the temperature 25 °C, $m \cdot 10^{-4}$ (0,1 mm)	60	From 61 to 90	From 61 to 90
2 Softening point, by ring-and-ball test, °C	55	From 47 to 53	≥ 55
3 Ductility, $m \cdot 10^{-2}$ (cm), 3.2 At 25 °C	43	≥ 55	- ≥ 25
7 Adhesion with glass surface	100	Not rated	≥ 75
8 Waxes mass content, %	0	Not rated	-

After modification approximately 2% of carbenes, carboides and mechanical impurities appear in the mix, affects negatively the performance characteristics of BMP, though not rated by current standards.

A possible reason of deterioration of pavements produced on the basis of the examined bitumen are:

- low cohesion strength (recommended for identification);
- nonconformity of mineral material;
- failure to comply with requirements for placing road pavement (overheating of binder; possible identification of bitumen parameters, extracted from road pavement sample).

Application of natural bitumen Selenizza SLN-120 in asphalt concrete mixes enables qualitative improvement of physical and mechanical properties of road pavement – its strength, frost resistance, shoving resistance, rutting resistance and increases its lifespan.

Besides, the following factors get improved:

1. Environmental and health impact.

This material does not emit harmful fumes in the process of production, during production, transportation, placing and operation, which is particularly important for environment and health of workers as well as pedestrians and drivers. Such behaviour

of bitumen Selenizza SLN120 is contingent upon its ability to bind polycyclic aromatic hydrocarbons in the base bitumen, reducing activity of cancer-producing substance.

2. Reliability and capability.

Elasticity modulus of an asphalt concrete mix layer containing natural bitumen Selenizza SLN120 gets significantly increased, and reaches 19 000 MPa, in accordance with European Norms. Rutting occurrence probability is reduced, while the pavement lifespan is increased.

3. Produce ability.

Application of Selenizza SLN120 results in a little change, to the technology of production and placing of asphalt concrete mix. Along with the possibility to feed Selenizza directly into the Asphalt Plant mixer, it also enables modification of bitumen in asphalt plant heaters much simpler, faster and cheaper, than using modifiers of synthetic (chemical) origin.

Compaction of asphalt concrete is carried out immediately behind the asphalt paver. Quality of compaction is enhanced.

4. Statutory framework.

Selenizza SLN120 was awarded a «TECHNICAL CERTIFICATE of conformity of building products». The natural bitumen Selenizza SLN120 was verified as a modifying additive to asphalt concrete and stone mastic mixes (by the Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine) on 14.02.2013.

The natural bitumen Selenizza SLN120 is compatible with all types of bitumen and it is brought under regulation of European standards EN 13108-1 i -4 “Bituminous mixtures - Material specifications” – Part 1 “Hot asphalt” and Part 4 “Asphalt concrete”.

Technology for modification of asphalt concrete mixes using natural bitumen

Preparation of asphalt concrete mixes with bitumen, modified natural bitumen, is carried out on asphalt plants similarly to preparation of hot asphalt concrete mixes [3].

Modification of asphalt concrete mixes using natural bitumen, by adding natural bitumen directly into an asphalt mixing plant, is carried out on asphalt plants, which should be additionally equipped with systems for proportioning and feeding

natural bitumen.

Content of natural bitumen in an asphalt concrete mix is 0,25 – 2,0 % of a mineral material mass (or 5 - 30 % of bitumen mass). In case of natural bitumen application it is necessary to specify the optimal content of bitumen in a mix (saving of construction bitumen can reach 20 %).

The necessary content of natural bitumen is identified taking into account recommendations of its maker, through a mix design development based on results of laboratory testing of asphalt samples, with various content of natural bitumen. In the course of natural bitumen content adjustment one should take into account its mineral constituent.

The process of preparation of asphalt concrete mix, modified with natural bitumen, consists of the following technological operations:

- heating, proportioning, feeding into a mixer and mixing of aggregate, sand and mineral filler for 30 ... 60 seconds (depending on a type of mixing plant);
- proportioning, feeding of natural bitumen into a mixer and mixing it with mineral material for 10 ... 20 seconds;
- proportioning, feeding of heated bitumen into a mixer and mixing it for 10 ... 20 seconds;
- discharging of modified asphalt concrete mix from an asphalt mixer into a storage-bunker or a truck body.

The heating temperatures for aggregate, sand and bitumen, as well as the temperature for compaction of asphalt mix modified with natural bitumen, must comply with the requirements of table 12 and 13 of DSTU B V.2.7-119-2003, according to a bitumen grade.

Using of natural bitumen Selenizza SLN120 does not complicate the use of AVK software package, since it does not change the technology of road pavement construction, and includes the price of asphalt concrete mix as material price.

Construction bitumen, modified using natural bitumen, are characterized by enhanced cohesion strength, increased heat resistance (softening point increases by 5-15 °C), and extended lifespan.

During 2011 more than ten facilities were built using natural bitumen (see the list of facilities). The facilities are monitored on an annual basis. All the sections are in good or excellent condition. No defects or deteriorations have been recorded.

List of facilities constructed using the natural bitumen Selenizza SLN-120

List	Type of mix	Works completed
1. Mykolaiv, Zhovtneva bypass	Type B M1	06.08.2011
2. Mykolaiv, bypass	SMA 15	07.11.2011
3. Mykolaiv, Ingulskyi bridge	SMA 20	25.09.2011
4. Kyiv-Kovel highway km 308 – 314	SMA 20	07.11.2011
5. Kyiv, Artema str.	Type B 20	08.11.2011
6. Kyiv, Odeska square	Type B M1	21.09.2011
7. Odesa – Mykolaiv - Kherson highway	Type B M1	24.11.2011
8. Kyiv - Kovel highway, km 30+490 - 33+50	SMA -20	10.10.2013
9. Access to E 583(M21) road Zhytomyr – Mygylov - Podilskyi on P 18 Zhytomyr bypass	Type B -20	16.07.2014
10. Utility company “International airport “Kyiv (Zhuliany)”	Type B -10	2012-2014
	Type B -20	20.08.2015
11. Chernivtsi	Type B -10	25.10.2015
12. Khmelnytskyi	Type B -10	15.11.2015

Examples of asphalt concrete pavements with natural bitumen additive are shown on figure 2- 3.



Figure 2 – Pavement condition on road Kiev – Kovel (km 33+100 , Vorzel)



Figure 3 – General look, approach to the roundabout, Borodyanka

Comparison of properties of various types of bitumen modifiers is shown in table 6.

Table 6 - Comparison of properties of various types of bitumen modifiers

	Properties	Bitumen	Polymer additives	Natural bitumen (Selenizza)
1	2	3	4	5
1. Reliability:	Maintainability.	+	-	+
	Durability (cyclic impacts of transport loads).	-	+	+
	Crack resistance	-	+/-	+
	Ageing resistance	-	-	+
	Increase of original bitumen strength without any changes to elasticity properties of binder..	-	-	+
2. Produce ability	Feeding the additive directly into a mixer.		-	+
	No need to modify bitumen for a long period of time.		-	+
	Compacting immediately behind an asphalt paver, using heavy rollers.	-	+/-	+
	Opening to traffic immediately after compaction.	-	+	+
	Necessity to clean truck bodies and rollers.	+	+	-
	Limited time for storing of modified bitumen.		+	-

Continued Table 6

1	2	3	4	5	
	Does not affect productivity and time of asphalt concrete mix preparation	+	-	+	
3. Performance characteristics	Smoothness	-	-	+	
	Rutting resistance	-	+	+	
	Shoving resistance (buckling, heaving, corrugation)	-	+	+	
4. Cost efficiency:	Cost saving (price) on producing (UAH)	1392	1803	2108	1584
	Saving on asphalt concrete thickness, upon compliance with strength criteria.	-	n/a	+	
	Significant increase of durability upon remaining thickness of road pavement layers.	-	+/-	+	
5. Environmental and health impact:	Composition.	Technical	Synthetic	Natural	
	Binding of fugitive cancer-producing substances, and affecting their activity.	-	-	+	
	No specific smell in the course of production, no symptoms of respiratory irritation, less complaints concerning headache.	-	-	+	
	Allergic and cancer-producing constituents.	+	++	-+	
	At further recycling – hot recycling, also no smell, evaporation of chemical elements etc.	-	-	+	

Conclusions

Natural bitumen Selenizza is a new material, which knows no equals as a natural modifier of bitumen. There has been a technology elaborated for modification or improvement of organic binder properties. Natural bitumen additive does not complicate the existing production process.

Better compaction is observed, due to enhanced viscosity, which allows constructing road pavements faster and with higher quality, which significantly

enhances strength, frost resistance, shoving resistance and rutting resistance of road pavement.

Selenizza (green bitumen) is environmentally safe – it does not emit harmful fumes itself and binds them in a base bitumen.

There has been an estimate carried out identifying cost efficiency of natural bitumen application (lower cost of bitumen modified by polymers and of asphalt concrete pavement), and an increase of pavement durability.

Following the results of the research elaborated were “Recommendations for trial introduction of the natural bitumen Selenizza SLN 120 additive for improvement of asphalt concrete pavement properties”, “Temporary process procedure for production of a trial batch of hot asphalt concrete mixes with the natural bitumen additive Selenizza SLN 120” and “Method statement for construction of highway trial sections with asphalt concrete layers of asphalt concrete mix type A and B and hot stone mastic asphalt concrete mix with natural asphalt additive Selenizza SLN 120”.

List of references

1. Kreutcer G. D. Asphalt, bitumen and black pitch. M.: Stroyizdat, 1952. – 272 p.
2. Bocharov V.S. Bituminous formations in highway construction: technology and mechanization. – M.: Transport, 1987. – 190 p.
3. SOU 42.1-37641918-114:2014 Construction materials. Asphalt concrete mixes and asphalt concrete modified with natural bitumen. Technical specifications.
4. Rudenskaya I. M., Rudenskiy A. V. Organic binders in highway construction. M.: Transport, 1984. - 400 p.
5. Grushko I.M., Korolev I. V., Borsh I.M., Mishenko G.M. Highway construction materials. – M.: Transport, 1991. – 357 p.
6. Gun R.B. Oil bitumens. M.: Chemistry, 1973. - 432 p.
7. Rudenskiy A.V. Highway asphalt concrete pavements M.: Transport, 1992. – 255 p.

Рецензенти

В.І. Братчун, д-р техн. наук, ДонНАБА (Краматорськ)

Ю.О. Кірічек, д-р техн. наук, ПДАБА (Дніпропетровськ)

Reviewers

V.I. Bratchun, Dr.Tech.Sci., DonNACEA (Kramatorsk)

Yu.O. Kirichuk, Dr.Tech.Sci., PSACEA (Dnipropetrovsk)

Дорошенко Ю.М., канд. техн. наук, проф.

Дорошенко О.Ю., канд. техн. наук, доц.

СПОСІБ УСТАНОВКИ І РЕМОНТУ БЕТОННИХ ОПОРНИХ ПЛИТ ОГЛЯДОВИХ ЛЮКІВ

Анотація. В статті запропонований спосіб установки і ремонту бетонних опорних плит оглядових люків, який значно підвищує якість і довговічність відремонтованих бетонних плит і дозволяє суттєво скоротити час витримування бетону до початку експлуатації відремонтованих об'єктів на дорозі, за рахунок значного скорочення часу монтажу опалубки і швидкого набору міцності бетону.

Ключові слова: плити оглядових люків, швидко тверднучи в'язучи, міцності бетону.

Аннотация. В статье предложен способ установки и ремонта бетонных опорных плит смотровых люков, который значительно повышает качество и долговечность отремонтированных бетонных плит и позволяет существенно сократить время выдержки бетона до начала эксплуатации отремонтированных объектов на дороге, за счет значительного сокращения времени монтажа опалубки и быстрого набора прочности бетона.

Ключевые слова: плиты смотровых люков, быстро затвердевая вяжущие, прочности бетона.

Annotation. The method of setting and repair of concrete bedplates of access doors is offered in the article, that considerably improves quality and longevity of the repaired concrete flags and allows substantially to shorten time of self-control of concrete to beginning of exploitation of the repaired objects on the road, due to considerable reduction of time of editing of planking and rapid set of durability of concrete.

Keywords: flags of access doors, quickly hardening astringent, to durability of concrete.

Вступ

Відома значна кількість способів ремонту бетонних плит оглядових люків, в яких в якості опалубки пропонують використовувати місцеві, підручні матеріали (метал, деревина та інші), які не можуть забезпечити герметичність

ремонтної карти, в зв'язку з чим, через щілини і тріщини може виливатися бетону суміш. Монтаж такої опалубки дуже працездатний і не забезпечує зберігання бетонної суміші в ремонтній карті. Якщо застосовувати жорстку (малорухоому) суміш – не можна досягнути монолітності зчеплення бетонної плити і люку, що надалі, в період експлуатації, буде приводити до інтенсивного руйнування опорної бетонної плити. Якщо застосовувати пластичну суміш, важко отримати високу міцність, так як пластична суміш має високий вміст води, що приводить до високої пористості бетону, зниження його технічних властивостей. Крім того пластична суміш довго твердіє, і для того, щоб набрати задану міцність (10 – 15 МПа) треба чекати 7 – 10 діб, що в умовах міських вулиць утворює труднощі в забезпеченні безпеки руху.

Основна частина

Було поставлено завдання знайти такий спосіб установки і ремонту бетонних опорних плит оглядових люків, при якому було б можливо:

- швидко і якісно, з малою працездатністю зробити опалубочні роботи;
- забезпечити герметичність ремонтної карти з повною відсутністю щілин, пор, тріщин, через які бетонна суміш може просочуватися в колодязь і тим самим впливати на якість і довговічність роботи люку, і безпеки руху по вулиці;
- забезпечити монолітність і добре зчеплення опорної бетонної плити з металевим оглядовим люком;
- скоротити час набору заданої міцності бетону, що дозволить швидко відновити рух по вулиці.

Бетон повинен мати: високу довговічність і міцність на розтяг при згині і при ударі, враховуючи умови роботи; високе зчеплення із старим бетоном і металом; підвищену морозостійкість і водонепроникність, тобто відповідати всім вимогам, які пред'являються до дорожніх цементних бетонів.

Поставлена задача досягається тим, що пропонується спосіб установки і ремонту бетонних опорних плит оглядових люків, який включає підготовку ремонтної картки, виготовлення і монтаж опалубки, обробку стін і підлоги ремонтної картки, бетонування, яке відрізняється тим, що в якості опалубки в горловині люку в здутому стані розмішують гумову опалубку (автомобільну камеру шин), яку потім накачують повітрям і тим самим, за рахунок збільшення об'єму, забезпечують її міцне утримання в горловині люку і щільне заповнення всіх отворів і щілин, що в подальшому, під час бетонування, не дасть можливість пластичній бетонній суміші витекти з ремонтної картки і дозволить швидко і якісно провести бетонування опорної плити.

Бетонування проводять бетонною сумішшю на в'язучому, що складається з портландцементу і комплексної хімічної добавки наступного складу - прискорювачів твердіння (хлорид кальцію CaCl_2 та аміачна селітра NH_4NO_3) і полімеру (полівінілацетатна емульсія 50% концентрації ПВАЕ) при співвідношенні компонентів, мас. %:

Портландцемент	98,4...97,4
CaCl_2	0,6...1,0
NH_4NO_3	0,6...1,0
ПВАЕ	0,4...0,6

Разом з полімерною добавкою можливо застосування пластифікаторів, суперпластифікаторів і гідрофобних добавок.

Комплексну хімічну добавку вводять в бетонну суміш у вигляді водних розчинів разом з водою зачинення.

Дрібнозернистий цементний бетон для ремонту опорної плити оглядового люку повинен: швидко набирати міцність в ранні строки для того, щоб максимально скоротити час ремонту для забезпечення нормального руху транспорту; мати підвищену якість і довговічність з урахуванням умов експлуатації; високу міцність на стиск, на розтяг при згині, удар, зчеплення із старим бетоном і металом.

Після перевірки якості і точності установки оглядового люку і обробки поверхні ремонтної карти водоцементно-полімерною емульсією починають бетонування.

Бетонну суміш готують після повної підготовки ремонтної карти безпосередньо на місці проведення ремонтних робіт у малогабаритних пересувних розчинно- або бетонозмішувачах. Спочатку у змішувач засипають цемент і пісок у співвідношенні 1:2.

Марка цементу повинна бути не менш М500. Суміш піску і цементу ретельно перемішують до однорідного стану, а потім додають щебінь фракції до 5 мм і її знову перемішують.

Водоцементне співвідношення повинно бути в межах 0,40...0,5, щоб суміш була достатньо пластична для якісного заповнення зруйнованих місць і щілин ремонтної картки.

Всю воду зачинення розподіляють на дві рівні частини. В першу частину додають добавку прискорювача твердіння (солі $\text{CaCl}_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3$) і перемішують до повного розчинення при температурі води не менше $t=20^\circ\text{C}$.

В другу частину води виливають полімерну емульсію (ПВАЕ 50% концентрації) і ретельно перемішують.

Потім в суху суміш портландцементу, піску і щебеню додають першу частину водного розчину прискорювача тверднення і перемішують до

рівномірного розподілу розчину прискорювача. Далі в суміш додають водний розчин ПВАЕ і знову перемішують.

Швидкий набір міцності бетонної суміші на запропонованому в'язучому з комплексною хімічною добавкою дозволить майже в три рази скоротити час витримування бетону в опалубці (5...8 годин замість 24 годин на звичайному портландцементі). Після 5...8 годин твердіння бетонної суміші гумову камеру здувають, витягують у здутому стані через люк і починають її монтаж в іншій підготовленій для ремонту картки.

Після набору бетоном міцності на стиск 12...15 МПа (за запропонованим способом це досягається вже через 2 доби витримування бетону, тоді як на звичайному цементі – 7...8 діб в залежності від умов твердіння) в подальшому на нього можна укласти та ущільнювати шар дорожнього покриття навколо оглядового люку за звичайною технологією. При цьому можливі 3 варіанти:

- укладання зверху гарячої асфальтобетонної суміші і її ущільнення;
- укладання зверху бруківки або мозаїчної шашки з природного каменю;
- укладання зверху дорожнього клінкеру (спеціально виготовлена керамічна дорожня цегла).

Приклад виготовлення дрібнозернистого цементобетону марки -200 і класу - В15 складу Ц:П:Щ=1:2:4 з водоцементним співвідношенням – В/Ц=0,45.

Витрати складових матеріалів на 1м³ бетонної суміші в кг:

- портландцемент Здолбунівського ЦШЗ М500 – 330 кг;
- пісок річний дніпровський – 660 кг;
- щебінь Малінського кар'єру (фракції 5 мм) – 1320 кг;
- вода – 150 л.

Пластичність бетонної суміші (ОК) – 4...6 см.

Витрати запропонованої добавки – прискорювача твердіння були прийняті в кількості: 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2% від маси цементу в розрахунку на безводну сіль.

В результаті експериментів встановлено, що для досягнення заданої пластичності бетонної суміші (ОК=4...6 см) з комплексною хімічною добавкою необхідно зменшити кількість води на 10%, що пояснюється деякою пластифікуючою дією комплексної добавки в перші 50...60 хвилин. Добавка прискорювача твердіння $\text{CaCl}_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3$ на протязі перших 30 хвилин має також пластифікуючу дію.

Склад запропонованого швидкотверднучого в'язучого наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Склад швидкотверднучого в'язучого

№ складу	Кількість портландце-менту	Кількість CaCl ₂ , мас. %	Кількість NH ₄ NO ₃ , мас. %	Кількість ПВАЕ, мас. %
Еталон				
1	100	-	-	-
Досліджувана комплексна хімічна добавка				
2	98,9	0,4	0,4	0,03
3	98,4	0,6	0,6	0,05
4	97,4	0,8	0,8	0,10
5	97,4	1,0	1,0	0,15
6	96,9	1,2	1,2	0,18
Прототип за авторським свідоцтвом № 340634				
7	96,2	1,9	1,9	-

Паралельно виготовляють зразки без добавок (еталон) і з добавкою – прототипом за а.с. № 340634, в кількості 1,8...2,0 CaCl₂+1,8...2,0 NH₄NO₃ в процентах від маси цементу.

Зразки досліджувалися на міцність при стиску, на розтяг при згині, при ударі, при зчепленні зі старим бетоном і металом. Також визначалися: водопоглинання, капілярне підсмоктування, водонепроникливість, морозостійкість, корозійна стійкість, усадка, тобто майже всі властивості що впливають на довговічність дорожнього цементобетону. Результати досліджень наведено в таблиці 2.

З даних наведених в таблиці 2 видно, що застосування запропонованого швидкотверднучого в'язучого дозволить підвищити у порівнянні з еталоном: міцність на стиск (через 1 добу на 75%, через 3 доби на 54%, через 7 діб на 37%, через 28 діб на 42%); міцність на розтяг при згині (через 1 добу в 2,25 разів, через 3 доби на 43% , через 7 діб на 38%, через 28 діб на 51%); міцність на удар (в 2,16 раз), міцність на зчеплення (в 1,79 раз), морозостійкість (на 15,5%), корозійну стійкість (на 13%). Значно зменшити водопоглинання (в 1,79 раз) і капілярне підсмоктування (в 2,25 раз).

Висновок

Запропонований спосіб установки і ремонту бетонних опорних плит оглядових люків значно підвищує якість і довговічність відремонтованих бетонних плит і дозволяє суттєво скоротити час витримування бетону до початку експлуатації відремонтованих об'єктів на дорозі, за рахунок значного скорочення часу монтажу опалубки і швидкого набору міцності бетону.

Запропонований спосіб установки і ремонту опорних плит оглядових люків з використанням швидкотверднучого в'язучого і мілкозернистого бетону на його основі знайшов впровадження в будівельних організаціях Київського комунального об'єднання по експлуатації автомобільних шляхів та споруд на них.

Таблиця 2 – Фізико-механічні властивості швидкотверднучого дрібнозернистого цементобетонну

Властивості	№ складу						
	1	2	3	4	5	6	7
Міцність при стиску, МПа через діб:							
1	4,8	7,4	7,8	8,4	8,2	7,3	8,3
3	9,9	12,8	15,0	15,3	14,9	12,9	15,0
7	14,9	16,3	19,2	20,5	19,0	17,2	20,4
14	17,5	20,5	23,1	24,9	23,8	20,4	24,8
28	20,6	24,9	28,3	29,2	28,1	26,4	28,9
Міцність при згині, МПа через діб:							
1	1,2	2,0	2,6	2,7	2,5	2,1	2,0
3	2,3	2,5	3,0	3,3	2,9	2,6	2,5
7	2,6	2,8	3,4	3,6	3,5	3,0	2,8
14	3,0	3,8	4,3	4,6	4,4	3,9	3,8
28	3,9	4,2	5,5	5,9	5,6	4,4	4,9
Міцність при ударі (копер. Педжа) через 28 діб	6	8	11	13	12	9	9
Міцність при зчепленні через 28 діб, МПа:з металом	3,2	5,2	6,0	6,4	6,2	5,9	5,0
зі старим бетоном	3,8	5,9	6,4	6,8	6,5	6,0	5,2
Водопоглинання, % через 28діб	6,8	5,1	3,9	3,8	3,7	4,2	4,4
Капілярне підсмоктування, % через 28 діб	4,5	3,3	2,4	2,0	1,9	3,4	24
Властивості	№ складу						
	1	2	3	4	5	6	7
Водонепроникливість, % через 28 діб, МПа	0,3	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5	0,4
Морозостійкість після 150 циклів відтаювання в розчині NaCl	0,81	0,86	0,94	0,96	0,92	0,87	0,85
Корозійна стійкість через 90 циклів в розчині NaCl (5%)	0,86	0,92	0,96	0,97	0,97	0,93	0,92
Усадка $1 \cdot 10^{-5}$ через 28 діб	18	18,2	18,1	18,1	18,1	18,2	21

Література

1. Технічні правила ремонту і утримання міських вулиць та доріг населених пунктів. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 5 березня 2012 р. за № 365/20678
2. Дорошенко Ю.М., Авторское свидетельство СССР № 3406342 «Бетонная смесь». Бюллетень № 18. 1972.

Рецензенти

В.І. Братчун, д-р техн. наук, ДонНАБА (Краматорськ)
І.В. Кіяшко, канд. техн. наук, ХНАДУ (Харків)

Reviewers

V.I. Bratchun, Dr.Tech.Sci., DonNACEA (Kramatorsk)
I.V. Kiiashko, Ph.D., KhNAHU (Kharkiv)

Дорошенко Ю.М., канд. техн. наук, проф.

Дорошенко О.Ю., канд. техн. наук, доц.

Чистяков В.В., д-р техн. наук, проф.

ВПЛИВ ВІДХОДІВ І ПОПУТНИХ ПРОДУКТІВ ПРОМИСЛОВИХ ВИРОБНИЦТВ НА ВЛАСТИВОСТІ БЕТОНУ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД

Анотація. Запропоновані результати досліджень свідчать про те, що добавка ТСВ і бішофіту поліпшують фізичні властивості бетону (міцність та коефіцієнт морозостійкості зростає, а водопоглинання, капілярне підсмоктування зменшуються), що дає змогу прогнозувати більшу стійкість та довговічність дорожнього бетону.

Ключові слова: міцності бетону, морозостійкість, добавки.

Аннотация. Предложенные результаты исследований свидетельствуют о том, что добавка ТСВ и бишофота улучшают физические свойства бетона (прочность и коэффициент морозостойкости растет, а водопоглощение, капиллярный подсос уменьшаются), что дает возможность прогнозировать высокую стойкость и долговечность дорожного бетона.

Ключевые слова: прочности бетона, морозостойкость, добавки.

Annotation. The method of setting and repair of concrete bedplates of access doors is offered in the article, that considerably improves quality and longevity of the repaired concrete flags and allows substantially to shorten time of self-control of concrete to beginning of exploitation of the repaired objects on the road, due to considerable reduction of time of editing of planking and rapid set of durability of concrete.

Keywords: flags of access doors, quickly hardening astringent, to durability of concrete.

Вступ

Обсяги виробництва доріг і аеродромів з різним типом покриття, в тому числі і на основі мінеральних в'язучих з кожним роком збільшується.

Використання цементного бетону для дорожнього будівництва пов'язано з рядом вимог технологічного та експлуатаційного характеру, таких як:

- забезпечення належної рухомості бетонної суміші;
- забезпечення достатньої міцності бетону в найкоротші строки;

- забезпечення проектної міцності бетону необхідних експлуатаційних показників (довговічності, морозо-зносо-водостійкості).

Забезпечення цих вимог можливо досягти шляхом модифікації бетону за рахунок застосування хімічних добавок під час приготування цементно-бетонної суміші, які впливають на фазовий склад продуктів гідратації в'язучого, а також на макро- та мікроструктуру цементного каменю і бетону на його основі.

У роботі розглядаються питання їх виготовлення, яке можливо за рахунок використання хімічних домішок (пластифікаторів, прискорювачів твердіння, комплексних добавок на їх основі).

Основна частина

У дорожньому будівництві останнім часом використовуються суперпластифікатори із значним пластифікуючим ефектом (С-3, НІЛ-20, Дофен, Мельмент та інші). Ці суперпластифікатори мають значну вартість, дефіцитні, а також не мають достатньої сировинної бази для широкого застосування. Тому стає актуальним питання заміни дорогих дефіцитних добавок деякими відходами або попутними продуктами промислових виробництв, які на даний час майже не утилізуються.

Застосування відходів у дорожньому будівництві може бути доцільним при виконанні таких умов: кількість відходів є достатня для задоволення потреби в них при використанні в технології виробництва цементного бетону; відходи не є потенційно – шкідливими, як під час виробництва цементного бетону так і під час його експлуатації, дальність транспортування відходів на бетонний завод незначна.

Під час мікробіологічної обробки відходу цукрової промисловості (післядріжжевої барди) утворюється новий продукт – відхід (метанова бражка «МБ»). Вона відрізняється зменшеною кількістю гліцерину, кальцію та відсутністю бетаїну молочної та гліколієвої кислот, а також збільшеним вмістом азотних та хлоридних солей.

У Національному транспортному університеті авторами були проведені дослідження по визначенню впливу домішки «МБ» на строки твердіння (тужавлення), водовідділення цементної пасти, рухомість цементно-пісчаної суміші та міцність цементного каменю. Було встановлено, що оптимальна кількість домішки «МБ» становить 0,3% від маси цементу, при цьому значно підвищується рухомість цементно-пісчаної суміші та міцність зразків в порівнянні з контрольними (без домішки). При збільшенні кількості домішки «МБ» підвищується ефект пластифікації але міцність трохи знижується. Для порівняння також випробовувались зразки цементного каменю з відомою

домішкою меласної упареної післядріжжевої барди (УПБ) в комплексі з повітрявтягуючою домішкою смоли (СНВ).

Домішка «МБ» легко розчиняється у воді, не токсична. Ефективність дії домішки «МБ» можливо пояснити зменшенням молекулярної ваги, а також наявністю довгомірних розгалужених ланцюгів, вміщуючи значну кількість гідрофільних груп, які і визначають більш пластифікуючу дію в порівнянні з домішкою «УПБ». Це сприяє гомогенізації розчинної частини бетонної суміші та структурі цементного каменю в бетоні. Застосування домішки «МБ» дозволяє збільшити рухомість суміші на 40%, знизити кількість води зачинення до 12%, підвищити міцність до 40% в порівнянні з контрольними зразками.

Результати досліджень наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Фізико-механічні показники цементного каменю з домішками.

Тип та кількість домішки	Нормаль на густина, %	Кількість води зачине-нням, л	Роз-плив конуса, мм	Строки тужавлен-ня		Водовідді-лення у часі, хв			Міцність при стиску, МПа через діб		
				поча-ток	кі-нець	30	60	90	7	28	60
-	26,25	105	148	375	555	20	20	20	51	65	67
МБ-0,1	25,25	101	177	410	560	15	15	15	71	85	92
МБ-0,3	23,25	93	207	400	620	16	16	16	90	95	99
МБ-0,6	20,25	81	225	373	640	18	18	18	58	72	93
УПБ+СНВ 0,1+0,05	25,25	102	170	420	380	13	13	13	61	75	81
УПБ+СНВ 0,3+0,05	23,25	95	200	440	630	15	15	15	76	79	82
УПБ+СНВ 0,6+0,05	21,25	89	210	460	560	20	20	20	55	68	81

Виробництво домішки «МБ» організовано на деяких спиртових заводах України, а її застосування дозволить підвищити міцність та довговічність бетону, зменшити витрати цементу в дорожньому будівництві, одержати значний ефект, отримати задану морозостійкість (300 циклів заморожування та відтавання) при збільшеному об'ємі втягування повітря ($V_{\text{пов}}=4,0\%$).

В якості прискорювачів твердіння бетону і з метою підвищення ранньої та марочної міцності, довговічності та морозостійкості цементобетонного покриття доріг і аеродромів запропоновані та досліджені природній солевий мінералізований розчин (бішофіт) та твердий солевмісткий відход (ТСВ) виробництва епоксидних смол (м. Донецьк).

Бішофіт є мінеральний продукт в вигляді рідкого солевого розчину, який має темно-коричневий колір, щільність – $1,29 \dots 1,32 \text{ г/см}^3$, $\text{pH}=5,7 \dots 6$.

Хімічний склад: MgCl_2 – 90,0...96,0%; $\text{Mg}(\text{Br})_2$ – 2,0...5,0%; CaCl_2 – 1,0...2,0%; KCl – 0,5...2,0%; CaSO_4 – 0,2...0,4%; CaCO_3 – 0,2...0,4%; $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ – 0,1...0,2%. Крім того бімофіт вміщує в незначних кількостях мікроелементи: Cu, Fe, Al, Ca, B, Sr, Ba, Zn та інші.

Головний вплив на процеси структуроутворення та твердіння в'язучого мають MgCl_2 і $\text{Mg}(\text{Br})_2$. В зв'язку з тим, що домішка бішофіту знаходиться в незначній кількості (0,1...1,5% від маси цементу) вона не викликає корозії арматури.

Під час технологічного процесу переробки бракованої епоксидної смоли утворюються рідкі солевмісткі відходи, як після додаткової обробки з метою нейтралізації та детоксикації, стають твердими у вигляді грудок розмірами від 5 до 60 см у діаметрі. На даний час ці відходи не утилізуються.

Хімічний склад твердих солевмістких відходів (ТСВ) такий: хлорид натрію – 95...97% та органічна складова (частки багатоатомних спиртів 3...5%).

З літературних джерел відомо про застосування хлориду натрію як прискорювача твердіння цементного бетону, а також про пластифікуючу та кольматуючу (ущільнюючу) дію багатоатомних спиртів на властивості цементно-бетонної суміші.[1]

Метою дослідницької роботи було встановлення доцільності використання цих відходів в дорожньому будівництві для підвищення технологічних та експлуатаційних показників якості цементного бетону, вивчення впливу відходу ТСВ на властивості цементного бетону у часі. Результати роботи захищені патентом України.[2]

В ході проведення роботи визначалась міцність цементного бетону при тиску на зразках – кубах розміром $10 \times 10 \times 10$ см у віці 1, 28, 60, 120 діб нормального твердіння. Корозійна стійкість сталеві арматури визначалась на зразках арматури (Ст.3), які закладались в середину цементно-піщаних зразків – балочок розміром $4 \times 4 \times 16$ см з добавкою ТСВ, з добавкою хлористого натрію (хімічний реактив) та без добавки (контрольний). «Живучість» цементно-бетонної суміші з добавкою ТСВ моделювалась на цементно-піщаній суміші протягом 3 годин з моменту її приготування. Водопоглинання та капілярне підсмоктування визначались на зразках – балочках розміром $4 \times 4 \times 16$ см. Морозостійкість ($F=200$) визначалась на зразках бетону ($M=200$), розміром $10 \times 10 \times 10$ см [3], [4].

Після попереднього подрібнення твердих грудок відходу до порошкоподібного стану готувався водний 15% розчин добавки ТСВ розчиненням порошку у воді при температурі 40°C . Водний розчин добавки ТСВ додавався до води зачинення в процесі приготування цементно-піщаної та цементно-бетонної сумішей.

Дослідження проводились на зразках цементного бетону класу В15(М-200), Р-1 (ОК-1...4см) наступного складу: (цемент – 265кг, щебінь – 1294кг, пісок – 580кг, вода – 180л). В дослідженнях використовувались: портландцемент Амвросієвського цементного заводу (ПЦ-1-500); щебінь фракції 20...40 мм Торезького кар'єру; пісок Луганського кар'єру (Мкр –1,3).

Попередніми дослідженнями було встановлено, що максимальне значення міцності при стиску на згині цементно – піщаних зразках (4×4×16; В/Ц=0,4; склад 1:3) спостерігається при кількості добавки ТСВ (сухої речовини) – 1,7% від ваги цементу. [5]

Оптимальна кількість бішофіту – 0,5% від ваги цементу.

Паралельно готувались зразки без добавок, з добавками $MgCl_2$ (0,5%) та $NaCl$ (1,7%).

В зв'язку з тим, що головними компонентами у складі добавки ТСВ є хлорид натрію, а в бішофіті є хлорид магнію, які впливають на прискорення фізико-хімічних процесів твердіння цементного бетону, тому при використанні добавки ТСВ і бішофіту в дорожньому будівництві повстає питання «живучості» цементно-бетонної суміші з добавками на протязі певного часу, особливо при її транспортуванні та укладанні на віддаленому дорожньо-будівельному об'єкті. Результати досліджень приведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Вплив добавок на «живучість» цементно-піщаної суміші у часі

Вид та кількість добавки, % від маси цементу	Рухомість цементно-піщаної суміші у часі, в % від початкової		
	відразу після приготування	після 1 години	після 3 годин
1	2	3	4
Еталон	100,0	53,0	43,0
ТСВ – 1,7	100,0	57,0	51,0
Хлорид натрію – 1,7	100,0	57,0	39,0
Бішофіт – 0,5	100,0	56,0	44,0
Хлорид магнію – 0,5	100,0	56,0	40,0

З таблиці 2 бачимо, що зміна рухомості суміші з добавками ТСВ і ішофіту у порівнянні з контрольною та з сумішшю з добавками хлориду натрію та магнію йде трохи повільніше. Це можливо пояснити деякою екрануючою дією органічної складової добавки ТСВ на зерна цементу в процесі твердіння, що є сприятливим для збереження рухомості бетонної суміші в умовах дорожнього будівництва.

Вплив добавок на міцності показники зразків бетону класу В15 визначався на протязі 3, 28, 60, 120 діб твердіння в нормальних умовах. Результати випробувань приведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Вплив добавок на міцності показники зразків цементного бетону.

Вид та кількість добавки, % від маси цементу	Міцність при стиску при твердінні в нормальних умовах, МПа / %, через діб			
	3	28	60	120
Контрольний	7,1/100,0	21,5/100,0	24,6/100,0	25,5/100,0
ТСВ – 1,7	9,9/139,0	26,9/125,0	29,8/121,0	30,1/118,0
Хлорид натрію-1,7	9,7/137,0	26,4/123,0	29,5/120,0	30,3/119,0
Бішофіт – 0,5	11,5/162,0	31,8/148,0	34,4/140,0	34,7/135,0
Хлорид магнію – 0,5	9,9/140,0	28,2/131,0	30,7/125	30,9/121,0

Результати випробувань на міцність при стиску свідчать, що добавка ТСВ прискорює набір міцності зразків бетону в ранні строки твердіння (3 доби) по відношенню до контрольних. В подальшому (на 60, 120 діб) цей процес сповільнюється, але приріст міцності по відношенню до контрольних через 120 діб становить 18%.

Добавка бішофіту більш ефективна у порівнянні з ТСВ, що можна пояснити наявністю в її складі активних мікроелементів, які каталізують процес твердіння цементу, а також незначною кількістю відомих прискорювачів твердіння CaCl_2 і KCl . Результати досліджень корозійної стійкості зразків сталевих арматур приведені в таблиці 4.

Таблиця 4 – Вплив добавок на корозію сталевих арматур

Вид та кількість добавки, % від маси цементу	Корозія арматури, г/см ² /% через	
	30 діб	180 діб
Еталон	0,81/100,0	0,85/105,0
ТСВ – 1,7	0,95/100,0	0,90/95,0
Хлористий натрій –1,7	0,97/100,0	0,95/98,0
1	2	3
Бішофіт – 0,5	0,87/100,0	0,83/
Хлористий магній –0,5	0,95/100,0	0,90/

З результатів досліджень, приведених в таблиці 4 бачимо, що у зразках арматури, які були закладені в зразки-балочки з добавкою ТСВ і бішофіту, через 30 діб спостерігалось деяке збільшення корозії по відношенню до контрольних зразків. Через 180 діб було встановлено, що у зразках арматури (з добавкою ТСВ) процес корозії уповільнився, тоді, як у контрольних цей процес мав незначну тенденцію росту.

Результати досліджень по визначенню впливу добавки ТСВ на фізичні властивості цементного бетону (коефіцієнт морозостійкості, водопроникливість, водопоглинання, капілярне підсмоктування) – показники щільності структури цементного каменю, а також його довговічності приведені в таблиці 5.

Таблиця 5 – Вплив добавок на фізичні властивості цементного бетону

Вид та кількість добавки, % від маси цементу	Показники			
	Водопроникливість, МПа	Коефіцієнт морозостійкості	Водопоглинання, %	Капілярне підсмоктування, %
1	2	3	4	5
Еталон	4,5	0,82	4,35	2,09
ТСВ – 1,7	9,0	0,98	1,86	0,72
Хлористий натрій – 1,7	6,0	0,98	1,95	0,80
Бішофіт – 0,5	9,0	0,97	1,90	0,73
Хлористий магній – 0,5	6,0	0,98	1,95	0,79

Результати досліджень приведені в таблиці 5 свідчать про те, що добавка ТСВ і бішофіту поліпшують фізичні показники зразків цементного бетону, так коефіцієнт морозостійкості зростає, а водопоглинання, капілярне підсмоктування зменшуються, що дає змогу прогнозувати більшу стійкість та довговічність дорожнього цементобетону.

Зменшення водопоглинання та капілярного підсмоктування, підвищення водопроникливості і морозостійкості свідчать про ущільнення структури цементного бетону. Це підтверджується результатами досліджень корозії арматури, звязування частини хлорид – іонів з утворенням гідрохлоралюмінату кальцію (за результатами ДТА), утворенням дрібнозернистої структури цементного каменю (за результатами оптико – структурних досліджень), кольматації пор і утворення структури цементного каменю з умовно – замкнутими порами меншого діаметру у порівнянні з еталоном (ртутна порометрія).

Висновок

У результаті проведених досліджень встановлено, що застосування добавок дозволяє поліпшити міцності та експлуатаційні характеристики цементного бетону: збільшити міцність при стиску на 40...60%, (ранні строки твердіння), морозостійкість на 20%, зменшити водопоглинання в 2,3 рази, капілярне підсмоктування в 2,6 разів.

Література

1. ДСТУ-Н Б В.2.7-175:2008 Будівельні матеріали. Правила застосування хімічних добавок у бетонах, будівельних розчинах.
2. Патент України №19275. Дорошенко Ю.М., Борковський П.П., Гуріна Л.І., та ін. «В'яжуче» Бюл.№6 від 25.12.97.
3. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.
4. ДСТУ Б.В. 2.7-42-97 Будівельні матеріали. Методи визначення водопоглинання, густини і морозостійкості будівельних матеріалів і виробів.
5. Борковський П.П. Модифікатор дорожнього цементобетону на основі відходу // Вісник ТАУ і НТУ. – 2001. Вип. 5. – С. 123-27.

Рецензенти

В.О. Золотарьов, д-р техн. наук, ХНАДУ (Харків)
А.В. Мішутін, д-р техн. наук, ОДАБА (Одеса)

Reviewers

V.O. Zolotarev, Dr.Tech.Sci., KhNAHU (Kharkiv)
A.V. Mishutin, Dr.Tech.Sci., OSACEA (Odesa)

БУДІВНИЦТВО ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ДОРІГ І АЕРОДРОМІВ

УДК 625.731

Савенко В.Я., д-р техн. наук, **Петрович В.В.**, канд. техн. наук,
Каськів В.І., канд. техн. наук, **Каськів С.В.**

ПЕРЕГЛЯД ВБН В.2.3-218-171-2002 «СПОРУДЖЕННЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ»

Анотація. Переглянуто ВБН В.2.3-218-171-2002 шляхом врахування вимог законодавства, нормативних документів, будівельних норм і сучасних вимог до спорудження земляного полотна автомобільних доріг. Наведено основні положення і доповнення, які увійшли у новий документ.

Ключові слова: автомобільна дорога, ґрунт, земляне полотно, нормативний документ, технологія, ущільнення.

Аннотация. Пересмотрен ВСН В.2.3-218-171-2002 путем учета требований законодательства, нормативных документов, строительных норм и современных требований к строительству земляного полотна автомобильных дорог. Приведены основные положения и дополнения, которые вошли в новый документ.

Ключевые слова: автомобильная дорога, ґрунт, земляное полотно, нормативный документ, технология, уплотнение.

Annotation. Viewed VBN V.2.3-218-171-2002 by taking into account the requirements of legislation, regulations, building codes and modern requirements for construction of the subgrade of the roads. The principal and additions are included in the new document.

Keywords: road, soil roadbed, regulations, technology, consolidation.

Вступ

Якість автомобільної дороги, в цілому, залежить від міцності земляного полотна, яке є основою дорожньої конструкції. Правильний вибір ґрунтів, порядку їх розташування у тілі насипу, вибір технології укладання та ущільнення є запорукою того, що земляне полотно буде працювати у сприятливому водно-тепловому режимі при різних погодно-кліматичних факторах і у різних дорожньо-кліматичних зонах.

Згідно сучасних вимог нормативних документів системи «Національна стандартизація» способи будівництва та контролю якості спорудження земляного полотна, як комплексу споруд автомобільної дороги, підпадають під сферу застосування державного стандарту України – настанова (ДСТУ-Н), тому виникла необхідність у перегляді існуючих ВБН В.2.3-218-171-2002 «Спорудження земляного полотна автомобільних доріг».

Основна частина

Фахівцями Національно транспортного університету і ДП«ДерждорНДІ» виконані роботи із перегляду існуючих відомчих будівельних норм із спорудження земляного полотна автомобільних доріг.

Нова редакція документа набула суттєвих змін, з точки зору регламентування виконання технологічних операцій, у зв'язку із діючими вимогами до структури настанов, всі положення тепер носять рекомендований характер. Також вилучені положення на які розроблені окремі галузеві норми, це, зокрема, застосування геосинтетичних матеріалів при спорудженні земляного полотна.

Зміст настанови містить дванадцять розділів і тринадцять додатків і відображає такі положення: сфера застосування; нормативні посилання; терміни та визначення понять, позначення та скорочення; організація робіт із спорудження земляного полотна; підготовчі роботи; спорудження земляного полотна (грейдерні, бульдозерні, скреперні роботи, розробка ґрунтів екскаватором тощо); ущільнення ґрунтів (укочування, трамбування, вібраційне ущільнення тощо); улаштування водовідвідних і дренажних споруд; опоряджувальні й укріплювальні роботи; спорудження земляного полотна в складних інженерно-геологічних умовах; виконання земляних робіт у зимовий період; виробничий контроль якості та приймання земляного полотна тощо.

У новій редакції документа змінено підхід до встановлення ступеня вологості зв'язних ґрунтів при спорудженні земляного полотна в умовах підвищеної вологості ґрунтів.

До ґрунтів підвищеної вологості належать ґрунти, які в період укладання їх в насип або розробки у виїмці (кар'єрі, резерві) мають вологість, більшу ніж та, при якій ці ґрунти можуть бути ущільнені з $k_{\text{ущ}} \geq 0,95$. Такі ґрунти найбільш характерні для гірських умов Карпат та північних областей України.

З урахуванням значень фізико-механічних характеристик ґрунтів, які визначають вибір конструкції і технології спорудження земляного полотна, зв'язні ґрунти за ступенем вологості рекомендується поділяти на три категорії, на відміну від двох у старій редакції, а в якості класифікаційного параметра застосовувати вид ґрунту за числом пластичності (табл. 1).

Таблиця 1

Вид ґрунту за числом пластичності $I_{p, \text{од.}}$	Ґрунти нормальної вологості	Інтервал підвищеної (допустимої вологості) I_L	Стан надмірної вологості
$I_p < 7$	$-1,25 \leq I_L < 0,25$	$0,25 < I_L < 0,35$	$I_L > 0,35$
$7 \leq I_p < 12$	$-0,75 \leq I_L < 0,25$	$0,25 < I_L < 0,30$	$I_L > 0,30$
$12 \leq I_p < 17$	$-0,50 \leq I_L < 0,20$	$0,20 < I_L < 0,25$	$I_L > 0,25$
$17 \leq I_p < 27$	$-0,25 \leq I_L < 0,15$	$0,15 < I_L < 0,20$	$I_L > 0,20$
$27 \leq I_p$	$-0,15 \leq I_L < 0,10$	$0,10 < I_L < 0,15$	$I_L > 0,15$

На думку авторів документа, такий підхід дозволить більш точніше встановити ступінь перезволоження ґрунтів.

Відповідно змінені рекомендації із призначення необхідної кількості негашеного вапна або золи віднесення (у перерахунку на чисті CaO і MgO), цементу (портландцемент марки 300) (табл. 2).

Зміни також торкнулись і пункту "Спорудження земляного полотна в умовах штучного зрошування земель", у питанні уточнення вологості ущільнення таких ґрунтів. А саме, для досягнення великої щільності ґрунти

необхідно ущільнювати при вологості меншій за оптимальну, при показнику текучості I_L у межах від мінус 1,25 до 0.

$$W_i = I_L \cdot I_p + W_p, \quad (1)$$

де I_L – показник текучості, ч. од;

I_p – число пластичності, ч. од;

W_p – вологість на межі розкочування.

Таблиця 2

Ґрунти підвищеної вологості	Кількість активних домішок, % від маси ґрунту
Піски пилюваті та супіски $I_p < 7,0$	$\frac{0,5}{1,5}$
Суглинки легкі і важкі $I_p = 7,0 \div 17,0$	$\frac{1,5 - 2,0}{3,0}$
Ґлини піщанисті та пилюваті $I_p = > 17,0$	$\frac{2,5 - 3,0}{5,0}$

Примітка1. У чисельнику наведена кількість негашеного вапна або золи віднесення (у розрахунку на чистий $\text{CaO} + \text{MgO}$); в знаменнику кількість портландцементу марки 300.
Примітка2. При застосуванні цементів низьких марок їх кількість рекомендується збільшити у 1,1 – 1,3 рази.

Фахівцями із ДерждорНДІ запропоновано і введено у пункт "Будівництво земляного полотна на просідних ґрунтах" настанови, коефіцієнт ущільненості.

Для ділянок з невиявленою просідністю характерне поверхнєве просідання, яке відбувається в поверхневому шарі товщиною (3,0 – 4,0) м в умовах виникнення утрудненого поверхневого водовідведення і внаслідок будівництва дороги. Лесові та лесовидні ґрунти на цих ділянках характеризуються такими показниками: $I_L < -0,25$, а $k_d < 0$, де k_d – коефіцієнт ущільненості, визначають за формулою:

$$k_d = \frac{(e_{w_L} - e)}{(e_{w_L} - e_{w_p})}, \quad (2)$$

де e – фактичне значення коефіцієнта пористості, ч.од;

e_{w_L} – значення коефіцієнта пористості на межі текучості, ч.од;

e_{w_p} – значення коефіцієнта пористості на межі розкочування, ч.од.

$$e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d, \quad (3)$$

де ρ_s – густина часток ґрунту, г/см³;

ρ_d – густина сухого ґрунту, г/см³;

$$e_{wp} = W_p \cdot \rho_s; e_{WL} = W_L \cdot \rho; \text{ (при } S_r = 1,0), \quad (4)$$

де S_r – коефіцієнт водонасичення згідно з ДСТУ Б В.2.1-2.

Настанова також містить абсолютно нові вимоги, які стосуються контролю якості ущільнення ґрунтів земляного полотна. Зокрема, поряд із традиційною методикою, рекомендується визначати щільність за модифікованим Проктором згідно з ДСТУ Б В.2.1-12, а також при контролі ущільнення ґрунтів земляного полотна виконувати штапові випробування.

Саму якість ущільнення ґрунтів земляного полотна оцінювати методами статистичного аналізу згідно вимог, які наведені у додатку А настанови (табл. 3).

Таблиця 3– Вимоги до ущільнення ґрунтів та інших параметрів земляного полотна (фрагмент)

Ч.ч.	Конструктивний елемент та параметр, що контролюється	Розмірність	Середнє (проектне) значення параметра
1.1	Рекомендована щільність ґрунтів природної основи глибше робочого шару	г/см ³	$\bar{\rho}_d = \rho_{d \max}$
1.2	Вологість при ущільненні земляного полотна крім робочого шару, що споруджується із ґрунтів з $I_p \leq 12$ та пилюватих пісків	%	$\bar{W} = 0,9 W_o$
1.3	Щільність ґрунту у земляному полотні крім робочого шару, що споруджується із ґрунтів з $I_p \leq 12$ та пилюватих пісків	г/см ³	$\bar{\rho}_d = 1,02 \rho_{d \max}$

Продовження табл. 3

Ч.ч.	Конструктивний елемент та параметр, що контролюється	Розмірність	Середнє (проектне) значення параметра
1.4	Вологість при ущільненні робочого шару, що споруджується із ґрунтів з $I_p \leq 12$ та пилюватих пісків	%	$\bar{W} = 0,8 W_0$
1.5	Щільність ґрунту у робочому шарі, що споруджується із ґрунтів з $I_p \leq 12$ та пилюватих пісків	г/см ³	$\bar{\rho}_d = 1,05 \cdot \rho_{d \max}$

Кінець табл. 3

Ч.ч.	Мінімальні (максимальні) значення параметра	Розрахунок середнього квадратичного відхилення	Кількість і місце вимірів
1.1	$\rho_{d \min} = 0,95 \rho_{d \max}$	$U_{(1;0,8)} = \frac{\rho_{d \max} - 0,95 \rho_{d \max}}{0,842}$	Не менше трьох вимірів на кожні 100 м
1.2	$W_{\min-\max} = (0,8-1,0)W_0$	$U_{(2;0,90)} = \frac{0,9W_0 - 0,8W_0}{1,645}$	- -
1.3	$\rho_{d \min} = 0,98 \rho_{d \max}$	$U_{(1;0,8)} = \frac{1,02 \rho_{d \max} - 0,98 \rho_{d \max}}{0,842}$	- -
1.4	$W_{\min-\max} = (0,7-0,9)W_0$	$U_{(2;0,90)} = \frac{0,8W_0 - 0,7W_0}{1,645}$	- -
1.5	$\rho_{d \min} = \rho_{d \max}$	$U_{(1;0,9)} = \frac{1,05 \rho_{d \max} - \rho_{d \max}}{0,842}$	- -

Висновок

Ґрунти є дисперсними системами, фізико-механічні характеристики яких значно залежать від їх вологості і щільності, тому раціональний вибір технології (послідовність операцій, режими різання, кількість проходів котка тощо) значно впливає на кінцевий результат – міцність земляного полотна.

Розроблення нормативного документа національного рівня на виконання робіт з будівництва земляного полотна автомобільних доріг дозволить отримати якісний продукт, а саме – міцну основу і надійну дорожню конструкцію, що забезпечить безперервний, безпечний та зручний рух транспортних засобів.

Література

1. ВБН В.2.3-218-171-2002 Спорудження земляного полотна автомобільних доріг. – К. : Укравтодор, 2002. – 165 с.
2. ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95) Ґрунти. Класифікація. – К. : Держкоммістобудування, 1997. – 47 с.
3. ДСТУ Б В.2.1-12:2009 Ґрунти. Метод лабораторного визначення максимальної щільності. – Мінрегіонбуд України, 2010. – 15 с.
4. ДСТУ Б В.2.1-12:2009 Зміна № 1 Ґрунти. Метод лабораторного визначення максимальної щільності. – Мінрегіонбуд України, 2011. – 27 с.

Рецензенти

В.К. Жданюк, д-р техн. наук, ХНАДУ (Харків)

Ф.П. Гончаренко, канд. техн. наук, ДП “Укрдіпродор” (Київ)

Reviewers

V.K. Zhdaniuk, Dr.Tech.Sci., KhNAHU (Khariv)

F.P. Honcharenko, Ph.D., “Ukrdiprodor” (Kyiv)

Дмитрієв М.М., д-р. техн. наук, Гамеляк І.П., д-р. техн. наук,
Попелиш І.І., канд. техн. наук, Корітчук С.О.

ТЕПЛОВІЗІЙНА ДІАГНОСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Анотація. Однією із істотних складових зменшення витрат на технічне обслуговування і ремонт обладнання, технологічний процес якого пов'язаний з виділенням тепла – це застосування тепловізійної діагностики.

Теплобачення дозволяє вирішувати багато завдань неруйнівного контролю, виявляти приховані дефекти технологічного обладнання на ранній стадії розвитку, підвищувати надійність і безпеку їх експлуатації. Запропоновано застосування тепловізора для проведення технічної діагностики технологічного обладнання і встановлення реальної картини поточної ситуації з тепловими втратами на підприємстві, що дозволяє виявляти пріоритетні напрямки для подальшої роботи з енергозбереження та застосування технічних заходів щодо безаварійної роботи діагностуемого обладнання.

Ключові слова: тепловізійна діагностика, технологічний процес, теплове обстеження, температура поверхні, теплоізоляція, термограма, комбінат, енергозбереження.

Аннотация. Одной из существенных составляющих уменьшения затрат на техническое обслуживание и ремонт оборудования, технологический процесс которого связан с выделением тепла – это применение тепловизионной диагностики.

Тепловидение позволяет решать многие задачи неразрушающего контроля, выявлять скрытые дефекты технологического оборудования на ранней стадии развития, повышать надежность и безопасность их эксплуатации. Предложено применение тепловизора для проведения технической диагностики технологического оборудования и установления реальной картины текущей ситуации с тепловыми потерями на предприятии, что позволяет выявлять приоритетные направления для дальнейшей работы по энергосбережению и

применение технических мер по безаварийной работе диагностируемого оборудования.

Ключевые слова: тепловизионная диагностика, технологический процесс, тепловое обследование, температура поверхности, теплоизоляция, термограмма, комбинат, энергозбережение.

Annotation. One of the essential components to reduce the cost of maintenance and repair process which is associated with heat – is the use of thermal imaging diagnostics.

Thermal imaging allows us to solve many problems of non-destructive testing, to detect hidden defects of the process equipment at an early stage of development, improve the reliability and safety of operation. Provided the use of a thermal imager for technical diagnostics of technological equipment and establish a realistic picture of the current situation to the thermal losses in the company, which allows to identify priority areas for further work on energy efficiency and the use of technical measures for the trouble-free operation of the diagnosed equipment.

Keywords: thermal diaghosics, techhologal processes, thermal survey surface temperature ihsulationh, thermograms, plant, energozberezhenie.

Вступ

Тепловізійна діагностика широко застосовується як спосіб контролю різного технологічного обладнання. Практично будь-яке промислове обладнання, технологічний процес якого пов'язаний з виділенням тепла може контролюватися тепловізійною апаратурою. Теплобачення допомагає вирішити широке коло задач неруйнівного контролю, дозволяє виявляти дефекти на ранній стадії їх розвитку, вчасно вживати заходів для запобігання аварій, прогнозувати строки й об'єм ремонтних робіт, скорочувати витрати на технічне обслуговування, підвищувати надійність і безпеку експлуатації високо технологічного обладнання. Вчасно ухвалені рішення, які ґрунтуються на результатах діагностики, дозволяють ефективно й безпечно експлуатувати технічні об'єкти, заздалегідь планувати ремонтно-відновлювальні роботи, уникати або значно скорочувати небажані простої підприємств через відмови обладнання.

Основна частина

Для теплового обстеження технологічного обладнання на Побужському феронікелевому комбінаті був використаний тепловізор з діапазоном

вимірюваних температур від -20 до $+350^{\circ}\text{C}$ і спектральним діапазоном хвиль $8\ldots14$ мкм, із вбудованою цифровою фотокамерою, що дозволяє одержувати паралельно термограми й фотографії вимірюваних об'єктів. На рис. 1 показані термограма й фотографія сушильного барабана. Температура на його поверхні змінюється в діапазоні $75\ldots97^{\circ}\text{C}$. Нерівномірність температурного поля на окремих ділянках може свідчити про дефекти футеровки барабана.

На рис. 2 наведені дані по тепловим втратам з поверхні обладнання для очищення відходів виробництва. Температура на поверхні змінюється в діапазоні $65\ldots70^{\circ}\text{C}$.

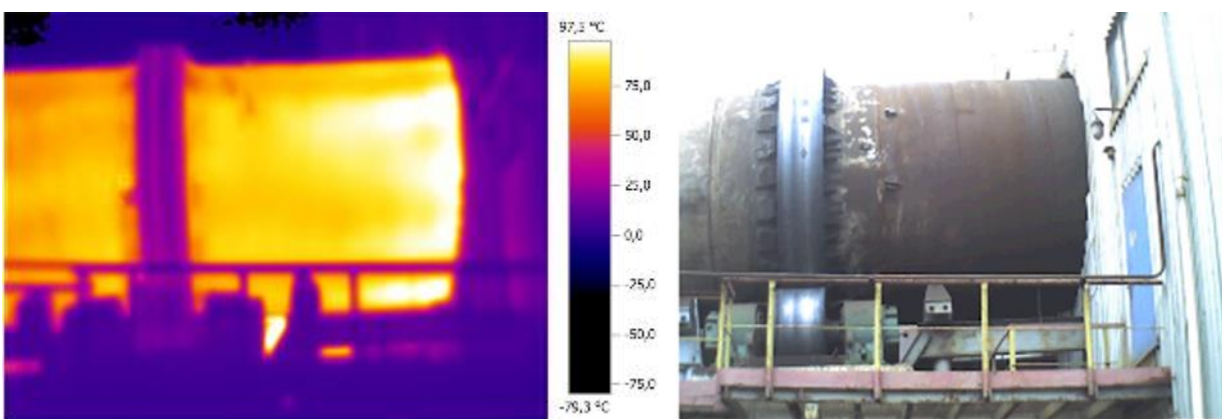


Рисунок 1- Барабан для осушування поступаючої суміші

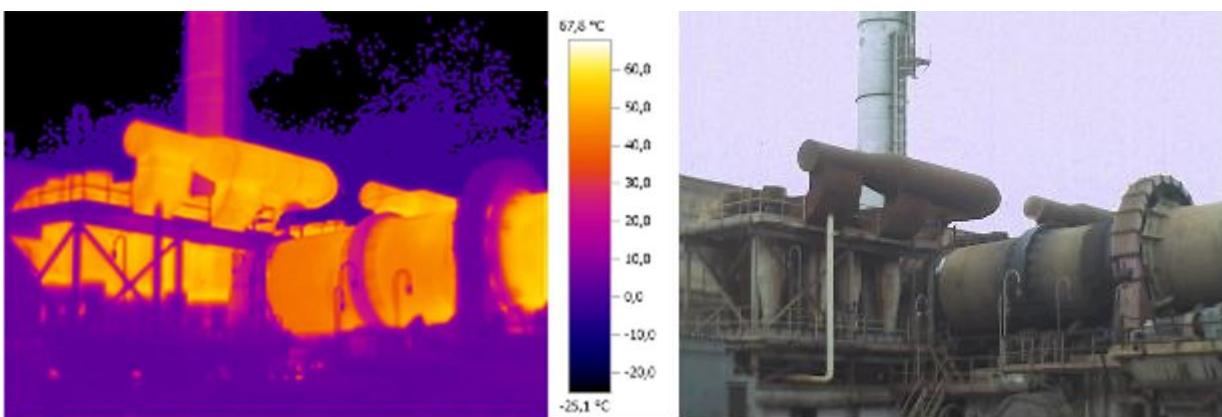


Рисунок 2 - Обладнання для очищення відходів виробництва

На рис. 3 наведені термограма й фотографія корпусу й вала редуктора. Різниця температур може вказувати на дефекти усередині редуктора. Зміна

температури вала, стінки корпуса редуктора у часі, може вказувати на початок руйнування підшипника.

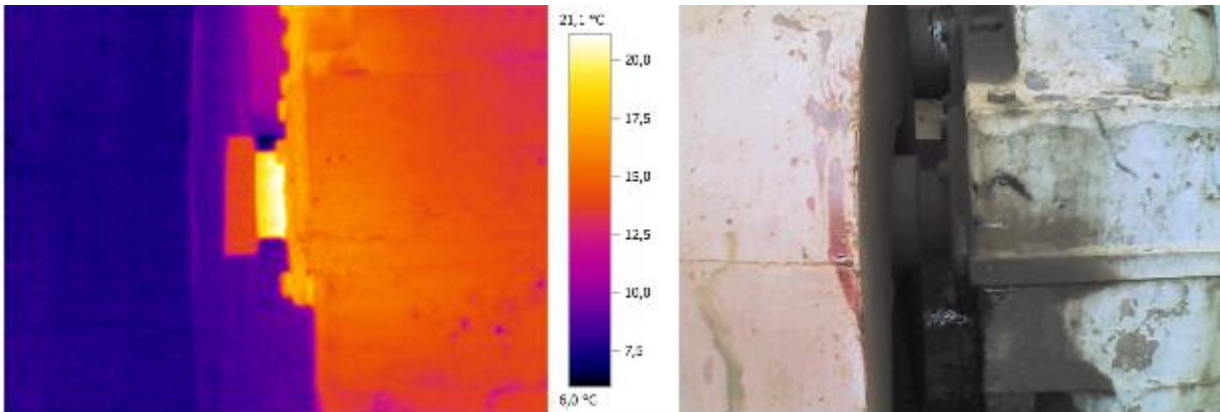


Рисунок 3 - Термограма корпуса й вала редуктора

На рис. 4 наведені дані про температурний стан працюючого під навантаженням корпуса електродвигуна. При наявності таких термограм через певний проміжок часу можна робити висновок про його технічний стан.

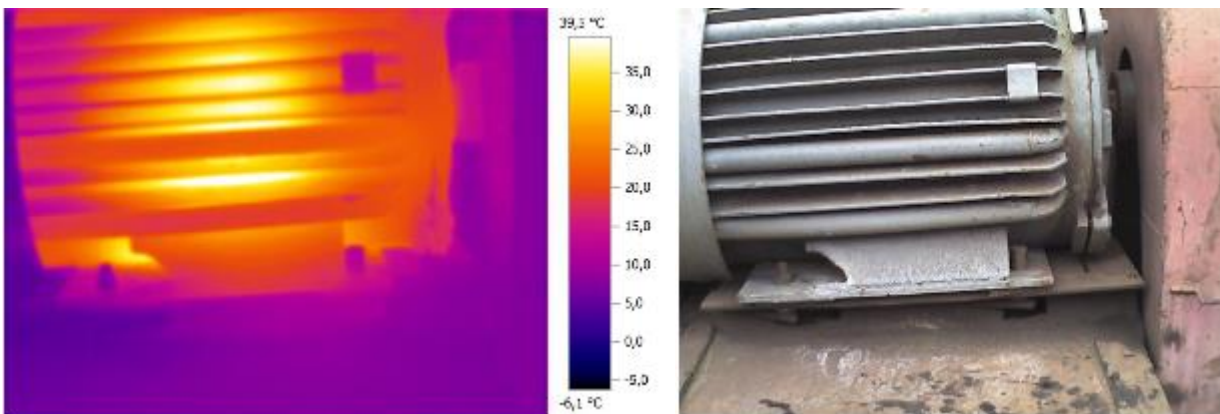


Рисунок 4- Термограма корпуса електродвигуна

На рис. 5 показаний розподіл температури по поверхні димової труби. Тепловізійне обстеження димарів дозволяє виявляти руйнування між секційних з'єднань, утворення тріщин несучої конструкції, руйнування теплоізоляції й футеровки, дефекти у вентильованому зазорі й нещільному примикання газоходів.

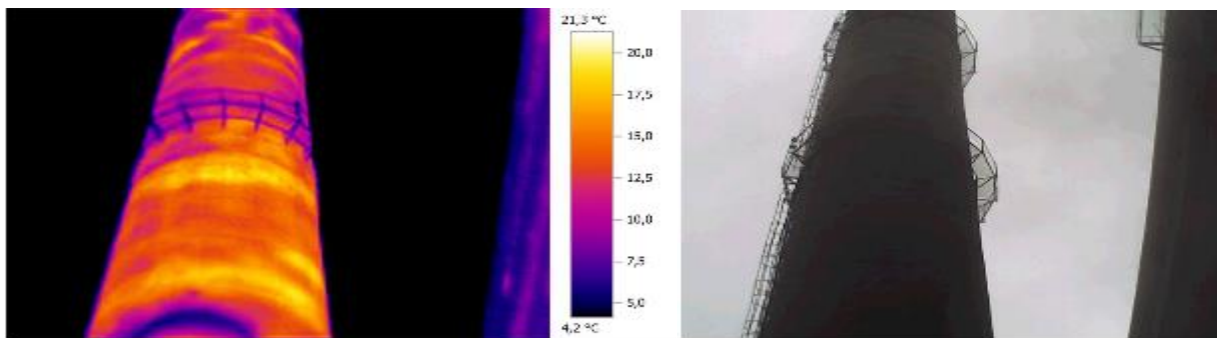


Рисунок 5 - Термограма димової труби.

Висновки

Результати тепловізійного обстеження технологічного обладнання, на Побужському феронікелевому комбінаті, вказують на наявність суттєвої неоднорідності температурного поля на його поверхні, що особливо характерно для дефектних ділянок. Застосування традиційних методів контактної діагностики, з довільним вибором точок вимірювань не дає гарантії виявлення всіх дефектів – існує ймовірність як пропуску існуючого локального дефекту, так і завищення обстежуваної площі для виявлення дефектів. Тепловізійне обстеження формує цілісну картину розподілу температури й теплових потоків по всій поверхні обладнання що діагностується, дозволяє точно визначати локалізацію як існуючих дефектів, так і ступінь їх розвитку в часі й дає найбільш повну інформацію про стан теплової ізоляції. Вчасно прийняті рішення, які засновані на результатах теплової діагностики, дозволяють ефективно й безпечно експлуатувати об'єкти, заздалегідь планувати ремонтно-відбудовчі роботи, знижувати витрати на експлуатацію, у тому числі за рахунок небажаних простоїв через відмови обладнання, уникати катастрофічних наслідків а також якщо буде потреба, обґрунтовано захищати свої інтереси при прийманні/здачі виконаних робіт.

Література

1. Методика проведення енергетичного аудиту закладів освіти. Загальні положення. Порядок проведення / НТУУ “КПІ” Інститут енергозбереження та енергоменеджменту. – К., 2009. – 75 с.
2. ДСТУ Б В.2.2-21-2008 Метод визначення питомих тепловитрат на опалення будинків. – К., 2008.
3. Р.В.3.1-02070915-811: 2012 Рекомендації по удосконаленню методу оцінювання стану покриття при використанні тепловізійного обладнання. – К.: Укравтодор, 2012.
4. Прокопенко В.В., Закладний О.М., Кульбачний П.В. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями: навч. посібник. – К.: Освіта України, 2009. – 438 с.

Рецензенти

В.І. Братчун, д-р техн. наук, ДонНАБА (Краматорськ)
В.К. Жданюк, д-р техн. наук, ХНАДУ (Харків)

Reviewers

V.I. Bratchun, Dr.Tech.Sci., DonNACEA (Kramatorsk)
V.K. Zhdaniuk, Dr.Tech.Sci., KhNAHU (Khariv)

Закревський А.І., канд. техн. наук, Попелиш І.І., канд. техн. наук,
Корітчук С.О.

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЗЧІПНИХ ЯКОСТЕЙ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ

Анотація. Безпека виконання злітно-посадкових операцій літаками в процесі зльоту чи посадки визначається умовами взаємодії пневматиків шасі повітряного судна з покриттям, що багато в чому залежить від зчіпних якостей аеродромних покриттів. Зчіпні якості аеродромних покриттів оцінюються коефіцієнтом зчеплення, який залежить від багатьох факторів. Обґрунтована важливість чіткого виконання проектних рішень при будівництві аеродромів, застосування різних методів підтримання належного експлуатаційного стану аеродромних покриттів.

Ключові слова: безпека польотів, зчіпні якості, коефіцієнт зчеплення, відносне ковзання, проковзування, проектні рішення, забруднення аеродромних покриттів, методи очищення, довжина пробігу.

Аннотация. Безопасность выполнения взлетно-посадочных операций самолетами в процессе взлета или посадки определяется условиями взаимодействия пневматиков шасси воздушного судна с покрытием, что во многом зависит от сцепных качеств аэродромных покрытий. Сцепные качества аэродромных покрытий оцениваются коэффициентом сцепления, который зависит от многих факторов. Обоснована важность четкого выполнения проектных решений при строительстве аэродромов, применения различных методов поддержания соответствующего эксплуатационного состояния аэродромных покрытий.

Ключевые слова: безопасность полетов, коэффициент сцепления, относительное скольжение, проскальзывание, проектные решения, загрязнение аэродромных покрытий, методы очистки, длина пробега.

Annotation. Safety performance landing operations aircraft during takeoff or landing conditions determined by the interaction of aircraft pneumatic chassis with a coating that largely depends on the grip of the airport paving. Couplings are rated as airport

paving coupling coefficient that depends on many factors. Substantiates the importance of clear performance design solutions in the construction of airports, the use of different methods of maintaining proper operating condition airport paving.

Keywords: flight safety, coupling quality friction coefficient, relative sliding, slipping, design decisions, contamination airport paving, methods of treatment, length of run.

Одним з важливих факторів забезпечення виконання злітно-посадкових операцій повітряних суден є відповідний експлуатаційний стан аеродромних покриттів.

До параметрів елементів аеродрому, що підлягають обов'язковому контролю, належить, крім інших, коефіцієнт зчеплення, який характеризує зчіпні якості аеродромних покриттів. Ці якості в значній мірі залежать від швидкості літака, дренажних характеристик злітно-посадкової смуги (ЗПС) (профіль поверхні, ухили, макро і мікротекстура), стану пневматика (температура, глибина рисунку протектора) та тиску в ньому, наявності на поверхні покриття забруднювачів (опаді, нашарування гуми, нафтопродуктів, пил, пісок, тощо).

Залежність безпеки виконання злітно-посадкових операцій повітряних суден від зчіпних якостей аеродромних покриттів пояснюється тим, що до 60 - 70% кінетичної енергії повітряного судна гаситься при посадці гальмуванням, і отже, якщо відсутні надійні умови гальмування, то неминуча втрата стійкості й керованості повітряного судна. Наслідком цього може бути викочування його за торцюву межу ЗПС або на бічну смугу безпеки. Втрата керованості можлива також при зльоті чи посадці літака в умовах пониженого коефіцієнта зчеплення й наявності бічного вітру підвищеної швидкості.

Коефіцієнт зчеплення μ є найбільш інформативним параметром оцінки стану покриття, який являє собою відношення поздовжньої сили опору до нормальної (вертикальної) сили, які діють на загальмоване колесо в зоні його контакту з поверхнею покриття.

Коефіцієнт зчеплення виражається безрозмірною величиною й набуває значення в діапазоні від 0 до 1.

Аналіз вітчизняних і зарубіжних досліджень показує, що приблизна оцінка величини коефіцієнта зчеплення може бути виконана на основі наступної описаної характеристики стану покриття:

- сухе асфальто- і цементобетонне покриття - $\mu=0,5-1,0$;
- вологе асфальто- і цементобетонне покриття (шар води значно менше висоти виступів шорсткості) - $\mu=0,4-0,6$;
- мокре покриття (шар води на рівні висоти виступів шорсткості, калюжі відсутні, приток води менше дренажної здатності покриття) - $\mu=0,2-0,5$;
- залиті водою покриття (шар води більше висоти виступів шорсткості, приток води перевищує дренажну здатність покриття) - $\mu=0,1-0,5$;
- сніжно-льодовий накат - $\mu=0,1-0,45$;
- сніг, паморозь - $\mu=0,1-0,4$;
- лід - $\mu=0,05-0,4$;
- лід, що тане - $\mu=0,03-0,15$.

У сухому і чистому стані різниця в значеннях коефіцієнта зчеплення для різних ЗПС, як правило, незначна, незалежно від типу покриття і профілю поверхні. Окрім того, значення μ практично не залежить від швидкості повітряного судна.

Проблема зчеплення з поверхнями ЗПС, на яких присутня вода, виражається, головним чином, як проблема дренажу, яка включає в себе такі критерії:

- дренаж поверхні (профіль поверхні, ухили);
- дренаж зони контакту пневматика з покриттям (макротекстура);
- дренаж зони проникнення (мікротекстура).

Дренаж поверхні ЗПС необхідний для того, щоб мінімізувати шар води на її поверхні. Для цього ЗПС повинна мати двосхилий поперечний профіль, відповідні ухили як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках, рівну поверхню.

Дренаж зони контакту пневматика з покриттям особливо важливий для забезпечення достатнього зчеплення на великих швидкостях руху літака. Макротекстуру (текстуру між окремими гранулами покриття), що визначає можливість дренажу в зоні контакту пневматика з покриттям, утворює розмір використовуваного заповнювача або обробка поверхні покриття. Формуванню макротекстури сприяє рифлення поверхні покриття, яке застосовується в багатьох країнах світу. Воно полягає в тому, що на поверхні покриттів ЗПС нарізають поперечні (іноді по напрямку результуючого ухилу) борозенки, частіше усього, квадратного перетину 6х6 мм, хоча в багатьох випадках призначалися й інші розміри - прямокутного перетину - 3х3, 6х3 (відповідно

ширина й висота), 9х9, 13х6 мм і інші, а також застосовувалися борозенки трапецеїдального й трикутного перетинів. Крок борозенок коливається здебільшого від 25 до 57 мм, хоча є випадки прийняття його рівним 102 і 153 мм. Борозенки нарізають із двома видами крайок: закругленими й гострими. Вважається, що закруглені крайки менше руйнуються, борозенки з ними більш спроможні до очищення, тому що щітки очисних машин проникають до основи, спостерігається менше зношування пневматиків повітряних суден. Однак існує думка, що закруглення крайок знижує зчіпні властивості покриттів. Як показали дослідження, після нарізки борозенок (наприклад, перетином 6х6 мм із кроком 25 мм) товщина плівки води на поверхні ЗПС при помірному дощі не перевищує 0,1 мм. При цьому коефіцієнт зчеплення коліс із покриттям становить 0,67-0,76, тоді як до влаштування рифлення він знижувався до 0,32. Збільшення кроку борозенок з 25-31мм до 73 мм не приводить до істотного зниження коефіцієнта зчеплення, а при цьому вартість рифлення зменшується на 20-25%. Тому борозенки доцільно нарізати із кроком не менш 75 мм. По даним інших досліджень (FAA США) коефіцієнт зчеплення для гладких шин (з великим зношуванням рисунку протектора) на мокрій і залитій водою ЗПС без борозенок становить 0,1-0,15. При наявності борозенок на залитій ЗПС, він збільшується до 0,25-0,48, а на мокрій - до 0,4-0,5.

Влаштування рифлення на поверхні покриттів скорочує довжину пробігу повітряних суден на вологих покриттях на 30-32% у порівнянні із гладкою (не рифленою) поверхнею й на 27% — на сухій поверхні. На вологих поверхнях без рифлення довжина пробігу збільшується на 31 % у порівнянні із сухою поверхнею, тоді як на поверхні з рифленнями тільки на 14%.

Мікротекстура (текстура окремих гранул заповнювача) є невід'ємною властивістю поверхні покриття й основною характеристикою його зчіпних якостей на невеликих швидкостях руху літака. При цьому дуже важливо вибирати такі заповнювачі, які можуть забезпечити шорстку мікротекстуру, стійку до шліфування.

Досвід літної експлуатації повітряних суден на аеродромах зі штучними покриттями, покритими ущільненим снігом і льодоутвореннями показав, що з точки зору безпеки польотів та з урахуванням рекомендацій ІКАО, оцінене зчеплення на поверхні вважається хорошим, якщо виміряний коефіцієнт зчеплення рівний 0,40 і вище, між середнім і хорошим – 0,39-0,36, середнім – 0,35-0,30, між середнім і поганим – 0,29-0,26, поганим – 0,25 і нижче. Наведені

дані не можна приймати за абсолютні величини, які застосовуються для всіх випадків. У випадку, якщо поверхня покрита снігом чи льодом, а оцінене зчеплення на поверхні ЗПС характеризується як «хороше», пілотам не слід розраховувати на такі ж хороші умови гальмування, як і на чистій, сухій ЗПС. Оцінка «хороше» - це порівняльна оцінка, яка означає, що при цих умовах пілотам буде неважко дотримуватися напрямку і гальмувати, особливо при посадці. Значення виміряного коефіцієнта зчеплення приведені в якості орієнтира. На кожному аеродромі може бути розроблена конкретна таблиця, яка відповідає використовуваному на аеродромі вимірювальному засобу [1]. Від величини коефіцієнта зчеплення залежать злітно-посадкові характеристики повітряних суден. Посадкова дистанція більшості літаків при зменшенні коефіцієнта зчеплення з 0,8 до 0,3 збільшується в 1,2-1,4 рази. Різке зменшення коефіцієнта зчеплення спостерігається при наявності на покритті води й сльоти. У цьому випадку виникає явище глісирування коліс повітряних суден. Глісирування (іноді називають гідропланування або аквапланування) — ковзання авіаколів по ЗПС без контакту з поверхнею покриття.

Правильне прогнозування дистанції гальмування є однією з умов забезпечення зльотів і посадок повітряних суден. Прогнозування дистанції гальмування здійснюється екіпажем повітряного судна на основі інформації про стан поверхні покриття, який на сьогодні оцінюється по величині коефіцієнта зчеплення. Коефіцієнт зчеплення є характеристикою процесу й умов взаємодіючих контактуючих тіл. Він не є постійним і змінюється залежно від ступеня відносного ковзання (проковзування) авіаколів, швидкості руху й інших факторів (тиску в шинах, рисунку й ступеня зношування протектора, температури нагрівання шин та ін.). Відносна величина проковзування $S = (V_k / V_{пс}) \cdot 100\%$ де V_k - швидкість руху точок поверхні авіаколеса, відносно поверхні покриття; $V_{пс}$ - швидкість руху літака. Коефіцієнт зчеплення на початковому етапі гальмування по мірі збільшення відносного ковзання авіаколів зростає й при $S = 15-25\%$ досягає максимальної величини. При подальшому гальмуванні коліс і збільшенні значень S величина коефіцієнта зчеплення починає поступово знижуватися до певних значень. З наведеної на рис.1 кривої залежності μ від S видно, що при відсутності проковзування ($S=0$) коефіцієнт зчеплення являє собою коефіцієнт опору коченню колеса μ_0 , що має досить мале значення. На початковому етапі гальмування по мірі збільшення відносного ковзання колеса, коефіцієнт зчеплення зростає,

досягаючи при певних значеннях S свого максимального значення $\mu_{\max}$. При подальшому посиленні гальмування коліс і збільшенні значень S коефіцієнт зчеплення починає поступово знижуватися й при повному блокуванні коліс ($S=100\%$) тобто при юзі, досягає свого найменшого значення $\mu_{\text{ковз.}}$ (коефіцієнт зчеплення- ковзання).

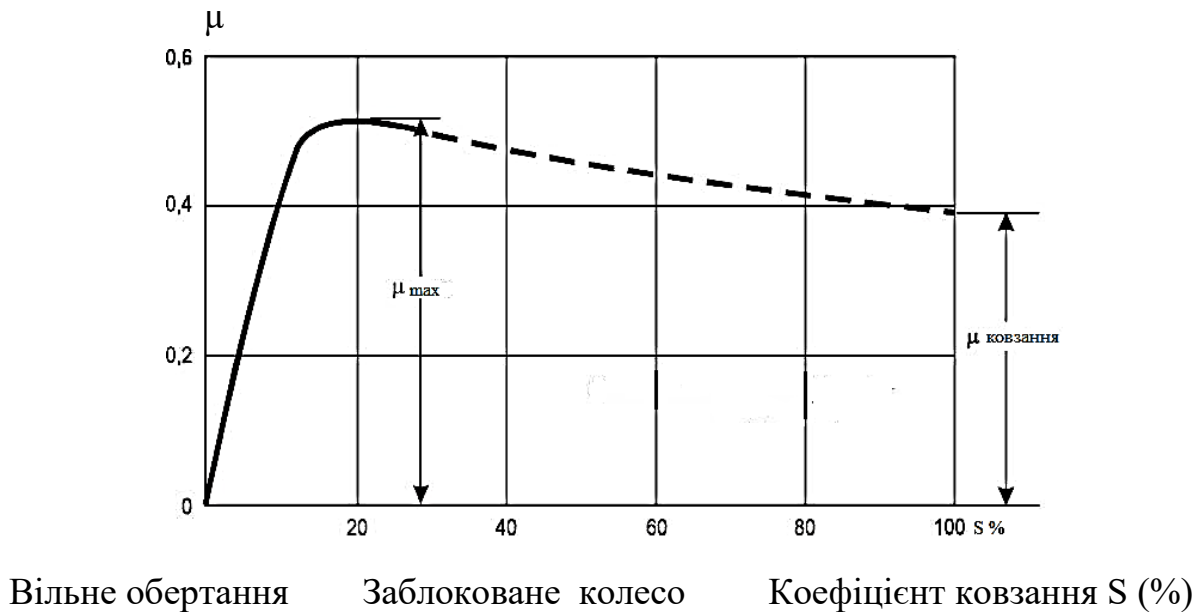


Рисунок 1 - Залежність між відсотком ковзання S і коефіцієнтом зчеплення μ на ЗПС

Розглянуті дані свідчать про небажаність використання юзу як режиму гальмування коліс літаків. По-перше, юз характеризується зниженим значенням коефіцієнта зчеплення, що погіршує умови гальмування літаків. По-друге, при юзі значно знижуються шляхова стійкість і керованість літаків при пробігу по ЗПС після приземлення. По-третє, спостерігається інтенсивне зношування шин авіаколес (при юзі гума стирається, плавиться й горить). У - четвертих, відбувається забруднення гумою кінцевих ділянок покриттів ЗПС (розігріта гума шин стирається і заповнює западини між виступами мікро і макрошорсткості поверхні покриття). З метою реалізації як можна більших значень коефіцієнта зчеплення й запобігання виникнення юзу сучасні літаки оснащені спеціальними автоматичними системами гальмування. Автомати розгальмовують колеса, як тільки відбувається затримка їх обертання, і забезпечують режим гальмування з відносним ковзанням коліс близько 15 %, при якому коефіцієнт зчеплення є найбільш високим. У цих

умовах юз може мати місце лише при розкручуванні коліс у момент приземлення літака або ж частково при несправності автоматів.

Як вже відзначалось, наявність води, сльоти приводить до різкого зниження коефіцієнта зчеплення коліс літаків з поверхнею покриття. З метою запобігання випадків виникнення глісирування коліс літаків і підвищення коефіцієнта зчеплення, необхідно насамперед вчасно і якісно проводити роботи з очищення покриттів ЗПС від опадів, а також застосування наступних заходів:

- будівництво ЗПС із максимально можливими поперечними ухилами (з метою прискорення стоку дощової води);
- влаштування асфальтобетонних покриттів з підвищеним вмістом у верхньому шарі щебеню фракцій 15-20 мм, що забезпечує одержання збільшеної висоти макрошорсткості поверхні асфальтобетону;
- застосування дренуючих покриттів з пористого асфальтобетону, здатного інтенсивно усмоктувати дощову воду (з коефіцієнтом пористості 10-15% і вище);
- нарізка на поверхні бетонних і асфальтобетонних покриттів ЗПС поперечних дренажних борозенок, призначених для прискорення відводу дощової води з поверхні покриття й підвищення коефіцієнта зчеплення.

Актуальною проблемою сучасних аеродромів є забруднення гумою поверхні злітно-посадкової смуги, особливо її кінцевих ділянок, де відбувається розкрутка коліс літака при його посадці. Процес розкручування коліс до повної кутової швидкості обертання відбувається за дуже короткий проміжок часу (0,07-0,12) сек., що супроводжується виділенням великої кількості тепла в точці приземлення, при цьому гума плавиться й горить. Гума шин, що розплавляється й стирається, поступово заповнює западини між виступами макро і мікрошорсткостей покриття й може утворювати суцільний шар гумових відкладень чорного кольору, товщина якого при інтенсивній експлуатації ЗПС може досягати 2-3мм. Забруднення гумою знижують коефіцієнт зчеплення на ЗПС: на сухих покриттях - до значень 0,45-0,55, а при наявності на поверхні покриття шару води глибиною більше 0,25 мм - до значень 0,28-0,32. Крім того, вони приводять у непридатність маркувальні знаки які наносяться на покриття.

У світовій практиці експлуатації аеродромів застосовують наступні способи видалення гумових відкладень на поверхні аеродромних покриттів: хімічний; гідродинамічний; механічний, дробоструменевий.

Хімічний спосіб передбачає обробку забруднених ділянок аеродромних покриттів відповідними складами на основі кислоти - для цементобетонних покриттів, і луги - для бітумінозних покриттів. Час протікання реакції після розподілу хімікату становить не більше години в залежності від товщини гумових відкладень. Протягом цього часу гума відстає від поверхні покриття і її змивають струменем води під тиском. Після цієї дії оброблену ділянку очищають за допомогою вакуумної підметально-прибиральної машини, яка засмоктує залишки гуми, що відшарувалися від покриття. Кількість води, яку використовують для змиву, повинна бути досить великою, щоб водний розчин хімікатів не руйнував внутрішню поверхню елементів водовідвідних споруд. При цьому повинні бути вжиті необхідні заходи по охороні довкілля.

Гідродинамічний спосіб передбачає видалення гуми струменем води під високим тиском (2500-3500МПа), який забезпечується спеціальним устаткуванням. Таке устаткування складається з ємності з водою, насоса високого тиску, що подає воду через сопла на поверхню покриття під кутом до неї. Відкладення гуми під дією водяних струменів високого тиску відділяються від покриття й видаляються за його межі. Остаточне очищення покриття проводиться вакуумними підметально-прибиральними машинами. Потрібно, однак, відзначити, що очищення покриттів від забруднень гумою водяним струменем під високим тиском є ефективним лише на слабозабруднених ділянках, зі збільшенням товщини відкладень його ефективність знижується.

Як показує практика, гідродинамічний спосіб очищення добре поєднувати з хімічним (спочатку забруднені ділянки обробляються хімікатами, а потім водяним струменем під високим тиском).

Механічний спосіб - це спосіб фрезерування поверхні покриття за допомогою спеціального механічного устаткування (фрези). При фрезеруванні видаляється шар гуми й одночасно поверхні покриття надається шорсткість. Після такої обробки покриття підметально-прибиральними машинами видаляються залишки гуми.

В практиці експлуатації аеродромів знаходить застосування також **дробоструменева** обробка поверхні ЗПС.

Технологія видалення гуми така, що металевий дріб і гума не залишаються на поверхні ЗПС, тому вона відразу ж готова до експлуатації, її не потрібно прибирати і сушити. Продуктивність дробоструменевого устаткування до 3000 м²/г.

Загальним недоліком описаних способів видалення гуми є те, що вони дозволяють покращити експлуатаційний стан покриттів лише тимчасово. Приблизно через 300-500 злітно-посадкових операцій після видалення гуми, поверхня покриття значною мірою знову забруднюється, її зчіпні якості погіршуються. У великих аеропортах видалення гуми на кінцевих ділянках необхідно здійснювати двічі на рік.

Висновки

1. Зчіпні якості аеродромних покриттів, які забезпечують шляхову стійкість і керованість повітряного судна при виконанні злітно-посадкових операцій є важливим фактором убезпечення польотів.
2. Коефіцієнт зчеплення, яким оцінюються зчіпні якості аеродромних покриттів, є результатом процесу й умов взаємодії контактуючих тіл.
3. Коефіцієнт зчеплення не є постійною величиною для конкретного аеродрому і змінюється залежно від багатьох факторів, таких як проектні рішення (профіль поверхні ЗПС, величина ухилів, склад суміші, що укладається), конструктивні (рифлення поверхні шляхом нарізання борозенок), експлуатаційні (очищення поверхні ЗПС від різних видів забруднювачів).
4. Максимальні значення коефіцієнта зчеплення досягаються при 15-20% відносному проковзуванні коліс літака, яке забезпечується конструкцією гальмівної системи шасі повітряного судна.
5. Безпека виконання злітно-посадкових операцій повітряних суден є результатом взаємодії окремих характеристик динамічної системи: пілот – повітряне судно – стан покриття.

Література

1. Руководство по аэропортовым службам (Дос.9137-АМ/898). Часть 2. Состояние поверхности покрытия. Четвертое издание. - Монреаль: ИКАО, 2002.
2. Циркуляр ИКАО 329-АН/191. Состояние поверхности ВПП: оценка, измерение и представление данных. ИКАО, 2012г.
3. Шишков А.Ф., Запорожець В.В., Билякович О.М. Аэропорт: Теория й практика зимового утримування аеродромів. -К.: Дніпро, 2006р, 196с.
4. Белинский А.А., Закревский А.И., Шинкарчук Н.В. Техническая эксплуатация аэродромов.- Киев: КМУГА, 1996.-240с.

Рецензенти

I.B. Кіяшко, канд. техн. наук, ХНАДУ (Київ)
С.Й. Солодкий, д-р техн. наук, НУ "Львівська політехніка" (Львів)

Reviewers

I.V. Kiiashko, Ph.D., KhNAHU (Kharkiv)
S.Yo. Solodkyi, Dr.Tech.Sci., "Lviv Polytechnic" (Lviv)

Кірічек Ю.О., д-р техн. наук, Балашова Ю.Б., канд. техн. наук,
Стрельченко О.О.

ПРОБЛЕМИ БУДІВНИЦТВА ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ВОДОПРОПУСКНИХ ТРУБ

Анотація. У статті на основі проведеного обстеження водопропускних труб у Дніпропетровській області запропонований найбільш раціональний варіант перетину водопропускної труби.

Близько 90% залізобетонних водопропускних труб мають круглий перетин. При багатьох безперечних перевагах, застосування водопропускних труб круглого перетину часто вимагає збільшення висоти насипу. Відсутність альтернативи по техніко-економічним характеристикам, за винятком металевих гофрованих труб, які застосовуються в деяких областях України, будівельники вимушені використовувати залізобетонні водопропускні труби кільцевого поперечного перетину. Застосування напівкільцевих водопропускних труб, які складаються з плоскої фундаментної плити і арочної оболонки, дає можливість усунути основні недоліки водопропускних труб кільцевого перетину. Дослідження водопропускних труб, встановлених на дорогах Дніпропетровської області, дозволили виявити деформації, пошкодження і дефекти залізобетонних труб, перш за все, в насипах малої висоти. За результатами досліджень встановлено, що найбільш поширені види комплексних пошкоджень водопропускних труб, які поєднують зсув і відносне осідання ланок з розвитком нерівномірності осідання дорожнього покриття.

Мета обстежень - виявлення найбільш характерних пошкоджень і дефектів водопропускних труб, а також з'ясування стану їх елементів. Необхідно було виявити причини явних пошкоджень і дефектів, а також розробити рекомендації для їх усунення і запобігання. В ході проведених робіт були обстежені водопропускні труби на автомобільних дорогах в Дніпропетровській області.

Встановлено, що водопропускні труби на автомобільних дорогах в Дніпропетровській області, знаходяться в умовах експлуатації при зростаючих транспортних навантаженнях, що передбачає необхідність більш раннього

проведення їх поточних і капітальних ремонтів зважаючи на розвиток пошкоджень і руйнувань. В Україні розроблені різні конструктивні варіанти малих водопропускних труб. Основними вимогами для них є зниження вартості виробництва, а також підвищення довговічності і експлуатаційної надійності. З'ясовано, що залізобетонні водопропускні труби кільцевого перетину є найбільш технологічно освоєним і поширеним варіантом водопропускних труб. Проте мають ряд недоліків. Виконані розрахунки показали, що при малій висоті насипу застосування водопропускних труб напівкільцевого перетину з невеликою будівельною висотою дозволяє отримати значний економічний ефект.

З'ясовано, що для забезпечення надійної експлуатації водопропускних труб необхідні впровадження прогресивних конструкцій, якісний моніторинг їх стану, аналіз експлуатаційних пошкоджень і руйнувань, а також облік реальних умов роботи при проектуванні водопропускних труб.

Ключові слова: водопропускні труби, автомобільні дороги, транспорт, штучні споруди, кільцевий і напівкільцевий переріз.

Аннотация. В статье на основании проведенного обследования водопропускных труб в Днепропетровской области предложен наиболее рациональный вариант сечения водопропускной трубы.

Около 90% железобетонных водопропускных труб имеют круглое сечение. При многих бесспорных преимуществах, применение водопропускных труб круглого сечения часто требует увеличения высоты насыпи. Отсутствие альтернативы по технико-экономическим характеристикам, за исключением металлических гофрированных труб, которые применяются в некоторых областях Украины, строители вынуждены использовать железобетонные водопропускные трубы кольцевого поперечного сечения. Разработка полукольцевых водопропускных труб, которые состоят из плоской фундаментной плиты и арочной оболочки, дала возможность устранить основные недостатки водопропускных труб кольцевого сечения. Исследования водопропускных труб, установленных на дорогах Днепропетровской области, позволили выявить деформации, повреждения и дефекты железобетонных труб, прежде всего, в насыпях малой высоты. По результатам исследований установлено, что наиболее распространены виды комплексных повреждений водопропускных труб, которые совмещают смещение и относительное

оседание звеньев с развитием неравномерности оседания дорожного покрытия. Цель проводимых обследований - выявление наиболее характерных повреждений и дефектов водопропускных труб, а также выяснение состояния их элементов. Необходимо было выявить причины явных повреждений и дефектов, а также разработать рекомендации для их устранения и предотвращения. В ходе проведенных работ были обследованы водопропускные трубы на автомобильных дорогах в Днепропетровской области.

Установлено, что водопропускные трубы на автомобильных дорогах в Днепропетровской области, находятся в условиях эксплуатации при возрастающих транспортных нагрузках, что предусматривает необходимость более раннего проведения их поточных и капитальных ремонтов ввиду ускоряющегося развития повреждений и разрушений. В Украине разработаны различные конструктивные варианты малых водопропускных труб. Основными требованиями для них являются: снижение стоимости производства, а также повышение долговечности и эксплуатационной надежности. Выяснено, что железобетонные водопропускные трубы кольцевого сечения являются наиболее технологично освоенным и распространенным вариантом водопропускных труб. Однако имеют ряд недостатков. Выполненные расчеты показали, что при малой высоте насыпи применение водопропускных труб полукольцевого сечения с небольшой строительной высотой позволяет получить значительный экономический эффект.

Выяснено, что для обеспечения надежной эксплуатации водопропускных труб необходимы: внедрение прогрессивных конструкций, качественный мониторинг их состояния, анализ эксплуатационных повреждений и разрушений, а также учет реальных условий работы при проектировании водопропускных труб.

Ключевые слова: водопропускные трубы, автомобильные дороги, транспорт, искусственные сооружения, кольцевое и полукольцевое сечение.

Annotation. On the basis of the performed investigation of culvert pipes in Dnepropetrovsk area there was offered the most rational option of section of the culvert pipe.

Approximately 90% of the reinforced concrete culvert pipes have a round section. With many indisputable advantages the application of the culvert pipes of round

section often requires the increase of height of embankment. In the absence of alternative on technique and economic descriptions, except for the metal corrugated pipes used in some areas of Ukraine, builders are forced to use the reinforced concrete culvert pipes of circular cross-section. Development of the semicircular culvert pipes, which consist of a flat base plate and an arched shell, enabled to remove the main shortcomings of the culvert pipes of circular section. Studies of the culvert pipes set on the roads of Dnepropetrovsk area, allowed exposing deformations, damages and defects of reinforced concrete pipes, foremost, in the embankments of small height. According to results of the studies it is established, that the types of complex damages of the culvert pipes, which combine displacement and relative settling of links with development of irregularity of the pavement settling, are the most widespread.

The purpose of the investigations being performed is a detection of the most characteristic defects and damages of the culvert pipes, as well as a clarification of the status of their elements. It was necessary to reveal reasons of apparent damages and defects as well as to develop guidelines of their prevention and removal. In the course of works performed there were investigated the culvert pipes on the highways of Dnepropetrovsk area.

It is established that the culvert pipes on the highways of Dnepropetrovsk area are in the conditions of exploitation with increasing traffic loads, what requires their earlier overhauls and in-line repairs due to accelerating damages and destructions. The different structural options of the small culvert pipes are developed in Ukraine. The basic requirements for them are reducing the cost of production as well as increasing the durability and operating reliability. It is found out that the reinforced concrete culvert pipes of circular section are the most technologically mastered and widespread option of the culvert pipes. However they have a lot of failings. The executed calculations revealed that with small height of embankment the application of the culvert pipes of semicircular section with small building height allows to get a considerable economic effect.

It is found out that in order to provide with reliable exploitation of the culvert pipes it is necessary the following: introduction of progressive constructions, high-quality monitoring of their state, analysis of operating damages and destructions as well as accounting the real terms of work when planning the culvert pipes.

Keywords: culvert pipes, highways, transport, artificial buildings, circular and semicircular section.

Постановка проблеми

Досить важливою є проблема підвищення експлуатаційної надійності і довговічності залізобетонних водопропускних труб. Пошкодження елементів залізобетонних водопропускних труб мають силовий (тріщини, відколи), деформаційний (нерівномірність просідання), або корозійний характер («оголена» арматура, «лущення» і розтріскування бетону) [1,7]. Основними причинами силових ушкоджень водопропускних труб, є: значне збільшення транспортних потоків; використання сучасних великовантажних машин з осьовим навантаженням, що перевищує проектне. Слід зазначити, що більшість існуючих водопропускних труб не відповідає сучасним будівельним нормам [3-6] з транспортного навантаження [1,2].

Актуальність. В умовах стрімкої глобалізації світової економічної системи, масштаб і рівень прогресивного розвитку сучасних країн визначається декількома ключовими факторами. Одним з найважливіших умов ефективного зростання в усіх галузях народного господарства є швидкісне, безперервне і безпечне транспортне сполучення.

Для України, що має площу 603,7 км², розвиток сучасної транспортної системи - стратегічне завдання модернізації країни. Однак, тенденції розвитку транспортної системи України, в основному, схожі з світовими:

- збільшення транспортних потоків і осьових навантажень;
- підвищення якості елементів транспортної мережі;
- зниження вартості будівництва та експлуатації автомобільних доріг;
- підвищення швидкості, комфортності та безпеки руху.

Штучні споруди на автомобільних дорогах є невід'ємною і найважливішою частиною транспортної системи. Найпоширеніші штучні споруди - водопропускні труби.

Частка бетонних і залізобетонних водопропускних труб складає більше 95% [2]. На будівництво бетонних та залізобетонних водопропускних труб використовується 9 ÷ 11% матеріалу від витрат на штучні споруди. Більшість водопропускних труб становлять малі водопропускні труби, з діаметром отворів $D = 0,5 \div 1,5$ м.

Аналіз публікацій. На території України в транспортному будівництві застосовується достатньо різноманітний конструктивний набір залізобетонних водопропускних труб. Залізобетонні водопропускні труби мають ряд переваг за рахунок високої технологічності, широкої номенклатури виробів, наявності

виробничих баз і можливості використання місцевих сировинних ресурсів [9,10]. Ці характеристики, що визначають вартість водопропускних труб на об'єкті будівництва, є ключовими, тому що частка транспортних витрат при будівництві автомобільних доріг досить значна і її зниження істотно впливає на вартість всього комплексу дорожніх будівельних робіт.

Конструкції залізобетонних водопропускних труб і технології їх виробництва постійно удосконалюються. Широко застосовується сталевібробетон, який дозволяє досягти значного поліпшення характеристик міцності та деформаційності залізобетонних водопропускних труб і сприйняття динамічних навантажень. Протягом останніх декількох десятиків років у нашій країні і за кордоном активно застосовуються металеві гофровані труби. Основними перевагами металевих гофрованих труб є низька потреба конструктивного матеріалу та можливість монтажу водопропускних труб без залучення підйомної техніки. Застосування металевих гофрованих труб дозволяє істотно знизити вартість і трудомісткість будівництва водопропускних труб. Однак, як показує досвід експлуатації водопропускних труб, металеві гофровані труби мають ряд істотних недоліків:

- на внутрішній поверхні водопропускних труб, в результаті переміщення по дну водотоку твердих мінералів, швидко стирається захисний шар цинку і активізується корозія;

- внаслідок значної гнучкості конструкції, зустрічаються випадки зміни форми і розмірів поперечного перерізу металевих гофрованих труб, як правило, через неякісне ущільнення ґрунту засипки, неналежну експлуатацію водопропускних труб.

Є спроби застосування водопропускних труб із синтетичних та композитних (полімербетони, склопластики, полівінілхлорид та ін.) матеріалів. Однак, дані конструкції мають дуже обмежене застосування через специфічні властивості використаних матеріалів. Незважаючи на привабливі властивості опору водопроникності та агресивному хімічному середовищу, а також значне скорочення трудових витрат при виготовленні і монтажі, конструкції з синтетичних і композиційних матеріалів під дією зовнішнього середовища мають схильність швидкого старіння і зміни фізико-механічних характеристик, або недостатню твердість. Зустрічаються випадки використання водопропускних труб з інших галузей промисловості, які були у використанні, що відпрацювали свій профільний ресурс, однак мають достатній запас

надійності для використання в автомобільному дорожньому будівництві.

Розглянемо детальніше варіанти конструкцій залізобетонних водопропускних труб [8]. Близько 90% залізобетонних водопропускних труб мають круглий переріз (рис. 1).

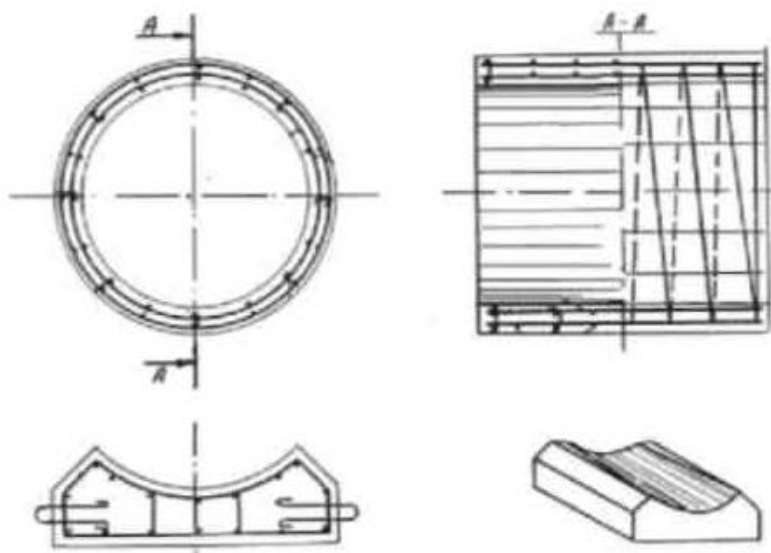


Рисунок 1 – Конструкція залізобетонної водопропускної труби круглого перерізу

При багатьох безперечних перевагах, застосування водопропускних труб круглого перерізу часто вимагає збільшення насипу. Зважаючи на відсутність альтернативи по набору техніко-економічних характеристик, за винятком металевих гофрованих труб, що застосовуються в деяких областях України, будівельники змушені використовувати залізобетонні водопропускні труби кільцевого поперечного перерізу.

Розробка напівкільцевих водопропускних труб (рис. 2) [8], які складаються з плоскої фундаментної плити і арочної оболонки, дозволила усунути основні недоліки водопропускних труб кільцевого перерізу. Менша будівельна висота водопропускних труб напівкільцевого поперечного перерізу не потребує збільшення висоти насипу. Ґрунт насипу біля водопропускних труб напівкільцевого перерізу по висоті ущільнюється рівномірно, при однаковій висоті насипу збільшується товщина засипки, що знижує нерівномірність просідання дорожнього покриття, тим самим дозволяє зменшити витрати на утримання автомобільної дороги.

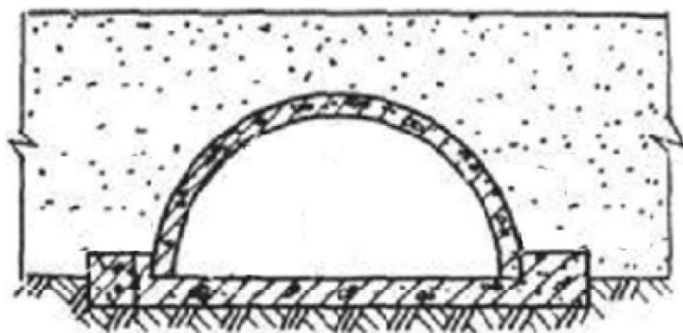


Рисунок 2 – Конструкція залізобетонної водопропускної труби напівкільцевого перерізу

Водопропускні труби напівкільцевого поперечного перерізу мають матеріаломісткість на 20% вище водопропускних труб кільцевого перерізу, який еквівалентній водопропускній площі. Конструкція водопропускних труб напівкільцевого перерізу складається з блоків трьох типів: напівкільцевої арки, оголовочної конічної арки, фундаментної плити, яка одночасно служить лотком для водотоку.

Дослідження водопропускних труб, встановлених на дорогах Дніпропетровської області, дозволили виявити пошкодження і деформації залізобетонних труб, перш за все, в насипах малої висоти ($1,5 \div 2$ м). За результатами дослідження встановлено, що найбільш широко поширені випадки комплексних ушкоджень водопропускних труб, що поєднують розсунення і відносного осідання ланок з розвитком нерівномірності осідання дорожнього покриття (рис. 3).

Осідання і розсунення ланок сприяють розкриттю стикових швів елементів водопропускних труб, активній фільтрації води в насип, вимивання ґрунту насипу і основи, що в комплексі може привести до руйнування споруди. Крім того, розкриття стикових швів і вихід ґрунту всередину водопропускної труби є однією з причин розвитку нерівномірності осідання верхніх шарів дорожнього одягу і появи явних нерівностей, що призводить до руйнування дорожнього покриття та необхідності його передчасного ремонту. Відзначено поширення випадків появи нерівностей дорожнього покриття без наявності виходу ґрунту всередину труби, що характерно для великої кількості водопропускних труб кільцевого перерізу і практично не зустрічалось при обстеженні водопропускних труб напівкільцевого перерізу.



Рисунок 3 – Результати дослідження водопропускних труб на автомобільних дорогах

Мета статті. На основі проведеного обстеження водопропускних труб у Дніпропетровській області вибрати найбільш раціональний варіант перетину водопропускної труби.

Виклад основного матеріалу

Метою проведених обстежень є виявлення найбільш характерних дефектів та пошкоджень, оцінка стану елементів водопропускних труб, виявлення причин наявних пошкоджень і розробка рекомендацій для їх запобігання та усунення.

У ході робіт були обстежені водопропускні труби встановлені на автомобільних дорогах у Дніпропетровській області. Термін експлуатації обстежених водопропускних труб кільцевого і напівкільцевого перерізів складав - від 2 років до 25 років. У більшості водопропускних труб напівкільцевого перерізу зруйновані, або мають значні пошкодження оголовки і зміщення б'єфів, що перешкоджає пропуску паводкових потоків і сприяє поширенню яружної ерозії ґрунтів водотоку і руйнування насипу автомобільної дороги. Внаслідок порушується загальний ухил по осі водопропускної труби (відхилення - до 30 см), з'являються зони застою потоку, що сприяють замулюванню водопропускного отвору і фільтрації води в насип, знижується надійність роботи водопропускної труби. Причинами розвитку деформацій водопропускних труб напівкільцевого перерізу є деформації ґрунту насипу в

перші роки після установки водопропускної труби та відсутність конструктивного рішення об'єднання ланок.

Характерними місцями ушкоджень оголовків є ділянки з мінімальним поперечним перерізом, розташовані над шелигою. Поросль чагарників на вході і виході водопропускної труби також чинять негативний вплив на роботу водопропускної труби. Причина - неналежна якість будівництва та утримання водопропускної труби. Дані ушкодження, насамперед, відносяться до водопропускних труб напівкільцевого перерізу з терміном експлуатації більше 10 років.

Поширені «розтяжки» і відносні осідання окремих ланок водопропускної труби напівкільцевого перерізу. В результаті - руйнується гідроізоляція водопропускної труби і «вимивання» ґрунту з тіла насипу та основи - це призводить до засмічення, замулювання водопропускного отвору, порушення цілісності та вологісного режиму ґрунту основи і насипу.

Є значні пошкодження залізобетонних елементів водопропускних труб: тріщини; відколи й ерозія бетону; корозія арматури; велика кількість ділянок з «відстрілом» захисного шару бетону і оголенням арматури. Тріщини в опорних плитах переважно спрямовані уздовж осі водопропускної труби і мають ширину розкриття до 10 мм. Дані пошкодження здатні призвести до дострокової втрати працездатності водопропускної труби. Причини зазначених явищ різноманітні: високі силові навантаження, дія агресивних середовищ, помилки проектування в зв'язку з недостатніми обстеженнями властивостей ґрунтів основ та низька якість виготовлення і монтажу елементів водопропускних труб.

Товщина засипки над водопропускною трубою напівкільцевого перерізу, переважно, знаходиться в межах $0,5 \div 1,5$ м - у цих умовах обстежувані водопропускні труби піддані дії інтенсивних динамічних навантажень від транспорту. При обстеженні водопропускних труб напівкільцевого перерізу не виявлено значних осідань і руйнувань дорожнього полотна, здатних вплинути на безпеку дорожнього руху.

Характер пошкоджень водопропускних труб кільцевого перерізу схожий з водопропускними трубами напівкільцевого перерізу: пошкодження оголовків, руйнування бетону, корозія арматури та розсунення і осідання ланок. Однак, зважаючи на тривалий термін експлуатації без планового та капітального ремонту, водопропускні труби кільцевого перерізу мають більше число дефектів. Відмінними ушкодженнями є:

- високий ступінь замулювання водопропускних отворів;
- неприпустиме осідання дорожнього покриття над місцем установки водопропускної труби кільцевого перерізу.

Замулюванню водопропускних труб сприяє вихід ґрунту насипу та основи через розкриті стикові шви.

Нерівномірність просідання дорожнього покриття обумовлені процесами ущільнення ґрунту насипу, зменшенням товщини стиснутого ґрунту над водопропускними трубами, яка є жорстким включенням в масив насипу та недостатнє ущільнення «пазух» нижче діаметра поперечного перерізу водопропускної труби кільцевого перерізу. Пошкодження дорожнього покриття внаслідок нерівномірності просідання негативно впливають на безпеку дорожнього руху і вимагають якнайшвидшого усунення. Крім того, виявлено багато випадків наскрізних пошкоджень елементів водопропускних труб кільцевого перерізу.

На основі результатів вибіркового обстеження водопропускних труб на автомобільних дорогах Дніпропетровської області встановлено, що стан великого числа водопропускних труб не задовольняє вимогам забезпечення надійності роботи.

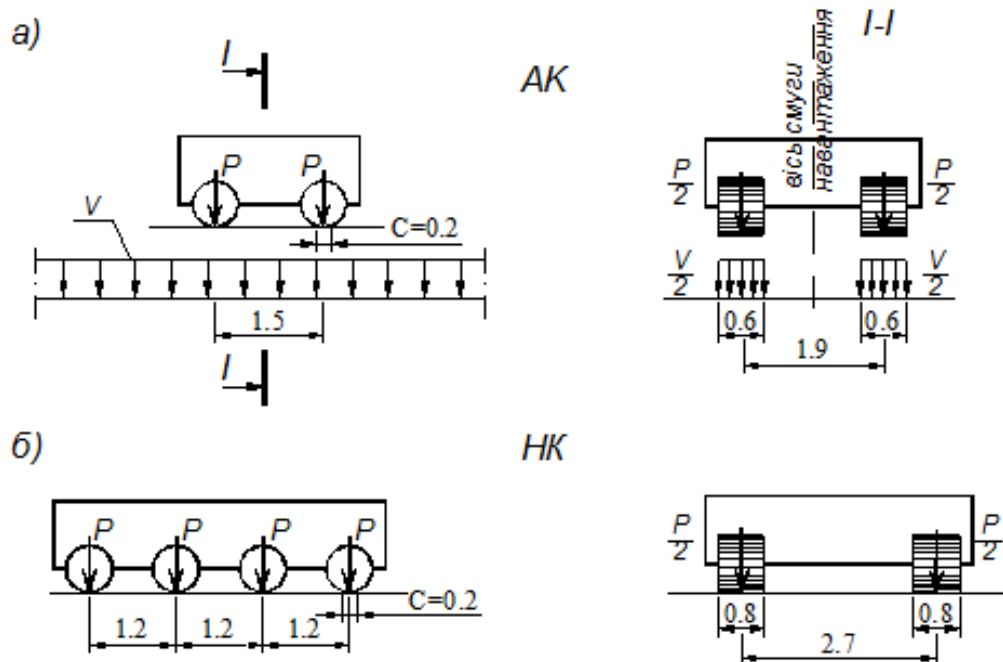
Проблеми водопропускних труб, пов'язані з силовими дефектами через збільшення транспортних потоків і осьового навантаження, деформаційними ушкодженнями у тілі насипу, що призводять до осідання, розсушення та інших деформацій споруд, тому це питання вимагає подальшого пошуку ефективних економічних і технологічних рішень.

Згідно сучасним будівельним нормам [3-6], розрахунок водопропускних труб, які встановлюються в насипах автомобільних доріг всіх категорій, необхідно виконувати на дію нормативного навантаження від транспортних засобів НК-100.

Навантаження НК-100 відповідає характеру розподілу навантаження НК-80, проте вага візка дорівнює 102,8 тс (1028 кН), замість раніше 80 тс (800 кН). Передумовою для запровадження нових нормативних навантажень є адаптація транспортних об'єктів до сучасних умов експлуатації автомобільних доріг.

В наш час збільшується парк автопоїздів, маса яких з осьовим навантаженням понад 10 т, при цьому відстань між осями помітно менше, ніж у вантажівок попередніх років. Автопоїзди часто переміщаються колонами і здатні розвивати швидкість більше 100 км/год. В наслідок цього навантаження

на автомобільні дороги, мости і водопропускні труби значно перевищують раніше враховані при проектуванні, крім того, значно зростає динамічний вплив транспорту. Схема прикладення навантажень АК та НК наведена на рис. 4 [5].



а - автомобільне навантаження АК у вигляді смуги рівномірно розподіленого навантаження інтенсивністю v і одиночного тандема з тиском на вісь P ;
б - важке одиночне навантаження НК

Рисунок 4 – Схеми нормативних навантажень

Величина максимальних навантажень на вісь і вага візка при різних класах транспортного навантаження зведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики навантажень транспортних засобів

Тип навантаження	НК-80	НК-100
Максимальне навантаження на вісь, кН	100	257
Максимальна вага візка, кН	800	1028

Залежності величин нормативних навантажень від товщини засипки визначались для водопропускних труб кільцевого та напівкільцевого перерізів, еквівалентних за площею водопропускного отвору водопропускної труби $D = 1$ м (табл. 2).

Таблиця 2 – Характеристики вертикальних постійних та тимчасових навантажень НК-100 для водопропускних труб

Висота насипу, м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0	7,0	10
Навантаження НК-100, кН/м ²	145	115	100	95	70	60	55	50	40	30	21	19
Навантаження від власної ваги насипу, кН/м ²	10	12	15	17	19	20	30	42	72	137	195	215

Аналіз отриманих даних (табл. 2) дозволив встановити, що при використанні навантаження НК-100 і висоті засипки водопропускної труби $h_{\text{насипу}} \leq 3$ м величина транспортної складової зовнішнього навантаження стає визначальною. При висоті насипу $h_{\text{насипу}} > 3$ м визначальною є навантаження від тиску вище розташованого масиву насипу автомобільної дороги.

Раціональний варіант конструктивного ряду водопропускних труб еквівалентної площі водопропускного отвору у порядку зменшення будівельної висоти для будь-яких значень розрахункових витрат водопропускних труб визначаються залежно від проектної відмітки насипу з урахуванням вартості елементів конструкції і можливих додаткових витрат у разі, якщо для забезпечення нормативних вимог по засипці необхідно збільшити висоту дорожнього насипу.

Як приклад розглянуто вибір раціонального варіанту водопропускної труби за проектною висотою насипу $H_{\text{вн}} = 1,3$ м і величиною розрахункової витрати для водопропускної труби $Q = 1$ м³/с, що відповідає гідравлічній роботі водопропускної труби кільцевого перерізу діаметром $D = 1$ м і площі водопропускного отвору $A = 0,79$ м², довжина труби $l = 15$ м.

Для водопропускної труби кільцевого перерізу:

$$\min H_{\text{вн}} = h_{\text{к}} + 0,5 = (1,0 + 0,12) + 0,5 = 1,62 \text{ м, отже, підйом відмітки насипу}$$

$$\Delta H_{\text{вн}} = \min H_{\text{вн}} - H_{\text{вн}} = 1,62 - 1,3 = 0,32 \text{ м.}$$

Для водопропускної труби напівкільцевого перерізу:

$$\min H_{\text{вн}} = h_{\text{к}} + 0,5 = (0,88 + 0,12) + 0,5 = 1,50 \text{ м,}$$

отже, підйом відмітки насипу

$$\Delta H_{\text{вн}} = \min H_{\text{вн}} - H_{\text{вн}} = 1,50 - 1,3 = 0,20 \text{ м.}$$

У зазначених умовах підйом відмітки насипу автомобільної дороги над водопропускною трубою вимагає для водопропускних труб кільцевого перерізу збільшення обсягу ґрунту насипу на 309 м³, а для водопропускних труб напівкільцевого перерізу на 191 м³. У відповідності з орієнтовним кошторисом розрахункових витрат, з урахуванням транспортних витрат і витрат на роботу техніки складуть для водопропускних труб кільцевого і напівкільцевого перерізу, відповідно, 13108 грн. і 8109 грн. У розцінках 2015 підйом насипу автомобільної дороги над водопропускною трубою на кожен 1 см збільшує вартість її пристрою на 410 грн при довжині водопропускної труби $l=15$ м.

Таким чином, при малій проектній висоті насипу застосування водопропускних труб напівкільцевого перерізу з невеликою будівельною висотою дозволяють отримати значний економічний ефект.

Висовки

1. З аналізу встановлено, що водопропускні труби встановлені на автомобільних дорогах Дніпропетровської області, знаходяться в умовах експлуатації при зростаючих транспортних навантаженнях, що передбачає необхідність більш раннього проведення їх поточних і капітальних ремонтів через прискорений розвиток пошкоджень та руйнувань.

2. Вартість водопропускних труб складає значну частку вартості будівництва та експлуатації автомобільних доріг. В Україні і за кордоном конструктивні варіанти малих водопропускних труб численні і у кожному з них закладено прагнення знизити вартість їх виробництва, підвищити експлуатаційну надійність споруд, збільшити безпеку транспортного руху.

3. Залізобетонні водопропускні труби кільцевого перерізу є найбільш поширеним і технологічно освоєним варіантом водопропускних труб, однак мають ряд недоліків.

4. Найбільш вдалим реалізованим варіантом є залізобетонні напівкільцеві водопропускні труби, що поєднують високі експлуатаційні та технологічні якості. Основним недоліком водопропускних труб напівкільцевого перерізу є висока вартість.

5. Металеві гофровані труби є альтернативою залізобетонним водопропускним трубам. Ці конструкції високотехнологічні і мають низьку вартість, однак досвід їх застосування показує, що початковий економічний ефект істотно знижується за рахунок високих витрат на їх утримання та більш

високих вимог до проектування та будівництва доріг.

Перспективи. Водопропускні труби - невід'ємна частина дорожнього господарства країни. Для забезпечення надійної експлуатації водопропускних труб необхідні впровадження прогресивних конструкцій, якісний моніторинг їх технічного стану, аналіз експлуатаційних ушкоджень, урахування при проектуванні реальних умов роботи водопропускних труб.

Література

1. Петрович В.В. Досвід експлуатаційного утримання водопропускних труб на дорозі Т-08-15 в Запорізькій області / В.В. Петрович, Т.В. Скрипник, В.Ю. Скрипник, О.С. Чечуга, М.М. Малько // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. - Київ: НТУ, 2011. - Вип. 81. - С. 160-167.
2. Чечуга О.С. Математичне моделювання процесу взаємодії круглої залізобетонної труби з ґрунтом середовища під дією зовнішнього навантаження / О.С. Чечуга, В.І. Каськів, В.В. Петрович // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. - Київ: НТУ, 2012. - Вип. 85. - С. 193-199.
3. Мости та труби. Обстеження і випробування: ДБН В.2.3-6-2002.- [чинний від 23.09.2002]. К.: Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2002. – 25 с.
4. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи: ДБН В.1.2-15:2009. - К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 22 с.
5. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування: ДБН В.2.3-22:2009. - К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 52 с.
6. Споруди транспорту. Автомобільні дороги: ДБН В.2.3-4:2007. -[чинний від 31.10.2007]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 91 с.
7. Журавлёв М. М. Дефекты малых искусственных сооружений на автомобильных дорогах / М. М. Журавлёв // Труды Союздорнии: Проектирование и строительство искусственных сооружений на автомобильных дорогах. - М., 1969. - Вып. 31. - С. 104-136.
8. Янковский, О. А. Водопропускные трубы под насыпями / Е. А. Артамонов, Г. Я. Волченков, Р. С. Клейнер, Р. Е. Подвальный, А. С. Потапов, К. Б. Щербина, О. А. Янковский, под ред. О. А. Яноковского. - М.: Транспорт, 1982. - 232 с.
9. Бойчук В.С. Сільськогосподарські дороги та майданчики : підручник / В.С. Бойчук, Ю.О. Кірічек – К.: Урожай, 2000. - 312 с.
10. Бойчук В.С. Штучні споруди на автомобільних дорогах. Підручник. / В.С. Бойчук, Ю.О. Кірічек, О.С. Сергєєв – Дніпропетровськ. - 2004. – 364 с.

Рецензенти

В.Я. Савенко, д-р техн. наук, НТУ (Київ)

В.І. Каськів, канд. техн. наук, НТУ (Київ)

Reviewers

V.Ya.Savenko, Dr.Tech.Sci., professor, NTU (Kyiv)

V.I. Kaskiv, Ph.D., NTU (Kyiv)

Кіяшко І.В., канд. техн. наук, **Мінаков О.С.**,
Новаковський Д.М., канд. техн. наук

ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФЕКТНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ШАРУ НА ЕТАПІ ТРАНСПОРТУВАННЯ

Анотація. У статті запропоновано підхід, щодо визначення відсотку дефектності асфальтобетонного шару на етапі транспортування.

Об'єкт дослідження – гаряча асфальтобетонна суміш.

Мета роботи полягає у визначенні кількісних показників дефектності асфальтобетонного шару в залежності від розподілу температури асфальтобетонної суміші в кузові автосамоскида перед її вивантаженням до приймального бункера асфальтоукладача.

Метод дослідження – статистичний аналіз теплограми поверхні асфальтобетонної суміші.

В роботі наведено методику отримання теплограми асфальтобетонного шару з високою роздільною здатністю вздовж полоси влаштування даного шару. Для подальшої кількісної оцінки дефектів асфальтобетонного шару за критерієм температури побудовано полігон розподілу та кумуляту розподілу температури асфальтобетонної суміші в шарі що укладається. Проаналізовано можливий відсоток браку асфальтобетонного шару, який укладається в залежності від мінімальної температури асфальтобетонної суміші на початку ущільнення. Аналізуючи теплограму підтверджений вплив етапу транспортування на утворення ділянок з низької температурою асфальтобетонного шару по площі укладання. Визначено подальший напрямок досліджень спрямованих на розробку рекомендацій щодо організації транспортної роботи з метою підвищення якості влаштування асфальтобетонних шарів.

Ключові слова: асфальтобетонна суміш, транспортування, розподіл температури за глибиною, інфрачервона камера, теплограма.

Аннотация. В статье предложен подход по определению процента дефектности асфальтобетонного слоя на этапе транспортирования.

Объект исследования – горячая асфальтобетонная смесь.

Цель работы заключается в определении количественных показателей дефектности асфальтобетонного слоя в зависимости от распределения температуры асфальтобетонной смеси в кузове автосамосвала перед ее выгрузкой в приемный бункер асфальтоукладчика.

Метод исследования – статистический анализ теплограммы поверхности асфальтобетонной смеси.

В работе приведена методика получения теплограммы асфальтобетонного слоя с высоким разрешением вдоль полосы устройства данного слоя. Для дальнейшей количественной оценки дефектов асфальтобетонного слоя по критерию температуры построено полигон распределения и кумуляту распределения температуры асфальтобетонной смеси в слое, который укладывается. Проанализирован возможный процент брака асфальтобетонного слоя, который укладывается, в зависимости от минимальной температуры асфальтобетонной смеси в начале уплотнения. Анализируя теплограмму подтверждено влияние этапа транспортировки на образование участков с низкой температурой асфальтобетонного слоя по площади укладки. Определено дальнейшее направление исследований направленных на разработку рекомендаций по организации транспортной работы с целью повышения качества устройства асфальтобетонных слоев.

Ключевые слова: асфальтобетонная смесь, транспортировка, распределение температуры по глубине, инфракрасная камера, теплограма.

Annotation. The approach by the definition percentage defectiveness of asphalt layer on the stage of transportation proposed in the article.

The object of study – hot asphalt mix.

The purpose of the work is to determine the quantitative indicators of defectiveness asphalt layer, depending on the temperature distribution asphalt concrete mixture in the body dump before it is unloaded to the receiving bin of the paver.

Method of research – statistical analysis of thermal profile on the asphalt concrete mix.

The article presents the procedure for obtaining of thermal profile the asphalt concrete layer with high resolution along the strip of paving layer. For further quantify the defects of asphalt concrete layer on the criterion of the temperature is represented landfill distribution and cumulate distribution of the temperature asphalt

concrete mix in the layer. The analyzed the possible percentage of defects of asphalt concrete layer, which is laying, depending on the minimum temperature of asphalt mixture in the beginning of the compaction. Analyzing the thermal profile confirmed by influence on the stage a transportation on the emergence of areas of with a low temperature of asphalt concrete layer by area of paving.

Determine the further direction of research aimed at developing on recommendations on the organization of transport work to improve the quality of the laying asphalt concrete layers.

Keywords: asphalt concrete mix, transportation, temperature distribution in depth, infrared camera, thermal profile.

Постановка проблеми

Близько 80 % доріг державного значення та 30 % доріг місцевого значення України мають покриття з асфальтобетону та відносяться до дорожніх одягів нежорсткого типу. Під час влаштування асфальтобетонних шарів потребується значна кількість гарячої асфальтобетонної суміші, яка транспортується від асфальтобетонних заводів до об'єктів її укладання, різноманітними автосамоскидами, при різній відстані перевезення. При цьому, транспортування матеріалу на об'єкт будівництва займає важливу частину будівельного процесу. Достатньо велика кількість випадків, що стосуються влаштування асфальтобетонних шарів пов'язане з транспортуванням гарячої суміші на значну відстань, яка може досягати декількох сотень кілометрів. Асфальтобетонна суміш може транспортуватися тривалий час та ще й за несприятливих кліматичних умов, низької температури повітря, наявності атмосферних опадів тощо. Дані обставини призводять до остигання суміші в кузові автосамоскида в поверхневих шарах, при цьому утворюється температурна неоднорідність асфальтобетонної суміші та після її укладання по площі покриття виникають проблемні місця у вигляді локальних недоушцілених ділянок, які характеризуються підвищеною пористістю і показником водонасичення.

Мета дослідження полягає у визначенні кількісних показників дефектності асфальтобетонних шарів в залежності від розподілу температури асфальтобетонної суміші в кузові автосамоскида перед її вивантаженням до приймального бункера асфальтоукладальника.

Основні результати дослідження

Критерієм якості транспортних робіт за результатами аналізу літературних джерел прийнято вважати середню температуру асфальтобетонної суміші в кузові автосамоскида, що доставлена на об'єкт виробництва [1,2,3]. Як вже було зазначено раніше в попередніх дослідженнях [4] середня температура в кузові автосамоскида не може характеризувати якість асфальтобетонної суміші за її температурною однорідністю в асфальтобетонному шарі, так як майже не змінюється за час її перевезення. Доцільно визначати розподіл температури асфальтобетонної суміші за глибиною в кузові автосамоскида.

Цей факт також підтверджується аналізуючи розподіли температур асфальтобетонних сумішей, що визначалися в багатьох кузовах автосамоскидів на об'єктах будівництва перед вивантаженням. Так, при виконанні ремонту ділянки автомобільної дороги Чугуїв-Мілове (Р-07) визначено розподіли температур гарячої асфальтобетонної суміші за глибиною перед вивантаженням її до приймального бункера асфальтоукладача у п'яти кузовах автосамоскидів, використовуючи термовимірювальний зонд, розроблений в ХНАДУ [5]. Отримані температурні розрізи (рис. 1), які оброблені методом статистичного аналізу та визначено інтервали зміни температури асфальтобетонної суміші в кузові автосамоскида за глибиною з довірчою ймовірністю 95% [6].

Умови перевезення асфальтобетонної суміші представлені в таблиці 1.

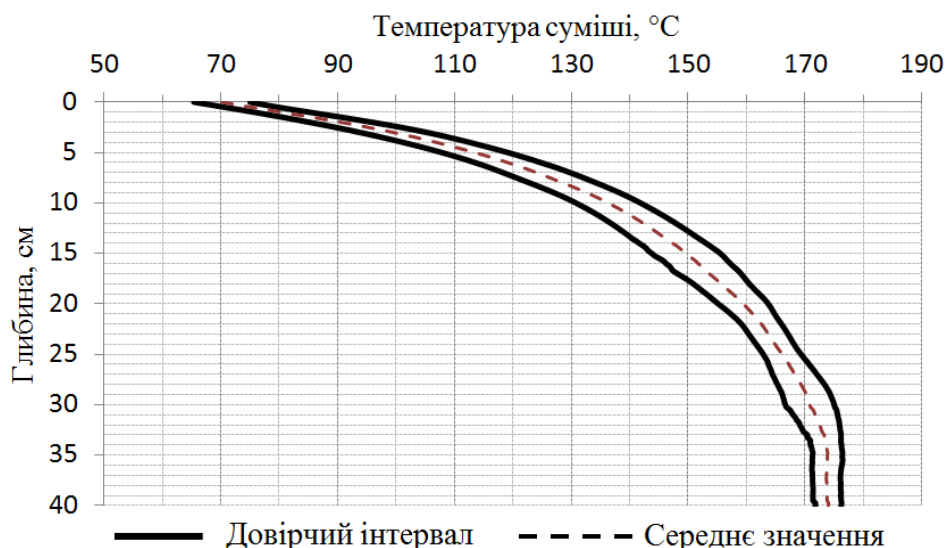


Рисунок 1 – Інтервали зміни температури асфальтобетонної суміші в кузові автосамоскида за глибиною перед вивантаженням

Аналіз розподілу температури асфальтобетонної суміші за глибиною в кузові автосамоскидів підтверджує той факт, що температурна неоднорідність суміші в шарі після її укладання пов'язана саме з етапом перевезення даної суміші.

Таблиця 1 – Умови перевезення асфальтобетонної суміші

Відстань перевезення, км	285
Маса суміші в кузові, т	40 – 42
Час перевезення та очікування в черзі, годин	5,8 – 6,5
Температура повітря, °С	+ 6
Вологість повітря, %	91
Швидкість вітру, м/с	3
Тип асфальтобетонної суміші	АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І.БНД 60/90
Температура асфальтобетонної суміші на виході зі змішувача, °С	170 – 175
Заходи, щодо збереження температури суміші	Використання тенту

Для подальшого дослідження потрібно було отримати термограму поверхні вздовж полоси влаштування асфальтобетонного шару довжиною, що відповідає об'єму асфальтобетонної суміші, яку розвантажено з одного автосамоскида для виявлення в цьому шарі місць з температурною неоднорідністю.

В якості інструмента дослідження використовувався матричний тепловізор FLIR E4 з роздільною здатністю матриці 80x60 точок, кут огляду об'єктива 45°x34°, термочутливість 0,15 °С, температурний діапазон вимірювань від -20 °С до +250 °С. Тепловізор приєднаний до фото штатива розміщувався на платформі асфальтоукладача та жорстко зафіксований у визначеному положенні (рис. 2). Висоту розміщення тепловізора відносно поверхні асфальтобетонного шару обрано 2,4 метра для зйомки половини ширини укладання. Кут нахилу вибраний таким чином, щоб ближня вісь зйомки була вертикальна. В такому положенні тепловізора отримані інфрачервоні знімки мали трапецієвидну форму поверхні з розмірами: основи трапеції відповідно 1,84 м та 2,35 м, її висота 1,7 м (рис. 2). Шаг зйомки прийнято кожні 0,5 м переміщення асфальтоукладача з метою виключення можливого впливу на температуру суміші, що укладається, ущільнюючих засобів та остигання суміші за час до наступного знімка. Відстань контролювалася за допомогою вимірювальної стрічки. Таким чином отримана серія інфрачервоних знімків протягом 53 метрів збережених у пам'яті тепловізора.

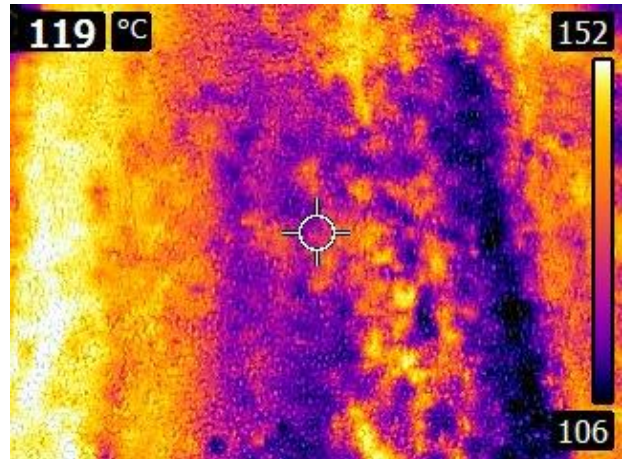


Рисунок 2 – Розташування тепловізора на платформі асфальтоукладача під час зйомки (зліва) та інфрачервоне зображення, що отримане в цьому положенні тепловізора (справа)

З використанням програмного комплексу FLIR Tools серію інфрачервоних знімків конвертовано в матриці температур та передано їх до програмного комплексу Mathlab. Подальша обробка результатів вимірювань виконувалась за допомогою спеціально розробленого програмного забезпечення. При обробці реалізовано послідовність математичних операцій з виправлення викривлень інфрачервоних знімків – перспективи, приведення до прямокутної матриці температур. Вирізається фрагмент кожної матриці розміром 0,75 x 1,84 м. Кожен наступний кадр накладається на попередній з перекриттям 0,25 м по довжині з усередненням значень температур в цій зоні. Дані операції виконуються повністю в автоматичному режимі та майже не потребують участі оператора. Результатом обробки є теплограма поверхні покриття довжиною 53 метри та шириною 1,84 м з роздільною здатністю температур 1720 точок/м² (рис. 3).

Подальша оцінка температури поверхні на етапі укладання з метою виявлення дефектних місць передбачає введення критерію оцінки в якості якого можна розглядати середню температуру поверхні в межах площі рівнозначній відбитку розрахункового навантаження. Теплограму поверхні покриття перетворену з урахуванням прийнятого критерію наведено на рисунку 3. Кожна точка наведеної теплограми відображає середньозважену температуру в межах площі відбитка розрахункового навантаження типу А₁. Отримана таким чином теплограма поверхні покриття дає можливість визначати площу ділянок з низькою температурою, та проаналізувати на якому етапі розвантаження

асфальтобетонної суміші такі місця виникають.

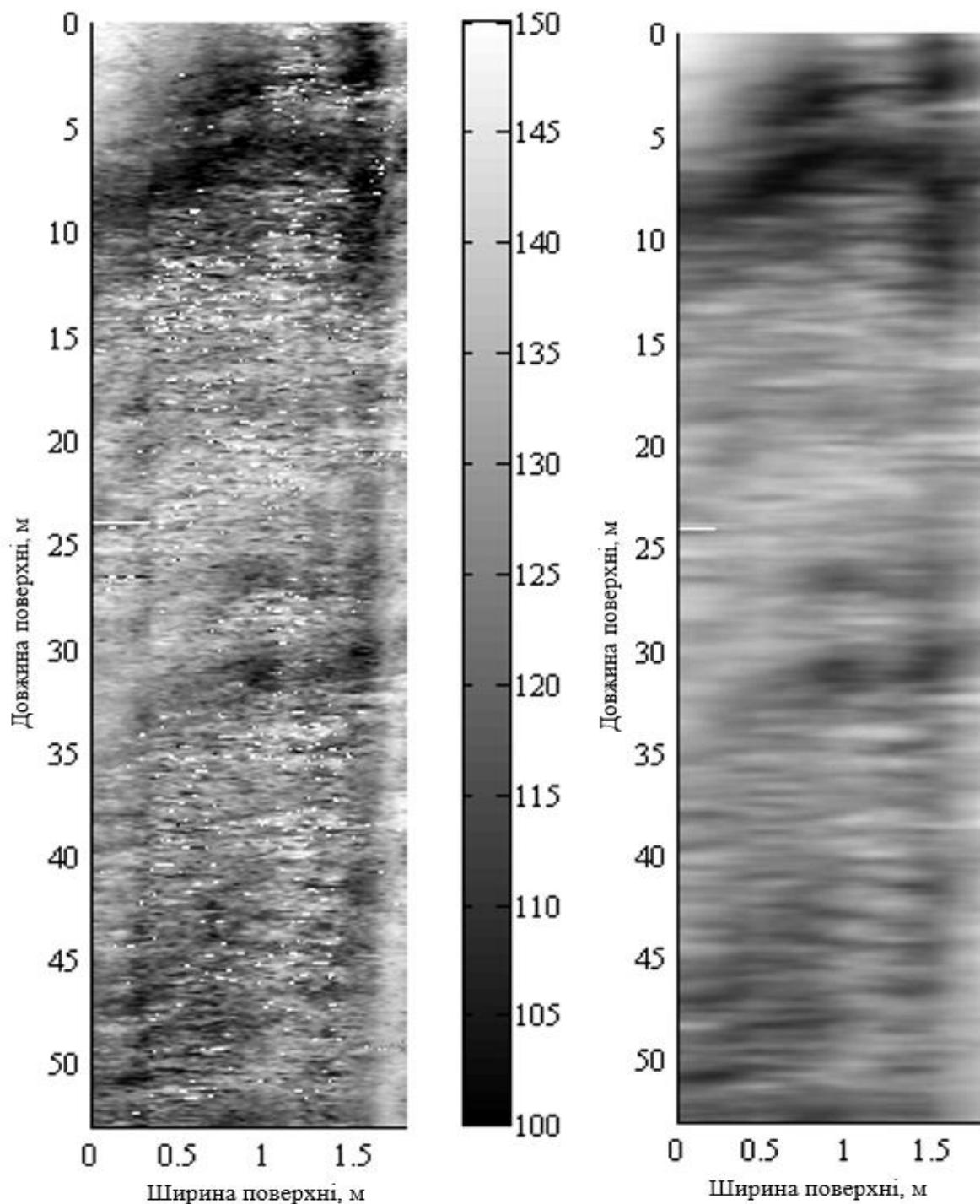


Рисунок 3 – Теплограми поверхні покриття: вихідна (зліва), фільтрована (справа)

Спостерігаючи процеси розвантаження асфальтобетонної суміші в інфрачервону камеру встановлено, що на початку та закінченні етапу розвантаження до приймального бункера асфальтоукладача потрапляє

асфальтобетонна суміш низької температури. На початку розвантаження остигла асфальтобетонна суміш від заднього борту та кутів з боковими бортами першою потрапляє до приймального бункера асфальтоукладача. На завершальній стадії розвантаження до приймального бункера потрапляє суміш від переднього борту та найменш рухлива асфальтобетонна суміш з поверхневих шарів. Таким чином, періодично при кожному циклі зміни автосамоскида, що розвантажується в шарі утворюються зони низьких температур схильних до утворення браку. Це також підтверджується розглядаючи теплограму поверхні покриття (див. рис. 3). Аналіз даних обставин дозволяє стверджувати, що дефекти асфальтобетонного шару, що укладається за причини низької температури, виникають саме від нерівномірного остигання асфальтобетонної суміші в кузові автосамоскида. Вирішувати дану проблему необхідно не етапі перевезення суміші.

Оцінку теплограми зручно виконувати, побудувавши полігон розподілу температури асфальтобетонної суміші в шарі що укладається (рис. 4), якій відображає для кожного значення температури асфальтобетонної суміші площу поверхні у відсотках. Вісь ординат наведено в логарифмічній шкалі.

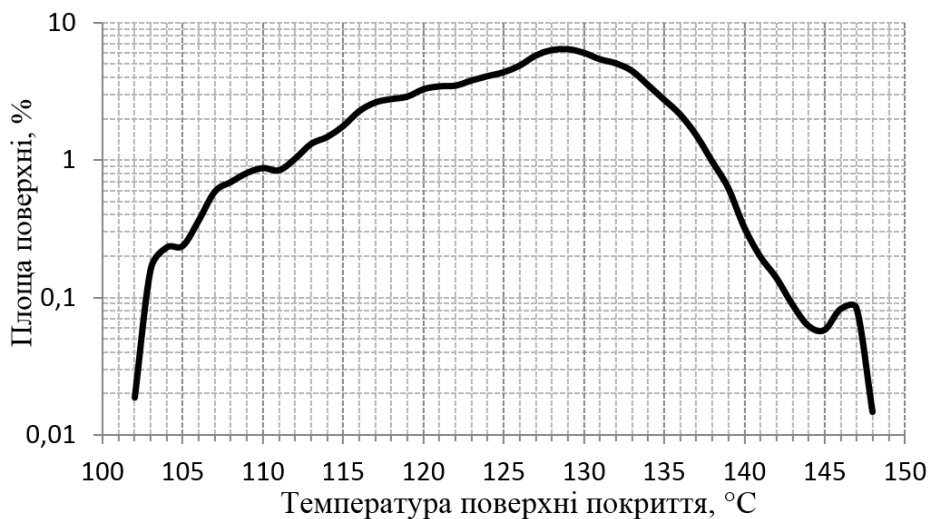


Рисунок 4 – Полігон розподілу температури асфальтобетонної суміші в асфальтобетонному шарі

Для кількісної оцінки дефектів в асфальтобетонному шарі за критерієм низької середньої температури поверхні в межах площі рівнозначній відбитку розрахункового навантаження доцільно полігон розподілу представити у вигляді кумулятиви розподілу температури асфальтобетонної суміші в

асфальтобетонному шарі (рис. 5). Вісь ординат наведено в логарифмічній шкалі. Кумулята розподілу температури дозволяє визначати площу поверхні асфальтобетонного шарі з середньою температурою менше обраної.

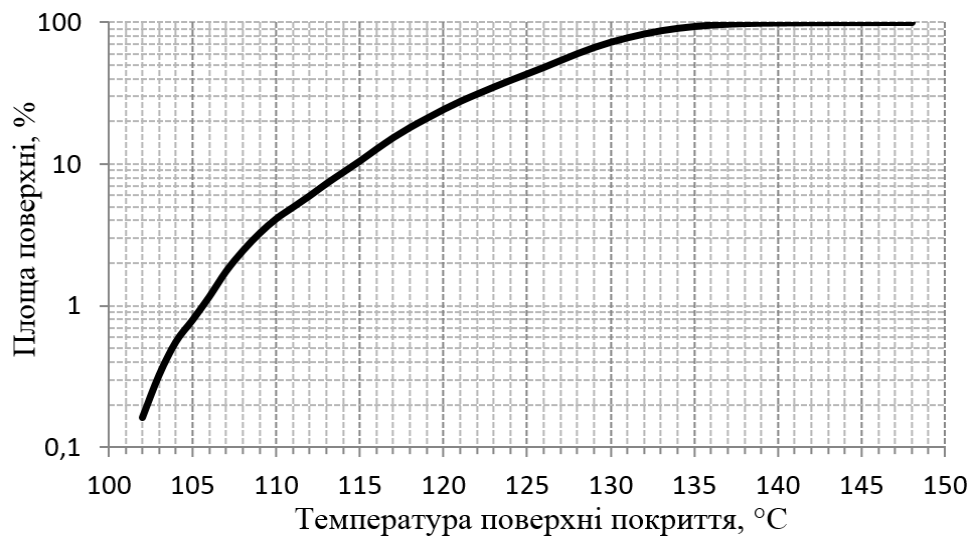


Рисунок 5 – Кумулята розподілу температури асфальтобетонної суміші в асфальтобетонному шарі

Тобто, задаючись мінімальною температурою суміші за умов можливості якісного ущільнення асфальтобетонного шару (досягнення асфальтобетоном необхідних показників міцності, щільності, пористості та водонасичення), можна визначити відсоток поверхні з браком.

Таким чином, виникає необхідність подальших досліджень з:

- розрахунку розподілу температур асфальтобетонної суміші в кузові автосамоскида на кінцевий момент транспортування перед вивантаженням до приймального бункера асфальтоукладача в залежності від кліматичних умов, типу й об'єму суміші, часу транспортування та параметрів кузова і засобів збереження температури суміші в кузові;

- визначення закономірностей між розподілом температур в кузові автосамоскида перед вивантаженням і розподілом температур в об'ємі асфальтобетонної суміші що укладається перед ущільненням;

- встановлення меж мінімальних температур асфальтобетонних сумішей різних типів на початку ущільнення;

- розробка рекомендацій, щодо організації транспортної роботи з метою підвищення якості влаштування асфальтобетонних шарів.

Це дає змогу на етапі організації транспортної роботи, маючи вихідні

дані, оцінити можливий відсоток дефектності влаштованих асфальтобетонних шарів за умов низької температури локальних ділянок нездатних до якісного ущільнення та прийняти заходи, щодо зниження температурної неоднорідності асфальтобетонної суміші на етапі перевезення.

Література

1. Р А.3.1-218-02070915-713:2007. Рекомендації з влаштування асфальтобетонних шарів покриття при низьких температурах. – К.: НТУ, 2007. – 13 с.
2. СТО НОСТРОЙ 2.25.37-2011. Устройство асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог. Часть 2. Устройство асфальтобетонных покрытий из горячего асфальтобетона. – М.: «МАДИ-плюс», 2011. – 41 с.
3. Зубко А.Ф. Технология строительства асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог / А.Ф. Зубков, В.Г. Однолько. М.: Машиностроение, 2009. – 224 с.
4. Мінаков О.С. Вплив етапу транспортування на якість шару з асфальтобетону / О.С. Мінаков // Науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». – вип. 93. – Київ: НТУ. – 2015. – С. 290-297.
5. Минаков А.С. Лабораторное моделирование остывания асфальтобетонной смеси на этапе ее перевозки к месту укладки. / А.С. Минаков // Материалы научно-практической конференции «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе». – Пермь, ПНИПИ, 2013. – Том 3 – С. 290-297.
6. Губин В.И. Статистические методы обработки экспериментальных данных / В.И. Губин, В.Н. Осташков: Учеб. пособие для студентов технических вузов. – Тюмень: Изд-во «ТюмГНГУ», 2007. – 202 с.

Рецензенти

В.В. Мозговий, д-р техн. наук, НТУ (Київ)

О.Ю. Усиченко, канд. техн. наук, НТУ (Київ)

Reviewers

V.V. Mozgovyi, Dr.Tech.Sci., NTU (Kyiv)

O.Yu. Usychenko, Ph.D., NTU (Kyiv)

ТЕХНІЧНА ЕКСПЕРТИЗА ТА ОЦІНКА МАЙНА

УДК 625.7/.8: 332.6

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ МЕТОДИЧНИХ ПІДХОДІВ ДО ВАРТІСНОЇ ОЦІНКИ СПОРУД ТРАНСПОРТНОГО БУДІВНИЦТВА У СУЧАСНИХ УМОВАХ

Славінська О.С., д-р техн. наук, Харченко А.М., канд. техн. наук

Анотація. У статті наведено основні методичні підходи до вартісної оцінки споруд транспортного будівництва під час здійснення проектів державно-приватного партнерства та визначено основні проблеми та перспективи зазначених підходів.

Об'єкт дослідження – об'єкти транспортного будівництва, які підлягають оцінці в рамках реалізації проектів ДПП.

Метою статті є дослідження підходів до оцінки споруд транспортного будівництва у сучасних умовах.

В статті зазначена важливість визначення справедливої вартості об'єктів транспортного будівництва при здійсненні проектів державно-приватного партнерства. Визначено два основні напрямки проведення оцінки будівельних об'єктів, вказано їх недоліки та переваги та окреслено перспективи досліджень в цьому напрямку.

Ключові слова: вартісна оцінка, справедлива вартість, державно-приватне партнерство, об'єкти транспортного будівництва

Аннотация. В статье приведены основные методические подходы к стоимостной оценке сооружений транспортного строительства при осуществлении проектов государственно-частного партнерства и определены основные проблемы и перспективы указанных подходов.

Объект исследования - объекты транспортного строительства, подлежащих оценке в рамках реализации проектов ГЧП.

Целью статьи является исследование подходов к оценке сооружений транспортного строительства в современных условиях.

В статье отмечена важность определения справедливой стоимости объектов транспортного строительства при осуществлении проектов государственно-частного партнерства. Определены два основных направления проведения оценки строительных объектов, указано их недостатки и преимущества и намечены перспективы исследований в этом направлении.

Ключевые слова: стоимостная оценка, справедливая стоимость, государственно-частное партнерство, объекты транспортного строительства

Annotation. In the article the basic methodological approaches to valuation of construction transport construction projects in the public-private partnership and the main problems and prospects of these approaches.

Object of study - construction of transport to be assessed in the framework of PPP projects.

The article is to study approaches to the assessment of transport construction facilities in the modern world.

The statute stated the importance of determining the fair value of transport construction in the implementation of public-private partnerships. Defined two main areas of assessment of construction projects, showing their advantages and disadvantages and outlines the prospects of research in this area.

Key words: valuation, the fair value, public-private partnership, the objects of transport construction.

Постановка проблеми

Розвитку оціночної діяльності в Україні сприяє не тільки початок малої приватизації, законодавчі основи якої вимагають оцінки будівель, споруд, майна державних підприємств, незавершених об'єктів. Надалі, в зв'язку з залученням приватного капіталу, зокрема, в галузь транспортного будівництва, з'явилася реальна потреба в експертній оцінці об'єктів інфраструктури.

У багатьох країнах, за винятком тих, економіка яких повністю контролюється державою, вже довгий час практикується участь представників приватного сектору у проектуванні, будівництві, обслуговуванні або експлуатації доріг. Традиційні процедури закупівель, широко застосовуються державними організаціями в усьому світі, мають на увазі аутсорсинг робіт і

послуг за індивідуальними контрактами. В Україні, як країні з низьким рівнем доходів, поширюється тенденція політики про притягнення приватного сектора до участі в практичній роботі та фінансуванні проектів розвитку в галузі автомобільних доріг [1].

Державно-приватне партнерство (ДПП) пропонує альтернативну модель партнерських відносин між державним і приватним секторами, при якій приватна фірма надає глобальну послугу з достатнім рівнем автономії і стимулів для забезпечення зростання продуктивності з вигодою для всіх сторін і, зокрема, користувачів доріг. Правильний вибір приватного партнера вимагає зондування ринку та проведення процедури закупівель на основі конкурентних торгів.

Конкурентні торги - це єдиний спосіб захисту громадських інтересів, який дозволяє зменшити ризик корупції і зловживання домінуючим становищем з боку приватної компанії. Контракт між сторонами забезпечує об'єктивність і справедливість партнерських відносин. При цьому стає необхідним проведення експертизи та експертної оцінки ділянок автомобільних доріг, мостових переходів, тунелів та інших об'єктів транспортного будівництва; дослідження якості будівельних матеріалів, конструкцій; вивчення дозвільної документації щодо відведення земель і визначення порядку користування земельними ділянками; виконання оцінки земельних ділянок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблемам впровадження контрактів ДПП присвячені роботи таких учених як Hunter E., Holmes S., Rowan K., Варнавського В.Г., Грищенко С.І., Черевикова Є.Л., Бондар Н.М., Березовського М.В., Андрєєва С.І. та ін.

Проведений аналіз досліджень показав, що питанню експертної оцінки нерухомого майна державних організацій, які приймають участь в реалізації контрактів на умовах державно-приватного партнерства, приділена недостатня увага дослідників.

Метою статті є дослідження підходів до оцінки споруд транспортного будівництва у сучасних умовах.

Виклад основного матеріалу

На даний час в світі існує достатня кількість моделей та форм партнерств ДПП. За визначенням Світового банку їх класифікують залежно від ступеня участі приватного сектора в реалізації проекту на чотири базові групи (табл.1) [2, 3].

Таблиця 1 – Класифікація проектів на умовах ДПП за Світовим банком

№ п. п.	Назва групи проектів	Міжнародна назва	Характеристика
1	Контракти на управління та лізинг	Management and Lease Contracts	Приватний партнер здійснює управління проектом на умовах договору, а об'єкт управління перебуває в державній власності. Право приймати рішення про інвестиції залишається у державного партнера.
2	Концесія	Concession	Приватний партнер здійснює управління проектом на умовах договору. При цьому створене або передане в управління майно є предметом державної власності. Держава має право отримувати прибуток від переданого в управління об'єкта у вигляді концесійних платежів.
3	Проекти зеленого поля	Greenfield projects	Приватний партнер самостійно або спільно з державою будує об'єкт та здійснює управління ним на строк, вказаний у договорі про партнерство.
4	Продаж активів	Divestitures	Приватний партнер стає співвласником державного майна через купівлю частки або акцій державного партнера, або через програми приватизації.

При цьому проект вважається ДПП, якщо участь приватного партнера у його реалізації становить не менше 25 %, а проект продажу активів – якщо хоча б 5 % акцій належать приватним власникам.

За даними Світового банку в галузі інфраструктури будівництво автомобільних доріг за умовами ДПП контрактів займає перше місце за кількістю реалізованих проектів (станом на 2014 рік – біля 650 об'єктів) [2].

Відповідно до Керівництва Всесвітнього Банку по проведенню тендерів та згідно чинного законодавства України [4, 5] перед оголошенням про проведення тендеру з вибору підрядника, служба автомобільних доріг повинна забезпечити інвентаризацію і збір даних з метою: ретельного визначення стану дорожньої інфраструктури, яка передається приватному інвестору на умовах контракту ДПП, та виконання її вартісної оцінки; визначення показників якості виконуваних робіт для зазначення їх у контракті; попередньої оцінки витрат; розробки механізму моніторингу тощо.

Для проектів ДПП в транспортному будівництві використовуються два принципових варіанти оплати:

1. Справляння плати з користувачів доріг, традиційно в рамках концесійної моделі, яка характеризується прямим зв'язком між приватним партнером і кінцевим користувачем (приватний партнер надає послугу суспільству, «замість», хоч і під контролем, державного партнера).

2. Оплата за експлуатаційну готовність, при якій приватний партнер забезпечує саму інфраструктуру і управління нею замість державного органу (у цій моделі винагорода приватного партнера приймає форму не сплати за виконані роботи чи надані послуги, а регулярних платежів здійснюваних державним партнером на підставі рівня наданих послуг).

Нажаль, слід констатувати, що практичне застосування ДПП в дорожній галузі поки що не набуло достатнього розвитку в Україні. Прикладів успішних інвестиційних проектів на принципах ДПП досі немає. Проте потенційні можливості для запровадження цих проектів у сфері автомобільних доріг, на думку експертів, є значними [6].

До основних гальмівних причин щодо впровадження проектів ДПП відносять [6, 7]:

1. Недосконалість законодавчої бази для повноцінної реалізації ДПП в Україні.

2. Відсутність системи гарантування інвестицій приватного сектора, вкладених в об'єкти державної власності (держава не гарантує необхідне завантаження концесійних доріг для покриття платою за проїзд вартості будівництва та/або експлуатаційного утримання; інші моделі відшкодування повної чи часткової вартості концесіонеру не опрацьовуються).

3. Проблема короткостроковості державного бюджетування (не працюють норми довгострокового фінансування проектів, це пов'язано з щорічним затвердженням бюджету та корегуванням бюджетних програм).

4. Недосконалість методичних підходів до вартісної оцінки дорожніх активів, які знаходяться на балансі державних підприємств (відсутня методика експертної грошової оцінки об'єктів транспортного будівництва; оцінювання відбувається за методикою оцінки державного майна на загальних підставах, не враховуючи специфічні особливості дорожньої галузі; використовуються застарілі укрупнені показники відновної вартості, які розроблені за радянських часів, що корегуються на коефіцієнти перерахунку вартості в теперішніх цінах).

5. Відсутність практики залучення думки суспільства до реалізації інфраструктурних проектів (суспільна думка може бути рушійною силою до

удосконалення та підвищення ефективності проектів ДПП, так як кінцевою метою реалізації цих проектів є задоволення споживачів).

Окремо слід зупинитися на вартісній оцінці об'єктів транспортного будівництва, що є обов'язковою під час виконання контрактів ДПП, згідно з [8], та здійснюється з залученням тільки професійних оцінювачів. Така оцінка виконується з метою надання інформації про реальну вартість об'єктів транспортного будівництва з урахуванням їх зносу, як фізичного, так і функціонального. На законодавчому рівні існують два основні підходи організації процесу оцінки необоротних активів: переоцінка та індексація. З точки зору оцінки переоцінка та індексація вартості об'єктів реалізують витратний підхід.

За своєю економічною суттю переоцінка – це приведення балансової (облікової) вартості об'єктів транспортного будівництва у відповідність до їх реальної (справедливої) вартості. Справедлива вартість для елементів інфраструктури – це відновлювальна вартість (сучасна собівартість будівництва за кошторисом) за мінусом суми зносу на дату оцінки.

Згідно з п. 17 П(С)БО 7 [9] необхідно визначити індекс переоцінки, який визначається за формулою 1.

$$I_{\Pi} = \frac{C_{спр}}{C_{залиш}}, \quad (1)$$

де $C_{спр}$ - справедлива вартість об'єкта, який переоцінюється;

$C_{залиш}$ - залишкова вартість об'єкта.

При цьому переоцінку проводять або дооцінюючи, або уцінюючи первісну вартість об'єкта та суму його зносу.

Первісна вартість об'єкта переоцінюється за формулою 2:

$$C_O = C_{перв} \times I_{\Pi}, \quad (2)$$

де C_O – переоцінена вартість об'єкта;

$C_{перв}$ – первісна вартість об'єкта;

I_{Π} – індекс переоцінки.

За цим же принципом переоцінюють і знос об'єкта. Після проведення переоцінки залишкова вартість споруди транспортного будівництва повинна дорівнювати її справедливій вартості.

Крім того, первісну (переоцінену) вартість об'єкта можна збільшити на суму індексації. При цьому за основу визначення переоціненої первісної вартості беруться укрупнені показники відновної вартості транспортних споруд [10]:

$$C_O = C_{УПВВ} \times \prod_{j=1}^{j=n} I_j, \quad (1)$$

де C_O – переоцінена вартість об'єкта;

$C_{УПВВ}$ – вартість об'єкта, визначена за відповідним збірником укрупнених показників відновної вартості;

I – індекс зміни вартості;

j – кількість застосовуваних індексів за методикою Фонду державного майна, яка залежить від дати переоцінки (визначається від 1 до n).

На жаль, такий підхід не завжди відображає справедливу вартість об'єкта, адже передбачає проведення індексації, використовуючи індекс зміни ринкової вартості, який базується на рівні інфляції, а укрупнені показники відновної вартості об'єктів були розроблені ще за радянських часів, тому не враховують сучасні новації та технології в галузі транспортного будівництва. Отже, фактичну вартість об'єктів, які залучені в проекти ДПП на даному етапі достовірніше визначати шляхом проведення їх переоцінки.

Висновки

Передумовою реалізації успішних проектів ДПП в дорожньому господарстві є не тільки якісна законодавча база, але і наявність нормативно-методичних основ експертної оцінки нерухомого майна державних організацій, які приймають участь в реалізації контрактів ДПП. Також необхідно передбачити прискорену процедуру оформлення прав користування земельними ділянками та будинками, переданими приватному партнеру на умовах контракту, незважаючи на їх форму власності (державну або комунальну). Ці проблеми потребують негайного вирішення у зв'язку з прийняттям державою курсу орієнтації на державно-приватне партнерство в Концепції Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування [1], що буде враховано авторами статті в подальших наукових дослідженнях в цьому напрямку.

Література

1. Про схвалення Концепції Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування на 2013-2018 роки: Розпорядження. №719 – Офіційне видіння. - [чинний з 12.06.13] – Київ: КМУ. – 2013.
2. The World Bank (база даних Світового банку) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.worldbank.org/>
3. Варнавский В.Г. Партнерства государства и частного сектора: формы, проекты, риски/ В.Г.Варнавский; Ин-т мировой экономики и междунар. отношений. – М.: Наука, 2005. – 315с.
4. Про концесії на будівництво та експлуатацію автомобільних доріг: Закон України № 1286-XIV – Офіційне видіння. - [чинний з 14.12.1999] - Київ: Верховна Рада України. – 1999.
5. Про державно-приватне партнерство: Закон України № 2404-VI – Офіційне видіння. - [чинний з 01.07.2010] - Київ: Верховна Рада України. – 2010.
6. Володимир Демішкан: Перспективи дорожнього будівництва із застосуванням механізмів державно-приватного партнерства [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://investukr.com.ua/get-news/485/>
7. Підготовка та реалізація проектів публічно-приватного партнерства: Практичний посібник для органів місцевої влади та бізнесу /С. Грищенко – К., ФОП Москаленко О.М., 2011. – 140 с.
8. Про оцінку майна, майнових прав та професійну оціночну діяльність в Україні: Закон України №2658-III. – Офіційне видіння. - [чинний з 12.07.01] – Київ: ВРУ, 2001.
9. Положення (стандарт) бухгалтерського обліку 7 «Основні засоби»: Наказ №92 – Офіційне видіння. - [чинний з 27.04.2000] – Київ: Мінфін України, 2000.
- 10.Щодо застосування індексів зміни ринкової вартості будівельно-монтажних робіт, продукції промислового виробництва під час проведення оцінки нерухомого майна: Лист-роз'яснення ФДМУ № 10-36-9470 – Офіційне видіння. - [чинний з 19 липня 2010 р.] - Київ: ФДМУ. – 2010.

Рецензенти

В.Я. Савенко, д-р техн. наук, НТУ (Київ)

А.О. Безуглий, канд. економ. наук, заступник директора ДП “ДерждорНДІ” з наукової роботи (Київ)

Reviewers

V.Ya. Savenko, Dr.Tech.Sci., NTU (Kyiv)

A.O.Bezuhlyi, Ph.D., Deputy Director of “DerzhdorNDI” for Research (Kyiv)

UDC 656.338.12

Osiaiev Yu.M., PhD in Technical Sciences

TYPES AND MODELS OF PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP IN THE ROAD SECTOR

Relevance of the topic. In Ukraine the urgent problem of the country's public road system development is the implementation of the projects on reconstruction and repair of roads and transport infrastructure facilities located on them, which in its turn requires significant resources both financial and logistical at all stages of these projects from their implementation to operation.

But the implementation of the projects on country's transport network development requires the fundraising of significant amounts of various resources, including production facilities, qualified personnel. The existing in the country production capacity and possibilities of Public sector of public road system management do not meet these requirements, requiring implementation of various forms and methods of fundraising. One of these methods of fundraising is the use of various forms of public-private partnership.

In the process of justification of cooperation models and determination of the best forms of resources use in the process of joint activity a considerable attention shall be paid to the study of situations of risks occurrence for the partners such as industrial, commercial and financial, as well as the creation of situational models to minimize their impact on the project execution.

The objectives hereof are to study the main types and models of public-private partnerships in road construction, the results of their implementation, obstacles and conditions for development in Ukraine.

Analysis of recent researches and publications. Such domestic scholars as V.M. Vakulenko, Ie.O. Fyshko, O.V. Berdanova, I.O. Fediv paid a considerable attention to the problems and prospects of public-private partnership establishment. Such foreign scientists as V.H. Varnavskiy, V.N. Mochalnykov, L.I. Iefimova, V.A.

Mykhieiev, V.Ie. Manzhykova, L. Otul, V. Rebok, V.I. Iakunin investigated the public-private partnership. Also the problem has been covered in numerous legislative acts, policy papers and analytical reports of the OECD, European Commission and others.

The main material of the research. As a result of implementation of the public-private partnership (PPP) the public road system meets the consumers' needs for quality and safe roads, thus it receives its own economic benefit, through the contract performance.

Contract within PPP has the following advantages:

- savings of financial resources (creation of impetus for the private sector to implement innovative approaches and improve labour productivity, reduce of administrative costs and overheads in connection with the development of the improved package of contracts and fewer personnel for their monitoring and maintenance);

- high probability of costs immutability (risk of funds overspending for the performed work is transferred to the contractor and the road administration rarely faces the unpredictable costs);

- possibility to maintain the road infrastructure with relatively fewer personnel;

- users' great satisfaction with the high quality of roads and road conditions (users' needs are reflected in terms of qualitative indicators of performed work that are specified in the contract, and contractor's honorarium depends on how it fulfilled or exceeded these indicators);

- long-term stable funding, aimed at roads maintenance.

The public road system can expect from the projects implementation under the PPP terms:

- integration of roads Ukraine to the European transport network;

- improvement of indicators of transport and operation condition of roads;

- attraction of alternative sources of funding;

- additional government revenue due to the implementation of transit potential of Ukraine.

Slowdown of the public-private partnership development in the road sector of Ukraine takes place because of the following reasons:

- low level of institutional capacity of public authorities and private sector in the implementation of public-private partnerships;

- low level of awareness of private sector about the benefits of investment projects implementation based on public-private partnership;
- noncompliance and imperfection of the regulatory and legal framework for public-private partnerships;
- lack of government support for the PPP and imperfect system of such partnership development management;
- existence of industry characteristics and complexity of the conditions of long-term and mutually beneficial cooperation between the state and private partners.

There is a purely private sector in the left extreme point of the continuum and there is a purely Public sector in the right extreme point. The main PPP models of the public road system are between these two extreme points.

Types of assets, the management of which is entrusted to a private company under the PPP contracts, usually include:

- Roads (surface, roadside);
- Structures (bridges, sustaining walls, tunnels);
- Road electrical system (lighting, digital displays, traffic lights, television surveillance system);
- General arrangements (fences, noise reduction walls);
- Safety elements (fencing, markings, signs, shock absorbers);
- Drainage (trenches, culverts).

Under the legal basis the PPP forms can be classified as:

- Service contracts;
- Rent and temporary transfer of rights;
- Concession agreement;
- Equity participation of private capital in public enterprises (joint ventures).

The analysis of the PPP effectiveness in the road sector is reasonable to perform under the Procedure approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine dated April 11, 2011 No. 384, Order of the Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine dated February 27, 2012 No. 255 and following these guidelines.

To make a decision on the PPP implementation advisability they shall be checked for compliance with the following conditions:

- the possibility of achieving the goal of the project in the PPP implementation process;
- the lack of legal restrictions that prohibit or complicate essentially the PPP implementation;

- the PPP implementation will be acceptable regardless of whether the financial result (NPV, IRR indicators) will be positive for the public partner, if in its result the socio-economic impact is positive or, on the other hand, the financial result (indicators of NPV, IRR) is acceptable for a private partner;

- the optimal allocation of risks between public and private partners is established in the PPP implementation;

Advanced models of the PPP contracts for the road sector can be:

1. Management contract.
2. Lease contract.
3. Concession.
4. Build, Operate, Transfer (BOT).
5. Joint Ventures.

Table 1 - Key elements of various schemes of the public-private partnerships

		Outsourci ng	DFI	Concessi on	Lease	Build, Operate, Transfer
Operatio ns	Maintenance	X	X	X	X	X
Funding	Capital investments on account of the private sector		X	X		X
	It's paid for by the user charges			X	X	
	It's paid for under the contact with state authorities	X	X			X
Creation	Assets creation by the private company		X	X		X
Property	State prior and upon the contact conclusion	X	X	X	X	
	Private at the contract conclusion, state upon the contact completion			X		X

Tasks that can be achieved by each type of partnership are formed in the scheme (Figure 1).

Objective	Service	Management	Leasing	BOT/ROT	Concession	Privatization
Effectiveness improvement	Y	Y	Y	YYY	YYY	YYY
Commercial risk transference	X	X	X	YYY	YYY	YYY
Services quality improvement	Y	Y	YYY	YYY	YYY	YYY
Control over the services provision	YYY	YYY	Y	X	Y	X

Figure 1 - Tasks that can be achieved by every kind of partnership *

* Note: YYY strong; Y low; X - not presented.

The Management contract provides that authorities for the network, road and its elements management can be delegated to a private investor. Although the ultimate obligation regarding the services provision in the Public sector, daily control over management and power are transferred to a private partner or contractor. In most cases, the private partner provides a floating capital but it doesn't have funding for investment [7].

Figure 2 The typical structure of a management contract is shown below.

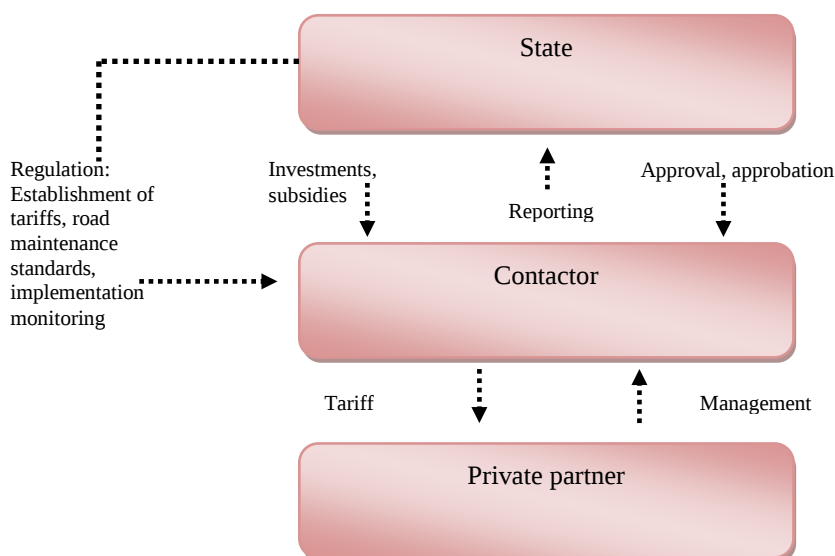


Figure 2 - A typical structure of a management contract

The contract may include specific measures which will be funded by the private sector.

Under the **lease agreement**, the private partner is responsible for services in full and undertakes obligations related to standards of quality and service. The duration of the lease contract is usually 10 years and may be renewed for up to 20 years. The responsibility for the service provision is transferred from the public sector to the private sector and the financial risks of the operation and technical maintenance are covered at the expense of the private sector. A typical structure of the lease contract is showed on Figure 3.

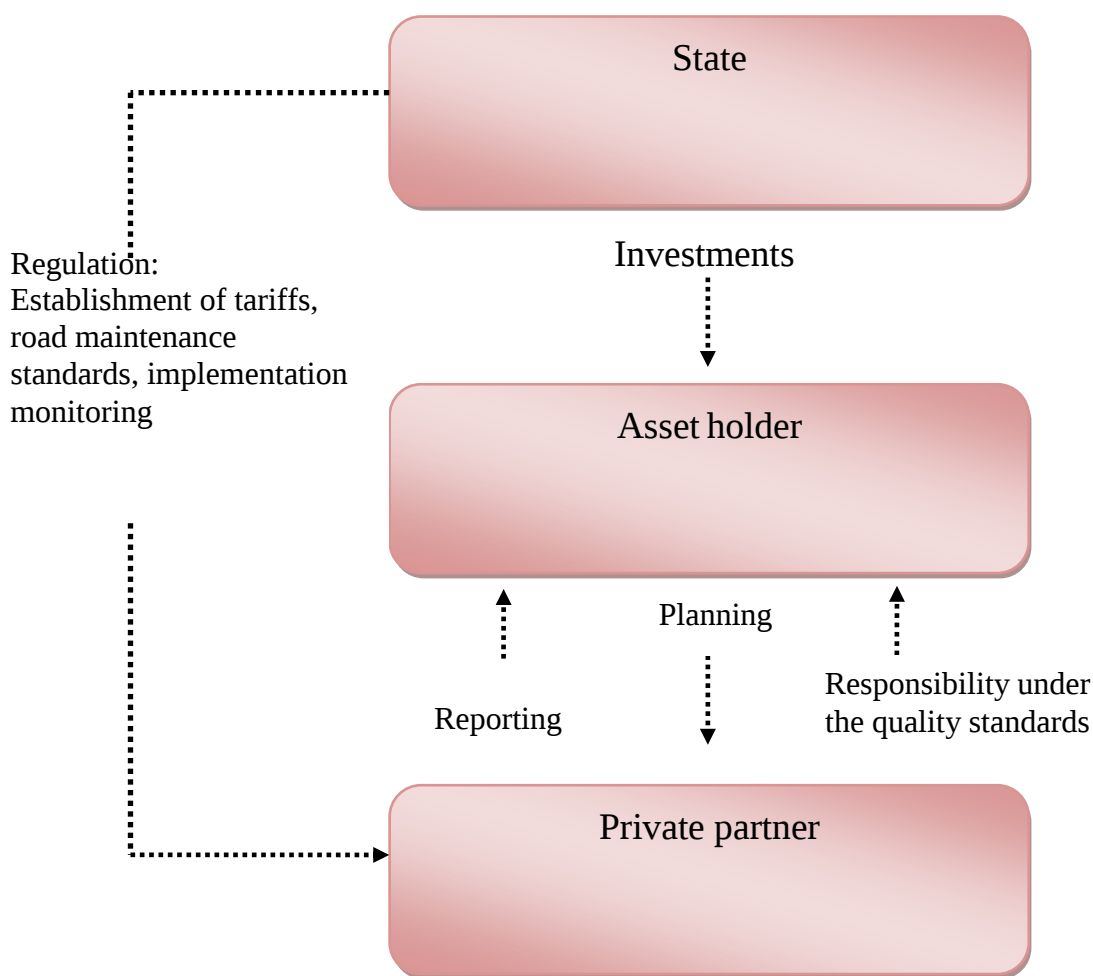


Figure 3 - A typical structure of the lease contact

Necessary conditions for the successful PPP implementation in the road sector are shown in Table 2.

Table 2 – Necessary conditions for the successful PPP

	Support of the interested parties and political will	Tariffs at the level of the profitability	Information on the system	The degree of development of the regular basis	The high financial rating of the country
Service contact	Unimportant	Unnecessary in the short term	Possible in case of limited information	Minimum monitoring	Unimportant
Management contact	Level from low to medium	Desirable but not essential in the short term	Possible in case of limited information	Minimum monitoring	Unimportant
Leasing	Level from medium to high	Necessary	Necessary reliable information on the system	Necessary high capacity for management and coordination	Unimportant
BOT	Level from medium to high	Desirable	Necessary reliable information on the system	Necessary high capacity for management and coordination	Higher rating will reduce expenses
Concession	High level	Necessary	Necessary reliable information on the system	Necessary high capacity for management and coordination	Higher rating will reduce expenses
Privatization	High level	Necessary	Necessary reliable information on the system	Necessary strong ability for regulation	Higher rating will reduce expenses

The concession makes the private sector representative (concessionaire) responsible for the complete works performance, services implementation, including project maintenance and management. It's important to note that that concessionaire is responsible for all investments.

Although it is responsible for the assets ensuring but the assets are owned by the state, even in the period of the concession. The public sector is responsible for the establishment of the work performance quality standards and the insurance of the concessionaire's compliance with them. A concession contract is usually entered into for a period of 25-30 years.

A state body can execute a funding part of the project whenever necessary. It can be investments in the form of "subsidies" to achieve commercial viability of the concession. The typical structure of the concession agreement is shown in Figure 4.

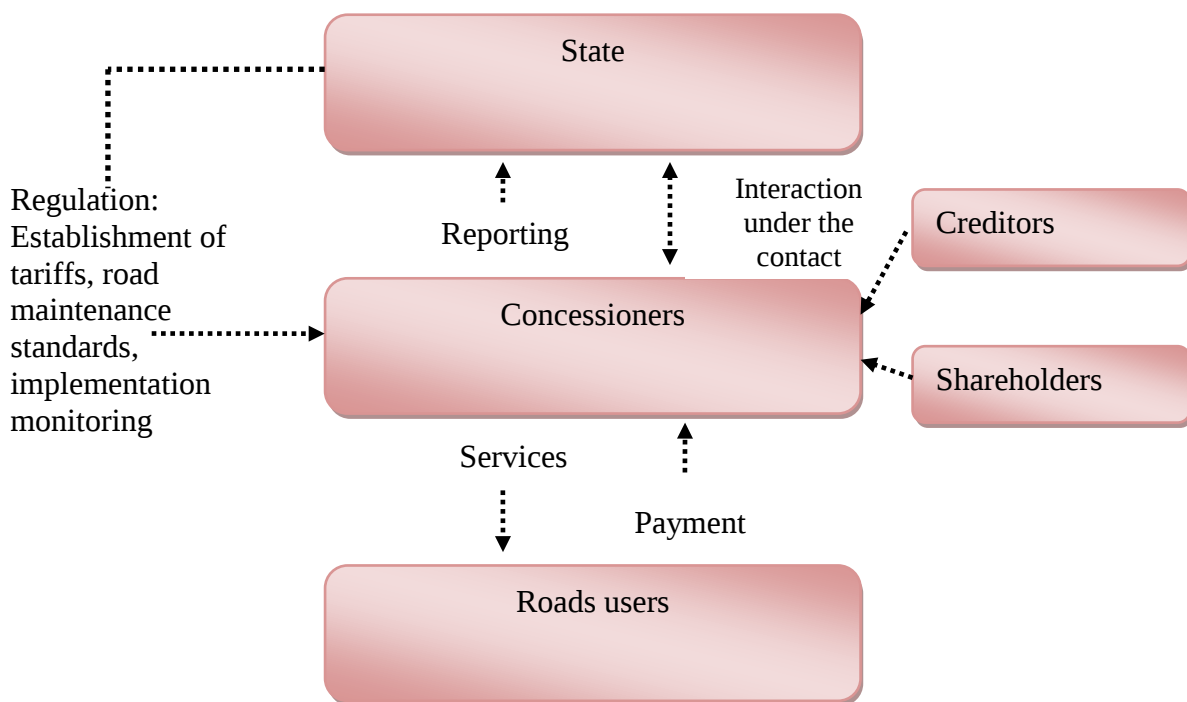


Figure 4 - Typical concession structure

Build, Operate, Transfer (BOT) is a kind of specialized concession in which the private firm or consortium finances and develops a new infrastructure project or a major component under the operational requirements set by the state. . Figure 6 illustrates the structure of the BOT contract.

Under the PPP contract terms the private partner provides costs necessary to create a new object. It should be noted that the duration of the BOT contract is determined as such within which the private partner could recover investment costs through user charges (Figure 5).

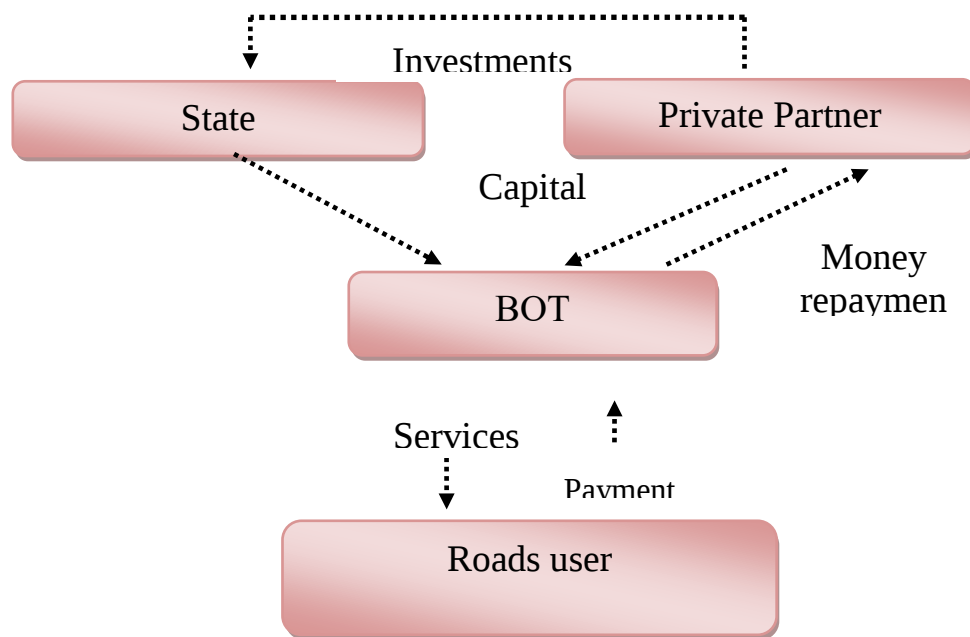


Figure 5 - Typical structure of the PPP contract

Joint ventures are an alternative to the full privatization, and at the same time the infrastructure is owned and operated by a public and private sector jointly. As part of the joint venture the partners of public and private sector can either form a new company or jointly hold shares of an existing company. A key requirement of this structure is a good corporate management, including the company's ability to maintain independence from the government. This is important because the state as a co-owner and controller, and officials may be tempted to interfere in the company's business to achieve political goals. The private partner takes an operational role (Figure 6).

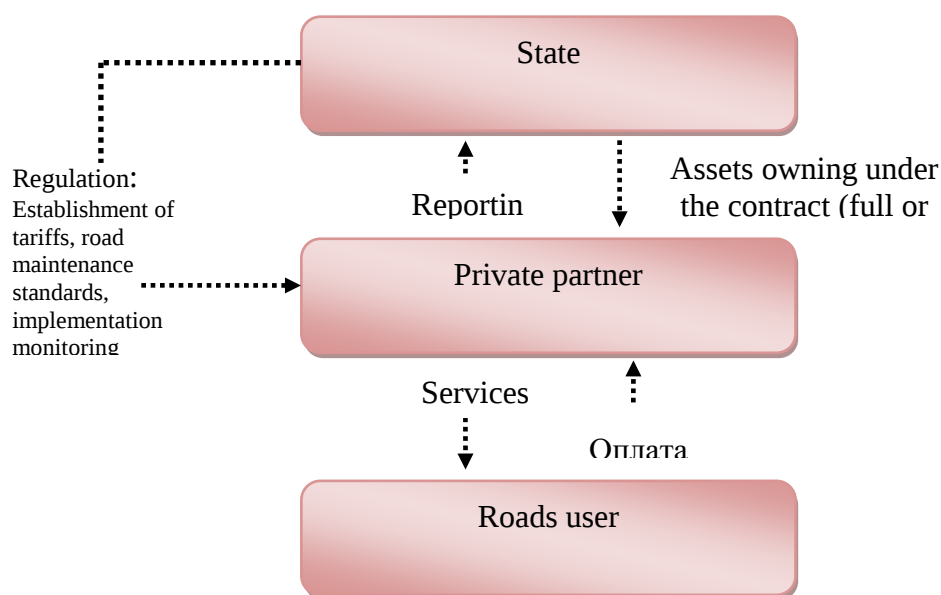


Figure 6 - Typical structure of joint ventures in the terms of the PPP

For the development of the public-private partnership in the road sector it's necessary:

- creation of a favorable institutional environment of the PPP;
- entrenchment of the principles of the PPP in the state and regional strategies for socio-economic development of state and regions;
- development and improvement of its legal and regulatory framework;
- provision of the state support and guarantees for the partners of the private sector;
- creation of a public authority regarding the PPP and civil society institutions necessary for its activities: unions, associations, alliances, expert advisory committees;
- establishment of the public control over the implementation of contact obligations by all parties and partners.

Conclusions

PPP-based projects implementation in the road sector of Ukraine is a promising new direction, which is under development. The PPP development provides involvement of fundamental perspective forms and models that can be successfully implemented in the road industry of Ukraine. The PPP introduction is related to the assessment of expected economic results from the projects implementation. Yes, it is attraction of alternative funding sources, improvement of indicators of transport and operation condition of roads, Ukrainian roads integration into the European transport network, additional government revenue due to the implementation of transit potential of Ukraine etc. In general, the partnership development means for the State the road network preservation with their complex infrastructure, an additional source of funding (including concession fees) and, consequently, reduce the burden on the budget.

References

1. Варнавский В. Г. Концессии в транспортной инфраструктуре : теория, практика, перспективы / В.Г. Варнавский. – М. : ИМЭМО РАН, 2002. – 189 с.
2. Государственно - частное партнерство: проблемы и перспективы [Электронный ресурс] / В. Г. Варнавский. – Режим доступа : <http://news.liga.net/pr/NR080293.html>
3. Про державно-приватне партнерство : Закон України № 2404 – VI від 1 липня 2010 р. // Відомості Верховної Ради. – 2010. – № 40. – С. 1436. – Ст.524.
4. Постанова Кабінету Міністрів України від 11 квітня 2011 року № 384.
5. Наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України від 27.02.2012 № 255.
6. Брайловський І.А. Аналіз підходів до класифікації моделей державно-приватного партнерства // Вісник ОНУ імені І.І. Мечникова, 2013. - Вип.3/1. – С.60-64.
7. Public–Private Partnership Handbook Asian Development Bank // 6 ADB Avenue, Mandaluyong City, Metro Manila, Philippines, 2007.

Рецензенти

Ф.П. Гончаренко, канд. техн. наук, ДП “Укрдипродор” (Київ)
О.Ю. Усиченко, канд. техн. наук, НТУ (Київ)

Reviewers

F.P. Honcharenko, Ph.D., “Ukrdiprodor” (Kyiv)
O.Yu. Usychenko, Ph.D., NTU (Kyiv)

Канін О.П., канд. техн. наук

ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ДОВГОСТРОКОВИМИ КОНТРАКТАМИ НА ОСНОВІ РІВНІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ ДОРІГ

Анотація. У статті дана характеристика Інформаційно-аналітичної системи управління довгостроковими контрактами на основі рівнів обслуговування доріг.

Об'єкт дослідження – програмне забезпечення Інформаційно-аналітичної системи управління довгостроковими контрактами на основі рівнів обслуговування доріг.

Мета роботи - ознайомити науковців і практиків з призначення і особливостями використання ІАСУ-ДККП.

Розглядається створена у 2014 р. в Національному транспортному університеті на замову Укравтодору Інформаційно-аналітична система управління довгостроковими контрактами на основі рівнів обслуговування доріг з метою виконання п. 8 Плану заходів щодо реалізації Концепції реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування.

ІАСУ-ДККП є програмно-аналітичним комплексом, призначеним для накопичення, аналізу та відображення даних про облік дефектів автомобільних доріг та їх усунення і розрахунок оплати робіт з поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання доріг. ІАСУ-ДККП реалізована на основі веб-технологій, що не потребує від користувачів встановлювати для її використання будь-якого спеціального програмного забезпечення. Це значно скорочує витрати на обслуговування системи і розширює коло користувачів.

Ключові слова: укравтодор, довгострокові контракти, утримання автомобільних доріг, рівень обслуговування, інформаційно-аналітична система, управління, веб-технології.

Аннотация. В статье дана характеристика Информационно-аналитической системы управления долгосрочными контрактами на основе уровней обслуживания дорог (ИАСУ-ДККП).

Объект исследования - программное обеспечение Информационно-аналитической системы управления долгосрочным контрактам на основе уровней обслуживания дорог.

Цель работы - ознакомить ученых и практиков по назначению и особенностями использования ИАСУ-ДККП.

Рассматривается созданная в 2014 в Национальном транспортном университете по заказу Укравтодора Информационно-аналитическая система управления долгосрочным контрактам на основе уровней обслуживания дорог с целью выполнения п. 8 Плана мероприятий по реализации Концепции реформирования системы государственного управления автомобильными дорогами общего пользования.

ИАСУ-ДККП является программно-аналитическим комплексом, предназначенным для накопления, анализа и отображения данных об учете дефектов автомобильных дорог и их устранения и расчет оплаты работ по текущему мелкому ремонту и эксплуатационному содержанию дорог. ИАСУ-ДККП создана на основе веб-технологий и не требует от пользователей устанавливать для ее использования какого-либо специального программного обеспечения. Это значительно сокращает расходы на обслуживание системы и расширяет круг пользователей.

Ключевые слова: укравтодор, долгосрочные контракты, содержания автомобильных дорог, уровень обслуживания, информационно-аналитическая система, управление, веб-технологии.

Annotation. The article describes the information-analytical system of long-term contracts based on levels of service roads (IAMS-OPRC).

Research object is software Information-analytical system of long-term contracts based on levels of service roads.

Purpose is to inform scientists and experts with the purpose and use of the features of IAMS-OPRC.

Considered established in 2014 at National transport university for Ukravtodor Information-analytical system of long-term contracts based on the levels of road maintenance in order to fulfill p. 8 Action Plan to implement the Concept of reform of public administration public roadways.

IAMS-OPRC - the program-analytical system designed to collect, analyze and display data on account of defects highways and elimination calculation and payment

of this work on routine maintenance of roads. IAMS-OPRC is based on web technology that does not require users to install it to use any special software. This significantly reduces the cost of system maintenance and extends the range of users.

Keywords: ukravtodor, long-term contracts, maintenance of roads, service levels, information-analytical system, management, level of service.

Постановка проблеми

Запровадження контрактів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг тривалого строку дії (п'ять - сім років), забезпечення їх новою системою кількісних показників для оцінки результатів роботи підрядника, що корелює з рівнем безпеки та споживчими якостями автомобільних доріг, є одним з пунктів Плану заходів щодо реалізації Концепції реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування (п. 8) [1].

Довгострокові контракти з дрібного поточного ремонту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг на основі забезпечення експлуатаційних показників (ДККП) є новим складним науково-технічним завданням, яке вимагає розв'язання теоретико-методологічних задач, законодавчих і нормативно-правових проблем, розробки моделей, методів та систем обґрунтування ціни контрактів, розподілення ризиків між замовником і підрядником, організації їх здійснення і контролю дотримання встановлених рівнів обслуговування. Важливою складовою проблеми реалізації ДККП на практиці є створення інформаційно-аналітичної системи управління контрактами (ІАСУ-ДККП).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Впровадження ДККП (Output and Performance Road Contract -OPRC, Performance Based Contract -PBC) в світі розпочалось наприкінці 1980-х років [2, 3] у Британській Колумбії (Канада). Поступово вони були застосовані в США, країнах Центральної і Південної Америки, Європи, Африки та Азії. Був накопичений позитивний досвід їх використання.

Основними перевагами ДККП у порівнянні з традиційними підходами є [3]:

- економія фінансових засобів (створення стимулу для приватного сектора впроваджувати інноваційні підходи і підвищувати продуктивність праці, зниження адміністративних і накладних витрат у зв'язку з розробкою

поліпшеного пакету контрактів, а також меншою кількістю персоналу для їх контролю і супроводу);

- велика вірогідність незмінності витрат (ризик перевитрати засобів за виконану роботу перенесений на підрядчика, тому дорожня адміністрація рідше стикається з непередбачуваними витратами);

- можливість вести дорожнє господарство з меншою кількістю персоналу;

- велика задоволеність користувачів якістю доріг і дорожніх умов (потреби користувачів відображаються в якісних показниках виконання робіт, що фіксуються в контракті, а оплата підрядника залежить від того, наскільки він виконав або перевиконав дані показники);

- стабільне багаторічне фінансування, направлене на утримання автомобільних доріг.

Проведений аналіз досліджень показав недостатню увагу вітчизняних дослідників до проблеми впровадження ДККП у дорожню галузь України, тому в Національному транспортному університеті був виконаний ряд робіт з цього напрямку [4, 7]. З'ясовано, що однією з головних причин, які перешкоджають впровадженню ДККП, є необхідність законодавчих і нормативно-правових змін, а також розробки відповідного сутності ДККП програмно-інформаційного забезпечення.

З метою реалізації Плану заходів щодо реалізації Концепції реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування Національним транспортним університетом на замовлення Укравтодору в 2013-2014 роках була виконана науково-дослідна робота на тему «Розробити методику та інформаційно-аналітичну систему управління станом автомобільних доріг на основі довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та утримання доріг за показником рівня їх обслуговування», по завершенні якої були розроблені «Методичні рекомендації з управління станом автомобільних доріг на основі довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та утримання доріг за показником рівня їх обслуговування» МР В.3.2-02070915-844:2014 і створена ІАСУ-ДККП Укравтодору.

Мета статті - ознайомити науковців і практиків з призначенням і структурою ІАСУ-ДККП Укравтодору

Виклад основного матеріалу

ІАСУ-ДККП базується на понятті рівня обслуговування – це вимога з усунення дефекту елементу дороги, яка включає рівень втручання (параметри або розміри дефекту, при яких дефект потрібно усунути), час відгуку (за який потрібно усунути дефект), одиницю виміру перевищення часу відгуку, кількість штрафних балів за одиницю перевищення часу відгуку.

Головною особливістю створеної ІАСУ-ДККП є реалізація її програмного забезпечення на базі сучасних веб-технологій, яка не потребує встановлення на комп'ютери користувачів додаткового спеціального програмного забезпечення та наступного його обслуговування. Системою можуть скористатися всі зацікавлені сторони контракту. Потенційними користувачами ІАСУ-ДККП є, в першу чергу, працівники різних рівнів і ланок управління дорожнім господарством – керівні посадовці та співробітники центрального апарату Державного агентства автомобільних доріг України, служб автомобільних доріг в областях, підрядні дорожньо-експлуатаційні організації різних форм власності.

ІАСУ-ДККП застосовується для введення оперативних даних про наявність дефектів елементів складових автомобільних доріг та їх усунення, отримання аналітичних даних, відображення даних в браузері користувача і формування вихідних файлів поширених форматів з наданням наступної можливості виводу друкованих звітів.

Інформація ІАСУ-ДККП зберігається в централізованій базі даних, яка поповнюється на регулярній основі користувачами системи.

Основні функції веб-програми ІАСУ-ДККП:

- аутентифікація користувачів;
- авторизація користувачів;
- фільтрація, вибірка та відображення даних веб-браузером;
- формування звітів та графіків у звітах за запитом користувачів;
- конвертація звітів у файли форматів Word (*.doc), Excel (*.xls) та Acrobat (*.pdf);
- вставка нових даних у таблиці бази даних;
- редагування даних таблиць бази даних;
- видалення даних з таблиць бази даних.

Розглянемо основні режими роботи ІАСУ-ДККП (рис. 1).



Рисунок 1 – Головна форма програми ІАСУ-ДККП

Оснoву для функціoнування програми складає система довідників. До них відносяться довідники: складових дороги; видів елементів (наприклад, узбіччя), типів елементів (наприклад, укріплені узбіччя); типових дефектів елементів доріг; рівнів обслуговування елементів доріг в залежності від видів дефектів і вимог з їх усунення; доріг; видів надзвичайних подій, типів машин і наявності машин для зимового утримання, видів протиожеледних матеріалів.

В якості прикладу, на рис. 2 наведена форма введення даних довідника рівнів обслуговування. Частина даних в ньому формується автоматично при доступі до потрібного рівня обслуговування, а інші вводяться або вибираються з інших довідників. Всі довідники можуть бути надруковані, наприклад, на рис. 3 наведений фрагмент звіту довідника рівнів обслуговування.

ІАСУ - ДККП УКРАВТОДОР [Вийти]

На головну Контракти Дороги Моніторинг Звіти Довідники

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ РІВНІ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Шифр 2.1.1.1.1.1.1 м Дороги Міжнародні Сезон року Дефект:

Вимога усунення

Час відгуку од. часу кількість 1.00 До дати: дд/мм

Штрафні бали за перевищення на 1.00 зняти балів 2.00 Одиниця виміру дефекту

Коментар

[Виправити](#) [Вилучити](#) [Створити](#)

[Назад](#) [Дорожній одяг](#) [Покриття](#) [Асфальтобетонне](#)

Дефект	Од.виміру	Рівень втручання	Сезон	Од. часу	Час відгуку	На дату	За перевищ. часу на	Зняти балів
✓ Вибоїни	випадок	Діаметр >15 см ТА <= 20 см АБО глибина > 4 см ТА <= 5 см	РІК	доба	1.00		1.00	2.00
✓ Вибоїни	випадок	Діаметр > 20 см АБО глибина >= 5 см	РІК	година	5.00		5.00	2.00
✓ Вибоїни	випадок	Більше 5 вибоїв діаметром > 10 см на 1 км проїзної частини	РІК	доба	1.00		1.00	2.00
✓ Вибоїни	випадок	Площа більша ніж 0.05 м2 ТА глибина не більша ніж 4 см	Л	доба	1.00		1.00	2.00
✓ Вибоїни	випадок	Площа більша ніж 0.05 м2 ТА глибина не більша ніж 4 см	В,О	година	5.00		1.00	2.00
✓ Вибоїни	випадок	Площа більша ніж 0.05 м2 ТА глибина не більша ніж 4 см	Л	доба	7.00		1.00	2.00
✓ Вибоїни	випадок	Загальна площа руйнувань на 1000 м2 покриття, м2, не більше ніж 0.3 м2	Л	доба	1.00		1.00	2.00

Рисунок 2 – Формування довідника експлуатаційних рівнів обслуговування

Міжнародні. Дорожній одяг. Покриття. Асфальтобетонне

Шифр / Дефект	Сезон	Рівень втручання / Коментар	Од. виміру	Од. часу	Час відгуку	На дату	За перевищ. на	Зняти балів
2.1.1.1.1.м Вибойни	РІК	Діаметр >15 см ТА <= 20 см АБО глибина > 4 см ТА <= 5 см / Діаметр найменшого кола, яке повністю описує вибоїну. Глибина приймається в найглибшій точці вибоїни	випадок	доба	1,00		1,00	2,00
2.1.1.1.2.м Вибойни	РІК	Діаметр > 20 см АБО глибина >= 5 см / Вибойна враховується при зазначених розмірах	випадок	година	5,00		5,00	2,00

Рисунок 3 – Фрагмент звіту довідника рівнів обслуговування

У програмі передбачені такі режими роботи з контрактами:

- формування загальних даних контракту: шифру, назви, тривалості, дати початку і закінчення;
- введення даних про відповідальних за виконання контракту від замовника та підрядника;
- редагування вартості контракту і одного штрафного балу з датою редагування.

Введення даних про дороги, які обслуговуються за контрактом, включає для кожної дороги: шифр дороги, наприклад, М-01; назву дороги, наприклад, Київ-Чернігів-Нові Яриловичі; лінійні координати початку і кінця дороги за контрактом.

Для кожної дороги потрібно виділити окремі ділянки, тому що дорога може складатись з ділянок різних категорій. По таким ділянкам вводяться дані про паспортні кількісні характеристики всіх елементів складових доріг, що відносяться до ділянки.

В режимі моніторингу вводяться дані про наявність та усунення дефектів елементів доріг, про виконання робіт з усунення дефектів, здійснюється реєстрація надзвичайних подій та виконання робіт з зимового утримання.

На рис. 4 і 5 наведений приклад форм для введення та редагування даних про виявлення та усунення дефектів елементів доріг. Після введення дати і часу усунення дефекту автоматично розраховується кількість штрафних балів, якщо час відгуку був перевищений.

ІАСУ - ДККП УКРАВТОДОР
[Увійти]

На головну | Контракти | Дороги | Моніторинг | Звіти | Довідники

СПОСТЕРЕЖЕНІ ВІДХИЛЕННЯ РІВНЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ
K0001 Київ-Чернігів-Нові Яриловичі Ділянка 1 від, м 0 до, м 50000 Дефект: Земляне полотно, Узбіччя, Укріплені, Вибойни
[Назад](#) [Додати](#) [Редагувати](#)

	Вимога усунення дефекту	Від	До	Дата і час реєстрації	Дата і час ліквідації	Штрафні бали
Видалити Вибір	Середній діаметр >= 300 мм, глибина > 3 см	5+500		01.10.2014 20:10:00	02.10.2014 16:00:00	0,00
Видалити Вибір	Середній діаметр >= 300 мм, глибина > 3 см	30+0		01.11.2014 8:45:00	10.11.2014 8:45:00	120,00
Видалити Вибір	Середній діаметр >= 300 мм, глибина > 3 см	33+0		01.11.2014 12:30:00	02.11.2014 13:30:00	1,00
Видалити Вибір	Середній діаметр >= 300 мм, глибина > 3 см	4+100		01.12.2014 14:30:00	03.12.2014 15:00:00	4,00
Видалити Вибір	Середній діаметр >= 300 мм, глибина > 3 см	11+0		08.12.2014 8:00:00	10.12.2014 18:35:00	4,00

[Обзор...](#) Файл не вибран. [Завантажити фото в базу даних](#) [Звіт](#)

	Назва файлу фотографії	Дата запису в БД
Показати Видалити	Вибойна.jpg	29.10.2014 18:06:37

Рисунок 4 – Форма для додавання та вибору існуючого дефекту з можливістю введення і перегляду введених фотографій дефекту

ІАСУ - ДККП УКРАВТОДОР
Ласкаво просимо УкрДіпродор! [Вихід]

На головну | Контракти | Дороги | Моніторинг | Звіти | Довідники

ЗАПИС ПОРУШЕНЬ РІВНІВІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ
K0001, Київ-Чернігів-Нові Яриловичі, Ділянка 1 від, м 0 до, м 50000, Дефект: Земляне полотно, Узбіччя, Укріплені, Вибойни

Вимога усунення дефекту	Середній діаметр >= 300 мм, глибина > 3 см
Початок, м	від 30000,00 до
Дата та час реєстрації (дд/мм/рррр гг:хх)	01.11.2014 8:45
Дата та час ліквідації (дд/мм/рррр гг:хх)	10.11.2014 8:45:00
Коментар	
Розраховані штрафні бали	120,00
Дата внесення в базу даних	01.11.2014 14:40
Хто створив запис	Невідомий
Дата редагування	05.11.2014 22:08:10

[Поновити](#) [Відмінити](#)
[<= Назад ...](#)

Рисунок 5 – Форма редагування порушень рівня обслуговування

Як видно на рис. 4, передбачена можливість введення фотографій, відображення їх списку у нижній таблиці, друку, та показу і друку окремої

фотографії. Для введення нової фотографії надана можливість стандартним методом знайти файл з фотографією на комп'ютері користувача, а потім цю фотографію можна помістити в центральну базу даних і переглянути її. Можна також активізувати формування звіту з фотографіями дефектів, який наведено на рис. 6.

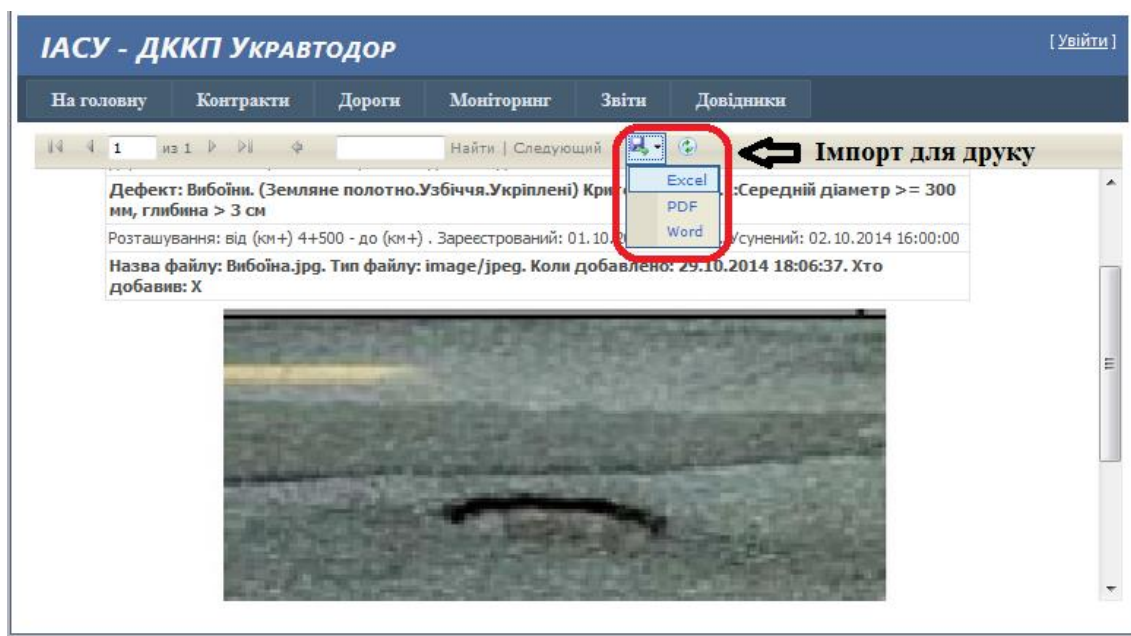


Рисунок 6 – Друк фотографій

Реєстрація надзвичайних подій здійснюється за допомогою форми, яка наведена на рис. 7.

НАДЗВИЧАЙНІ ПОДІЇ

Вибір контракту, дороги і ділянки M-01 Ділянка 1 0 - 50000

№	Вид події	Дата і час	Місце події	Причина події	Відповідальні за збитки	№ розпорядження	Реакція на подію
Видалити Вибрати 1	Зсуви	01.10.2014 15:05:00	км 10+0 - км 10+100. На схилі гори	Перезволоження	Відсутні	№ 1 від 01.10.2014	Виконати роботи протягом 10 днів.

Редагування даних про надзвичайні події

Вид події	Зсуви
Дата та час події	(формат дд.мм.рррр гг.хх) 01.10.2014 15:05:00
Розташування	від м 10000.00 до м 10100.00
Опис місця події	На схилі гори
Причина події	Перезволоження
Відповідальні за збитки	Відсутні
Номер розпорядження	№ 1 від 01.10.2014
Реакція на подію	Виконати роботи протягом 10 днів.

[Показати](#) [Видалити](#) [Вибрати](#)

Обзор... Файл не выбран. Завантажити фото в базу даних Звіт

	Назва файлу фотографії	Дата запису в БД
Показати Видалити	Колійність.jpg	19.10.2014 19:23:58
Показати Видалити	Просідання.jpg	19.10.2014 23:26:28

Рисунок 7 – Форма реєстрації надзвичайних подій

Дані про виконання профілактичних робіт вводяться та редагуються як показано на рис. 8. Система звітів по контракту за місяць включає: звіт про спостережені дефекти, фотографії дефектів, звіт про штрафні бали, звіт про профілактичні роботи, звіт про аварійні роботи, звіт про надзвичайні події, звіт про зимове утримання. Крім того, передбачений друк аналітичних звітів: звіт про вартість штрафних балів по місяцях року, звіт про вартість штрафних балів за рік, звіт про розподіл вартості штрафних балів по складовим доріг за вибраний місяць. Приклад одного з таких звітів наведений на рис. 9.

ІАСУ - ДККП Укравтодор
Ласкаво просимо Укрдїпродор! [[Вихід](#)]

На головну | Контракти | Дороги | Моніторинг | Звіти | Довідники

ПРОФІЛАКТИЧНІ РОБОТИ

М-01 Ділянка 1 0 - 50000 Узбіччя Укріплені

Роботи	Дата початку	Дата закінчення	Вартість, грн
Видалити Вибрати Ямковий ремонт	01.10.2014	10.10.2014	100
Видалити Вибрати Заливка тріщин	10.10.2014	10.10.2014	200

Місце

км 10 - км 11

Розташування

від м 10000 до м 11000

Робота

Ямковий ремонт

Кількість

од. виміру 1 км кількість 1,000 од. виміру 2 м2 кількість 3000,000

Причини

Перезвоження дорожнього одягу

Виконання

дата початку 01.10.2014 0:00:00 дата закінчення 10.10.2014 0:00:00 вартість, грн 100

Рисунок 8 – Форма реєстрації профілактичних робіт

ЗВІТ ПРО ДОТРИМАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РІВНІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ
за жовтень 2014 р.

Контракт № K0001 - Приклад контракту 1 Замовник: Укравтодор Підрядник: ДЕД-XXX

Дорога	Ділянка дороги	Дефект	Критерій	Розташування		Дата та час		Примітка
				від км +	до км +	реєстрації	усунення	
М-01 Київ- Чернігів- Нові Ярилови чі	Ділянка 1							
		Вибіоїни. (Дорожній одяг.Покриття.Ас фальтобетонне)		1+0		25.10.2014 8:00:00	25.10.2014 15:00:00	
		Вибіоїни. (Дорожній одяг.Покриття.Ас фальтобетонне)		4+500		26.10.2014 8:00:00	26.10.2014 18:00:00	

Рисунок 9 – Звіт про дотримання експлуатаційних рівнів обслуговування

ЗВІТ ПРО ШТРАФНІ БАЛИ

11 4 1 из 1 Р Рі Ф Найдти | Следующий

ЗВІТ ПРО НАРАХУВАННЯ ШТРАФНИХ БАЛІВ

за жовтень 2014 р.

Контракт № K0001 Приклад контракту 1 Замовник: Укравтодор Підрядник: ДЕД-ХХХ

Дорога	Ділянка дороги	Штрафні бали		Штраф, грн	Розташування і назва дефекту	
		Розрахунок	Затверджено		від км +	до км +
М-01 Київ-Чернігів-Нові Яриловичі	Ділянка 1	0,00	0,00		4+500	Вибоїни. (Земляне полотно. Узбіччя. Укріплені)
		2,00	0,00		1+0	Вибоїни. (Дорожній одяг. Покриття. Асфальтобетонне)
		8,00	0,00		4+500	Вибоїни. (Дорожній

Рисунок 10 – Звіт про нарахування штрафних балів

Висновки

Розроблений на замову Укравтодору програмний комплекс ІАСУ-ДККП, який базується на веб-технологій, дозволяє забезпечити впровадження довгострокових дорожніх контрактів на основі рівнів обслуговування доріг. Перспективні наукові дослідження бажано направити на створення теоретико-методологічних засад з економічного обґрунтування умов ефективного застосування довгострокових дорожніх контрактів і управління ними з широким використанням інформаційних технологій.

Література

1. Деякі питання реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування [Електронний документ] / Розпорядження Кабінету міністрів України від 31 березня 2015 р. № 432-р.. - Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/432-2015-%D1%80>.
2. Станкевич Наталья Содержание и улучшение дорожной инфраструктуры с помощью контрактов, основанных на показателях качества работ / Н.Станкевич, Н. Кюреши, Ц. Кейроз // Транспортный бюллетень TN-27. – Вашингтон (США): Всемирный банк. – Сентябрь, 2005.
3. Performance-Based Contracting for Maintenance. TRB's National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Synthesis 389: Performance-Based Contracting for Maintenance explores experience with performance-based maintenance contracting in places where it has been adopted, including such

issues as whether it has the potential to reduce costs and improve maintenance levels of service. 2011, Available at: <http://www.trb.org/Main/Blurbs/161949.aspx>.

4. Харченко А.М. Еволюція розвитку та переваги застосування довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках, у дорожній галузі. / А.М.Харченко, О.П.Канін, Н.М.Соколова // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2013. – Вип. 28. С. 496-504.
5. Соколова Н.М. Теоретичні аспекти довгострокових контрактів на основі кінцевих показників / Н.М. Соколова, О.П.Канін, А.М.Харченко // Управління проектами, системний аналіз і логістика : Науковий журнал. Вип. 11. – К.: НТУ, 2013. С. 130-139.
6. Харченко А.М. Система управління станом доріг за показником рівня обслуговування в довгострокових контрактах з поточного дрібного ремонту та утримання доріг. / А.М.Харченко, О.П.Канін, Н.М.Соколова // Управління проектами, системний аналіз і логістика : Науковий журнал. Вип. 12. – К.: НТУ – 2013. – С. 193-205.
7. Соколова Н.М. Моніторинг виконання довгострокових контрактів з утримання доріг. / Н.М.Соколова, О.П.Канін, А.М.Харченко // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2013. – Вип. 28. – С. 434-442.

Рецензенти

В.К. Жданюк, д-р техн. наук, ХНАДУ (Харків)

А.О. Безуглий, канд. економ. наук, заступник директора ДП “ДерждорНДІ” з наукової роботи (Київ)

Reviewers

V.K. Zhdanyuk, Dr.Tech.Sci., KhNAHU (Khariv)

A.O.Bezuhlyi, Ph.D., Deputy Director of “DerzhdorNDI” for Research (Kyiv)

Канін О.П., канд. техн. наук, **Харченко А.М.**, канд. техн. наук,
Соколова Н.М., канд. техн. наук, **Шпиг А.Ю.**, канд. техн. наук.

БАЗА ДАНИХ РІВНІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ В УПРАВЛІННІ ДОВГОСТРОКОВИМИ КОНТРАКТАМИ НА ОСНОВІ КІНЦЕВИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ДОРІГ

Анотація. У статті наведено інформацію про проведені дослідження щодо створення бази даних рівнів обслуговування в управлінні довгостроковими контрактами на основі кінцевих показників якості доріг, які виконувались на замовлення Укравтодору.

Об'єкт дослідження – вимоги - рівні обслуговування в контрактах ДККП.

Метою статті є ознайомити науковців й практиків з призначенням і особливостями бази даних рівнів обслуговування в управлінні довгостроковими контрактами на основі кінцевих показників якості доріг.

В результаті проведеного дослідження наведено модифікацію Інформаційно-аналітичної системи управління станом автомобільних доріг на основі довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та утримання доріг за показником рівня їх обслуговування (ІАСУ-ДККП), приведено приклади сформованих вихідних форм (переліків типів елементів доріг, дефектів елементів доріг), розроблених вимог до експлуатаційного стану елементів автомобільних доріг – експлуатаційних рівнів обслуговування.

Ключові слова: вимоги, рівень обслуговування, кінцеві показники якості доріг, база даних, довгостроковий контракт.

Аннотация. В статье приведена информация о проведенных исследованиях по созданию базы данных уровней обслуживания в управлении долгосрочными контрактами на основе конечных показателей качества дорог, которые выполнялись по заказу Укравтодора.

Объект исследования - требования - уровне обслуживания в контрактах ДККП.

Целью статьи является ознакомить ученых и практиков назначению и особенностям базы данных уровней обслуживания в управлении долгосрочными контрактами на основе конечных показателей качества дорог.

В результате проведенного исследования приведена модификация Информационно-аналитической системы управления состоянием автомобильных дорог на основе долгосрочных контрактов по текущему мелкому ремонту и содержанию дорог по показателю уровня их обслуживания (ИАСУ-ДККП), приведены примеры сформированных выходных форм (перечней типов элементов дорог, дефектов элементов дорог), разработанных требований к эксплуатационному состоянию элементов автомобильных дорог - эксплуатационных уровней обслуживания.

Ключевые слова: требования, уровень обслуживания, конечные показатели качества дорог, база данных, долгосрочный контракт.

Annotation. This article provides information on studies to establish a database service levels in the management of long-term contracts based on quality indicators of roads, which were made to order Ukravtodor.

The object of study - the requirements - levels of service contracts PBC.

The article aims to inform researchers and practitioners with the appointment and peculiarities of database service levels in the management of long-term contracts based on quality indicators of roads.

The study presented modification information-analytical system of state highways through long-term contracts with current small repairs and maintenance of roads in terms of their level of service (IASU-DKCP), examples of existing original forms (lists element types of roads, defects elements of roads) developed requirements for the operational state of elements of roads - operational service levels.

Keywords: requirements, level of service, endpoints road quality, database, long-term contracts.

Постановка проблеми

Ефективне управління станом доріг через довгострокові контракти з поточного дрібного ремонту та утримання доріг за показниками рівня їх обслуговування (ДККП) можливе лише за допомогою моніторингу транспортно-експлуатаційного стану, який надає своєчасну, релевантну,

надійну і повну інформацію про фактичний стан доріг, що зберігається належним чином в історичному розрізі (для встановлення тенденцій і кількісного зв'язку між зовнішніми та внутрішніми факторами ті експлуатаційним станом доріг), для чого необхідно обґрунтувати вимоги з усунення дефектів елементів автомобільних доріг державного значення, тобто, їх рівні обслуговування.

Кінцеві показники, рівень обслуговування, критерії втручання, час реагування широко варіюють в різних контрактах типу ДККП. Тому можна стверджувати, що ці показники все ще розвиваються і продовжують бути предметом подальшого аналізу та обговорення. Ясність у цьому питанні спробував внести Світовий банк, розробивши "Приклад тендерної документації" [1], де запропоновано перелік основних ключових показників, що формують рівні обслуговування.

Проте, на сьогоднішній день, існує ряд проблем правового, теоретичного і експериментального характеру щодо впровадження довгострокових контрактів на основі кінцевих показників якості експлуатаційного стану автомобільних доріг, які потребують подальших зусиль відносно їх вирішення.

Неясність, притаманна недостатньому вивченню проблеми поточного дрібного ремонту та експлуатаційному утриманню автомобільних доріг, створює умови асиметрії інформації відносно оцінки експлуатаційного стану доріг у замовника та підрядника, що породжує проблему опортунізму однієї з сторін, тобто намагання отримати додаткові переваги за рахунок неповноти інформації у іншій стороні контракту.

Потребує свого майбутнього розв'язання проблема впровадження довгострокових контрактів на основі кінцевих показників у правовому полі, що може бути здійснене шляхом внесення змін в основні законодавчі та нормативні документи.

Головною ж проблемою залишається відсутність спостережених і належним чином зафіксованих в електронних базах даних відомостей про об'єми та характер розвитку дефектів елементів доріг у просторовому відношенні і в часі, а також взаємодії дефектів між собою, що не дає можливості побудувати адекватні реальності моделі прогнозування.

Тому, на сьогодні, експлуатаційні рівні обслуговування можливо розробити на основі аналізу нормативних джерел, світового досвіду та інформації, отриманої від експертів, що й було реалізовано авторами статті у

2014 році під час виконання науково-дослідної роботи «Виконати аналіз та розробити вимоги до усунення дефектів елементів доріг при реалізації довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування» (далі – НДР) за завданням Державного агентства автомобільних доріг України «Укравтодор».

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблемам реалізації ДККП в дорожній галузі присвятили свої наукові роботи Zietlow G., Queiroz C., Ellevset O., Baquero P., Sultana M., Rahman A., Chowdhury S., Panthi K., Piñero J.C., Alyami Z., Porter T., Kerali G., Gajurel A., Berkland T., Станкевич Н. та інші. Проте, слід зазначити практичну відсутність робіт вітчизняних науковців з даного напрямку досліджень, окрім [2-5].

Метою статті є ознайомити науковців й практиків з призначенням і особливостями бази даних рівнів обслуговування в управлінні довгостроковими контрактами на основі кінцевих показників якості доріг.

Виклад основного матеріалу

Вимоги до експлуатаційного стану елементів доріг з'явилися в результаті еволюційного розвитку контрактів з поточного дрібного ремонту та утримання доріг. У звітах та керівництвах Світового Банку, вимоги до стану доріг дістали назву «ключові показники ефективності» (key performance indicators – KPI). Паралельно вживається термінологія: «рівень обслуговування» чи «рівень сервісу» (service level, level of service (LOS), performance levels), «стандарти якості» (performance standards, performance service indicator - PSI) [6-9].

Головними компонентами контрактів на основі кінцевих показників згідно світового досвіду є:

- система критеріїв втручання;
- комплекс вимог (стандартів або нормативів) експлуатаційних якостей елементів доріг;
- система рівнів обслуговування доріг різних категорій, з певними границями інтенсивності руху, адміністративним значенням, залежні від сезону року, дорожньо-кліматичної зони, рельєфу місцевості, гідрогеологічних умов тощо.

Згідно з [10] вимога з усунення дефекту – сукупність встановлених для дефекту елементу дороги критеріїв:

- максимально допустимого періоду між оглядами елементу дороги;

- рівня втручання – гранично допустимі величини параметрів дефекту, які обумовлюють необхідність усунення дефекту;
- терміну ліквідації – часу, протягом якого дефект повинен бути усунений. Дорівнює різниці між моментом усунення та моментом реєстрації дефекту, які вимірюються з точністю до хвилини.

Вимога з усунення дефекту і відповідний їй рівень обслуговування визначається на основі раціонального задоволення вимог споживачів таким, що відповідає нормативним вимогам або кращий від них при можливих витратах на поточний дрібний ремонт і експлуатаційне утримання.

Показники вимог з усунення дефектів залежать від адміністративного значення доріг державного значення (міжнародні, національні, регіональні, територіальні) та інтенсивності і складу руху на них.

При укладанні ДККП для визначення показників вимоги з усунення дефекту (періоду між оглядами, рівня втручання, терміну ліквідації дефекту) слід спиратись на безумовне забезпечення нормативних вимог ДСТУ 3587-97 [11], П Г.1-218-113:2009 [12], СОУ 45.2-00018112-042 [13] щодо показників транспортно-експлуатаційного рівня, на значення яких безпосередньо впливають роботи з поточного ремонту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг. Показники вимог з усунення дефекту можуть бути встановлені вище мінімального рівня і забезпечувати виконання більш високих цільових рівнів обслуговування.

Мінімальні рівні обслуговування у ДККП, які б забезпечували нормативні вимоги до експлуатаційного стану автомобільної дороги, виконання яких залежить від поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання, повинні бути встановлені і описані в плані-завданні до контракту і не повинні суперечити ДСТУ 3587-97 [11], СОУ 45.2-00018112-042:2009 [13], П Г.1-218-113:2009 [12] та інших нормативних документів.

З метою створення бази даних експлуатаційних рівнів обслуговування елементів автомобільних доріг авторами статті під час виконання НДР на замовлення Укравтодору була частково модифікована Інформаційно-аналітична система управління станом автомобільних доріг на основі довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та утримання доріг за показником рівня їх обслуговування (ІАСУ-ДККП).

В таблиці бази даних, які відносяться до складових автомобільної дороги, видів і типів їх елементів, дефектів елементів доріг за їх типами та таблиці

рівнів обслуговування були внесені класифікаційні ознаки, які дозволяють належним чином класифікувати рівні обслуговування, зменшити об'єм вихідних форм.

Також змінені форми сценаріїв введення даних щодо рівнів обслуговування і форми вихідних документів. На рис. 1 наведено сценарій вибору складових доріг різного адміністративного значення, що звужує об'єм подальших вибірок даних (рис. 2, 3).

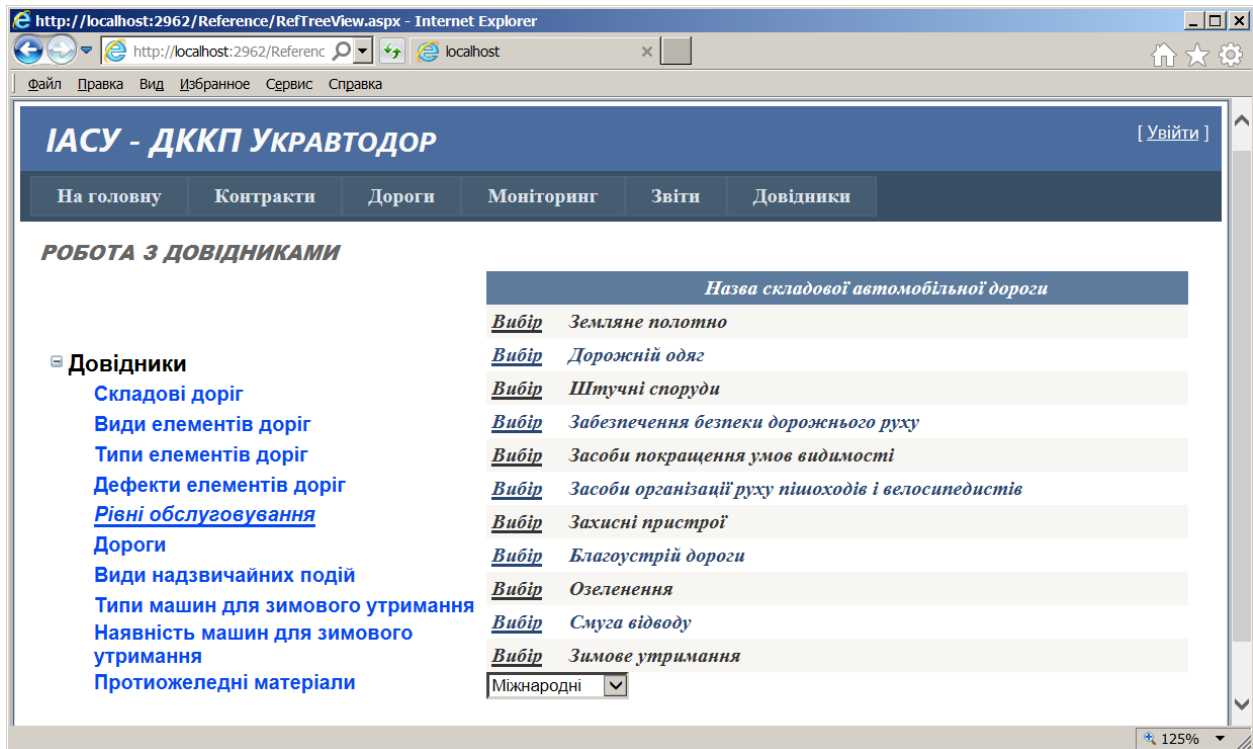


Рисунок 1 – Сценарій вибору даних однієї складової одного значення доріг

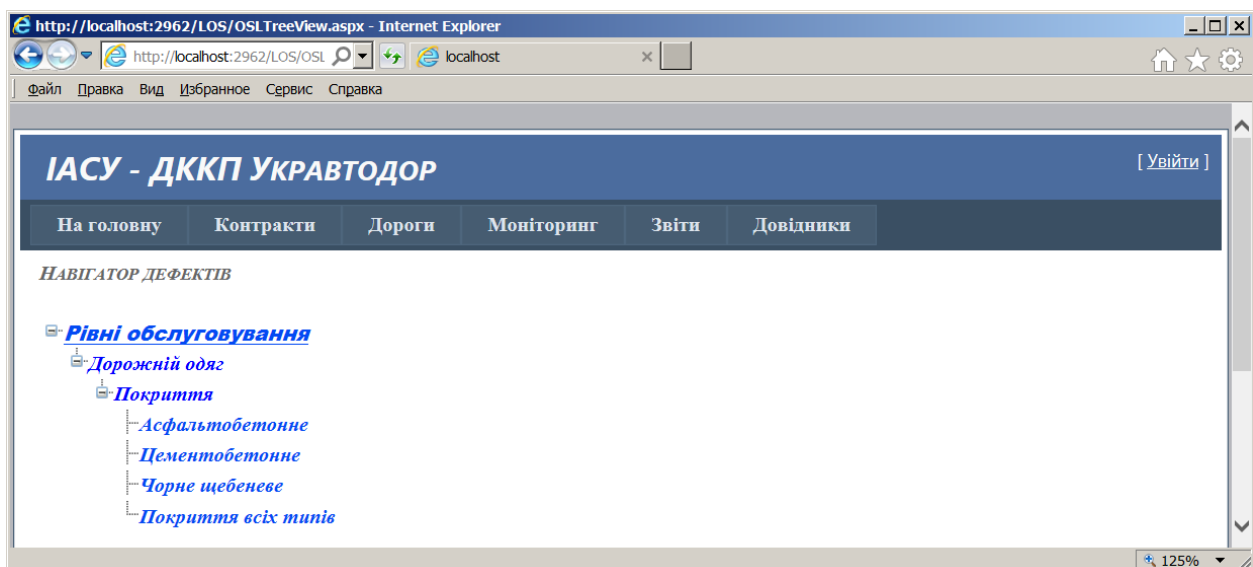


Рисунок 2 – Вибрані типи елементів доріг

Internet Explorer

http://localhost:2962/LOS/OSL.aspx?obj=2&vid=5&tip=13&defect=&def=%u0414%u043e%u0440%u043e%u0433 - Internet Explorer

Файл Правка Вид Избранное Сервис Справка

ІАСУ - ДККП УКРАВТОДОР

[Увійти]

На головну | Контракти | Дороги | Моніторинг | Звіти | Довідники

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ РІВНІ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Шифр 2.1.1.1.1.1 м Дороги Міжнародні Сезон року РІК Дефект: Вибіоїни

Вимога усунення Діаметр >15 см ТА <= 20 см АБО глибина > 4 см ТА <= 5 см

Час відгуку од. часу доба кількість 1.00 До дати: дд/мм

Штрафні бали за перевищення на 1.00 зняти балів 2.00 Одиниця виміру дефекту випадок

Коментар Діаметр найменшого кола, яке повністю описує вибоїну. Глибина приймається в найглибшій точці вибоїни

[Виправити](#) [Видалити](#) [Створити](#)

[Назад](#) [Дорожній одяг](#) [Покриття](#) [Асфальтобетонне](#)

Дефект	Од.виміру	Рівень втручання	Сезон	Од.часу	Час відгуку	На дату	За перевищ. часу на	Зняти балів
✓ Вибіоїни	випадок	Діаметр >15 см ТА <= 20 см АБО глибина > 4 см ТА <= 5 см	РІК	доба	1.00		1.00	2.00
✓ Вибіоїни	випадок	Діаметр > 20 см АБО глибина >= 5 см	РІК	година	5.00		5.00	2.00
✓ Вибіоїни	випадок	Більше 5 вибоїн діаметром > 10 см на 1 км проїзної частини	РІК	доба	1.00		1.00	2.00
✓ Вибіоїни	випадок	Площа більша ніж 0.05 м2 ТА глибина не більша ніж 4 см	Л	доба	1.00		1.00	2.00
✓ Вибіоїни	випадок	Площа більша ніж 0.05 м2 ТА глибина не більша ніж 4 см	В,О	година	5.00		1.00	2.00
✓ Вибіоїни	випадок	Площа більша ніж 0.05 м2 ТА глибина не більша ніж 4 см	Л	доба	7.00		1.00	2.00
✓ Вибіоїни	випадок	Загальна площа руйнувань на 1000 м2 покриття, м2, не більше ніж 0.3 м2	Л	доба	1.00		1.00	2.00

125%

Рисунок 3 – Робота з рівнями обслуговування вибраного типу елемента складової дороги

Для друку довідників дефектів та експлуатаційних рівнів обслуговування елементів доріг розроблена форма, яка дозволяє видавати звіти як по окремій складовій дороги, так і по всім складовим доріг вибраного адміністративного значення.

Вихідні форми з переліком типів елементів доріг, дефектів елементів доріг були сформовані на основі аналізу нормативних джерел, з урахуванням світового досвіду та інформації, отриманої від експертів, що не суперечить діючій в Україні нормативно-правовій базі. Фрагменти вихідних форм з переліком типів елементів доріг та дефектів елементів доріг наведено в таблицях 1-2 відповідно.

Таблиця 1 - Типи елементів автомобільних доріг (фрагмент)

Код складової	Складова дороги	Код елементу	Назва елементу	Код типу	Назва типу елементу
1	2	3	4	5	6
1	Земляне полотно	1	Узбіччя	1	З твердим покриттям
				2	Не укріплені

Кінець табл. 1

1	2	3	4	5	6
		2	Укоси насипів та виїмок	1	Укріплені
				2	Не укріплені
		3	Водовідв едення	1	Кювети укріплені
				2	Кювети неукріплені
					
2	Дорожній одяг	1	Покриття	1	Асфальтобетонне
				2	Цементобетонне
				3	Чорне щебенеve
				4	Покриття всіх типів
.....				...	

Таблиця 2 - Довідник дефектів елементів доріг. Земляне полотно. Узбіччя. З
твердим покриттям (фрагмент)

Шифр	Назва дефекту	Характеристика
1.1.1.1	Вибоїни	Характеризуються діаметром кола, з площею рівною площі вибоїни і глибиною в найглибшій точці вибоїни.
1.1.1.2	Неякісний ямковий ремонт	Невідповідність: ширини стику/висоти/форми/напрямку/матеріалу латки
1.1.1.3	Лінійні тріщини	Характеризується шириною і довжиною тріщини. Наявність різниці по висоті герметика і покриття (вище або нижче) з певною довжиною
1.1.1.4	Сітка тріщин	Характеризується шириною і довжиною тріщини. Наявність різниці по висоті герметика і покриття (вище або нижче) з певною довжиною
1.1.1.5	Руйнування кромки	Характеризується шириною (мм) і довжиною (м) руйнування
1.1.1.6	Колійність	Характеризується шириною (мм) і довжиною (м) ділянки з колійністю
1.1.1.7	Хвилястість (гребінка)	Характеризується глибиною (мм) і довжиною (м) ділянки хвилястості
1.1.1.8	Просідання	Характеризується глибиною (мм) і довжиною (м) ділянки просідання

Фрагмент розроблених в НДР вимог до доріг міжнародного значення наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 - Експлуатаційні рівні обслуговування. Дороги міжнародного значення (фрагмент)

Шифр / Дефект	Сезо н	Рівень втручання / Коментар	Од. виміру	Од. часу	Час відгуку	На дату	За перевищ. на	Зняти балів
1.1.1.1.1.м Вибоїни	РІК	Діаметр > 30 см АБО глибина > 5 см /	випадок	доб а	9,00		1,00	2,00
1.1.1.1.2.м Вибоїни	РІК	Вибоїна (D > 10 см) ТА кількість > 5 шт. на 1 км проїжджої частини / Вибоїна враховується при зазначеному розмірі. При довжині ділянки < 1 км кількість зменшується пропорційно	випадок	доб а	9,00		1,00	1,00
1.1.1.2.1.м Неякісний ямковий ремонт	РІК	(Рівень = невідповідний / Всі латки разом з герметиком повинні бути на рівні з прилеглим покриттям: не вище 10 мм і не нижче 5 мм	випадок	доб а	18,00		1,00	0,50
1.1.1.2.2.м Неякісний ямковий ремонт	РІК	Орієнтація = невідповідна / Латки площею більше 0.1 м2 повинні бути прямокутними і розміщеними паралельно вісі дороги	випадок	доб а	18,00		1,00	0,50
1.1.1.2.3.м Неякісний ямковий ремонт	РІК	Матеріали = невідповідні / Ямковий ремонт повинен бути виконаний з рівною або кращою якістю, ніж покриття	випадок	доб а	18,00		1,00	0,50
1.1.1.2.4.м Неякісний ямковий ремонт	РІК	Ширина стиків > 3 мм / Ширина стиків вимірюється в мм	випадок	доб а	18,00		1,00	1,00

Всього було розроблено 1604 вимоги до експлуатаційного стану елементів автомобільних доріг – експлуатаційних рівнів обслуговування.

Висновки

Розроблені авторами статті класифікації типів елементів автомобільних доріг і притаманних їм дефектів створюють структурну основу систематизації рівнів обслуговування елементів доріг. Одному дефекту елементу дороги можуть бути призначені декілька рівнів обслуговування, залежно від типу елементу, рівня серйозності та розповсюдження дефекту. Розроблені рівні обслуговування характеризують вимоги до усунення дефектів елементів доріг при реалізації довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування.

Література

1. Implementing Performance-based Road Management and Maintenance Contracts in Developing Countries - An Instrument of German Technical Cooperation / By Dr. Gunter Zietlow. Eschborn, November 2004.
2. Харченко А.М. Еволюція розвитку та переваги застосування довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках, у дорожній галузі. / А.М.Харченко, О.П.Канін, Н.М.Соколова // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2013. – Вип. 28. С. 496-504.
3. Соколова Н.М. Теоретичні аспекти довгострокових контрактів на основі кінцевих показників / Н.М. Соколова, О.П.Канін, А.М.Харченко // Управління проектами, системний аналіз і логістика : Науковий журнал. Вип. 11. – К.: НТУ, 2013. С. 130-139.
4. Харченко А.М. Система управління станом доріг за показником рівня обслуговування в довгострокових контрактах з поточного дрібного ремонту та утримання доріг. / А.М.Харченко, О.П.Канін, Н.М.Соколова // Управління проектами, системний аналіз і логістика : Науковий журнал. Вип. 12. – К.: НТУ – 2013. – С. 193-205.
5. Соколова Н.М. Моніторинг виконання довгострокових контрактів з утримання доріг. / Н.М.Соколова, О.П.Канін, А.М.Харченко // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2013. – Вип. 28. – С. 434-442.

6. Olav Ellevset. Output- and Performance-based Road Contracts (OPRC) / Olav Ellevset, Senior Transport Specialist The World Bank [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www4.worldbank.org/afr/ssatp/Resources/HTML/Conferences/Bamako05/Final-Report/Annex10-Presentations/02-Olav.pdf>
7. Output & Performance based Road Contracts (OPRC). An innovative way of outsourcing maintenance & asset management. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.slideserve.com/lana/output-performance-based-road-contracts-oprc>
8. Patricia Baquero. Practical Guidance to Procure Output- and Performance-Based Road Contracts (OPRC) under Bank-Financed Projects / Patricia Baquero Sr. Procurement Specialist OPCPR// Transport Forum and Learning Week, 2007.
9. Performance based contracting and improving the current contracting process final report / Troy Berkland And Lansford C. Bell // Department of Civil Engineering Clemson University, November. – 2007.
10. Методичні рекомендації з управління станом автомобільних доріг на основі довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та утримання доріг за показником рівня їх обслуговування: МР В.3.2-02070915-844:2014. – Київ: Укравтодор, 2014. – 42 с.
11. ДСТУ 3587–97 Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану.
12. П Г.1-218-113:2009 Технічні правила ремонтів та утримання автомобільних доріг загального користування України.
13. СОУ 45.2-00018112-042:2009 Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх одягів.

Рецензенти

В.Я. Савенко, д-р техн. наук, НТУ (Київ)

В.Г. Скобелєв, д-р техн. наук, д-р фіз.-мат. наук, професор, провідний науковий співробітник Інституту кібернетики ім. В.М.Глушкова (Київ)

Reviewers

V.Ya. Savenko, Dr.Tech.Sci., NTU (Kyiv)

V.H. Skobelev, Dr.Tech.Sci., Dr.Phys.Math.Sci., professor, senior researcher, Hlushkov Institute of Cybernetics (Kyiv)

Лихоступ М.М., канд., техн., наук

ДОВГОСТРОКОВЕ ПАЛАНУВАННЯ ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА ЗА ОЦІНКАМИ ДОРОЖНІХ АКТИВІВ

Анотація. Один із методів довгострокового планування регіонального дорожнього господарства використовує інформацію про дорожні активи. У цьому випадку під дорожніми активами слід розуміти вартість елементів транспортних споруд, яка залежить від їх експлуатаційного стану, а також порядку та інтенсивності виконання дорожніх робіт. В моделі довгострокового планування використовуються різні методи для оцінки вартості та експлуатаційного стану елементів доріг в залежності від термінів та обсягів виконання дорожніх робіт на регіональній мережі доріг.

Ключові слова: довгострокове планування, вартість і стан елементів доріг, обсяги дорожніх робіт.

Аннотация. Один из методов долгосрочного планирования регионального дорожного хозяйства базируется на информации о дорожных активах, В этом случае под дорожными активами следует понимать стоимость элементов транспортных сооружений, которая зависит от эксплуатационного состояния элементов дорог, а также от порядка и интенсивности проведения дорожных работ. В модели долгосрочного планирования используются различные методы для оценки стоимости и эксплуатационного состояния элементов дорог в зависимости от сроков и объемов выполняемых на региональной сети дорожных работ.

Ключевые слова: долгосрочное планирование, стоимость и состояние элементов дорог, объемы дорожных работ.

Annotation. One method of long – term planning for regional road economy needs a information about road actives. In this case we are understanding the cost of constructions road elements, which are depending on management conditions and order of road works. In model of long – term planning are executing various methods

for estimation of costs and road elements conditions, which are depending on terms and values of road works on regional road net.

Keywords: long-term planning, cost and conditions of road constructions, values of road works.

Вступ

За останні десятиріччя розвиток системи довгострокового планування здійснюється на основі спеціальних моделей – моделі HDM світового банку, різноманітних європейських моделей PMS, української моделі СУСП та інших їм подібних моделях. У всіх цих моделях є недоліки, які не відповідають сучасним вимогам розвитку системи планування дорожнього господарства, наприклад:

- в якості елемента управління станом та розвитком автомобільної дороги розглядається тільки дорожній одяг, що не дає змоги розвинути підсистеми оцінки безпеки руху, впливу дороги на оточуюче середовище та інші через відсутність інформації про кількісні та якісні характеристики стану інших елементів;

- як критерій оцінки стану автомобільної дороги приймаються значення дорожньо – транспортних витрат та характеристики роботи транспортних засобів, тобто акцент ставиться на ефект транспортної роботи а не на оцінку стану дороги як інженерної споруди в цілому.

У відповідності до сучасних вимог користувачів доріг до системи управління дорожнім господарством, наприклад, розвитку системи плати за проїзд, приватизації прав на експлуатацію транспортних споруд, розвитку системи конкурсних торгів на право довгострокового утримання доріг та іншими, виникає необхідність у створенні нових моделей довгострокового планування. На семінарі Світового банку, що відбувся у травні 2015 року, відзначилась необхідність у розвитку нових напрямків планування дорожнього господарства на основі моделей управління дорожніми активами. При цьому «дорожні дані самі по собі слід вважати активами, які вимагають ретельного управління . . .», тобто пропонується більш ретельне вивчення та розвиток існуючих моделей з метою отримання нових шарів певної інформації для вирішення задач планування.

Але в якості дорожніх активів можливо розуміти і сукупність елементів транспортної споруди, які є не що іншим як складовим частинами основних

виробничих фондів (доріг), а для їх підтримання у надійному транспортно – експлуатаційному стані необхідно реалізувати систему довгострокового планування будівельних робіт і ремонтно–відновлювальних заходів. Тоді управління системою стану всіх елементів доріг (або більшості із них) дасть змогу користувачам доріг вирішувати актуальні задачі планування та управління дорожнім господарством.

Постановка проблеми та її зв'язки з науковими та практичними завданнями.

Система довгострокового планування спрямована насамперед на те, щоб визначити на певний період часу перелік та обсяги виконання дорожніх робіт по різних елементах транспортних споруд та потребу в ресурсах і, насамперед, - фінансових ресурсах.

Ідея функціонування моделі довгострокового планування за оцінками дорожніх активів полягає у тому, що кожен із елементів автомобільної дороги має певний нормативний термін своєї експлуатаційної придатності, тобто строк служби. Під час експлуатації елементи доріг зношуються, тобто втрачають свою експлуатаційну здатність, що відображується їх рівнем експлуатаційного стану, та зменшуються за вартістю, як частина основних фондів. З метою підтримання в надійному стані елементів доріг необхідно виконувати певні відновлювальні роботи в різні періоди часу. Проведення ремонтно-відновлювальних заходів (РВЗ) має дві форми: перша – роботи виконуються в екстремальному (негайне відновлення у відповідності до нормативних вимог) або відносно плановому (є ресурси) порядку; друга - роботи виконуються в плановому розрахунковому порядку у відповідності до строку служби елементів. У будь-яких випадках проведення ремонтно-відновлювальних робіт цей факт фіксується у відповідних банках даних та відповідно до нього виконуються розрахунки поточної вартості елементів та обсяги виконаних робіт. Якщо мова йде про реалізацію планової системи виконання робіт по окремим елементам, то у цьому випадку слід використати підсистему виконання нормативних обсягів робіт, що виконуються по завершенню строків служби кожного елемента.

До основних елементів моделі довгострокового планування за оцінками дорожніх активів слід віднести:

- єдину систему каталогів елементів автомобільних доріг та транспортних споруд;
- строки служби кожного елемента транспортних споруд;
- норми відрахування зношення основних фондів (елементів доріг);
- алгоритми визначення поточної вартості основних фондів (елементів транспортних споруд);
- процедури нормування відношення динаміки зміни вартості основних фондів поо відношенню до експлуатаційного стану елементів доріг;
- моделі визначення раціональних програм робіт по підтриманню надійного експлуатаційного стану елементів транспортних споруд в межах фінансування робіт;
- моделі визначення раціональних рівнів фінансування дорожньо-ремонтних робіт.

В процесі створення такої моделі довгострокового планування були використані вже існуючі класифікатори елементів автомобільних доріг та транспортних споруд, які використовуються при складанні статистичної річної звітності дорожніми організаціями. Всі елементи автомобільних доріг розбиті на групи, а в кожену групу включено ряд елементів. Як групи елементів доріг, так і кожен елемент має відповідний код. Класифікація груп елементів автомобільних доріг та транспортних споруд та відповідних їм складових здійснена у відповідності із діючою системою класифікаторів робіт та правил державного обліку та звітності про рух основних виробничих фондів. Фрагмент такого класифікатора наведено в табл.1.

Таблиця 1 – Фрагмент класифікатора елементів транспортних споруд

	Елементи земляного полотна
02	Земляне полотно цементобетонної дороги (та узбіччя), км
03	Земляне полотно асфальтобетонної дороги (та узбіччя), км
04	Земляне полотно чорнощєбеневої дороги (та узбіччя), км
05	Земляне полотно щебеневої дороги (та узбіччя), км
06	Земляне полотно дороги із бруківки (та узбіччя), км

Кінець табл. 1

	Елементи дорожнього одягу
01	Дорожній одяг із цементобетонним покриттям, м2
02	Дорожній одяг із асфальтобетонним покриттям капітального типу, м2
03	Дорожній одяг із асфальтобетонним покриттям полегшеного типу, м2
04	Дорожній одяг із чорно щебеним покриттям, м2

Що стосується процедури визначення строків служби окремих елементів доріг, то слід відзначити можливе використання двох способів – розрахункового та експертного. Враховуючи значну трудомісткість, а інколи і неможливість використання розрахункового способу, було використано при цьому експертний метод. У загальному вигляді складена анкета експертного опитування, що повинна бути заповнена кожним експертом, має вигляд табл. 2.

2. Бажаний список експертів:

Експерт Е1: Працівник апарату управління, який зайнятий проблемами перспективного та поточного планування (як правило, це головний інженер).

Експерт Е2: Працівник апарату управління, який зайнятий проблемами експлуатації доріг і особливо – експлуатаційного утримання.

Експерт Е3: Працівник служби, який зайнятий визначенням зносу елементів доріг (представник бухгалтерії).

Експерт Е4: Працівник служби, який зайнятий формуванням спеціальної статистичної звітності – складанням форми 1 – ДГ.

Експерт Е5: Працівник служби, який зайнятий складанням документів звітності поточного виконання робіт та державної статистичної звітності – представник планової служби.

Експерт Е6: Працівник, який зайнятий в системі приймання та оцінки виконаних робіт (це представник дорожньої лабораторії або інспекції доріг).

У відповідності до розробленої інструкції формування колективів експертів та методичних положень проведення експертного опитування в кожній обласній службі автомобільних доріг була зібрана відповідна інформація та визначені умовно *нормативні* строки служби елементів доріг по окремим регіонам (областях) та по країні в цілому.

Таблиця 2 – Таблиця експертного опитування (фрагмент)

Код еле- мен- та	Найменування елементів транспортних Споруд (груп елементів трудових процесів) <i>та їх одиниці виміру:</i> - до похилої лінії записана перша одиниця виміру; - після – друга одиниця виміру.	Строки служби між реконст- рук- ціями або капітал- ьн. ремонт- ами (в роках)	Строки служби між реконст- рук- ціями або капітал- ьн. ремонта- ми (в роках)	Строки служби до повної заміни або наступного капітально- го ремонту
		Категорія дороги 1	Категорія дороги 2 - 3	Категорія дороги 4 – 5
1	2	3	4	5
	Елементи земляного полотна			
102	Земляне полотно цементобетонної дороги (та узбіччя), км	Строк 102, 1	Строк 102, 2-3	Строк 102, 4-5
103	Земляне полотно асфальтобетонної дороги (та узбіччя), км	Строк 103, 1	Строк 103, 2-3	Строк 101, 4-5
104	Земляне полотно чорнощелевеної дороги (та узбіччя), км	Строк 104, 1	Строк 104, 2-3	Строк 104, 4-5
105	Земляне полотно щелевеної дороги (та узбіччя), км	Строк 105, 1	Строк 105, 2-3	Строк 105, 4-5

Нарахування залишкової та поточної вартості по кожному елементу, як частини основних виробничих фондів, передбачає використання такої базової інформації:

- періоду (року та місяця) знаходження елемента в експлуатації після проведення останніх ремонтно – відновлювальних робіт;
- значення залишкової вартості на період початку реалізації системи;
- значення обсягів проведення ремонтно – відновлювальних та дорожніх робіт в період, що були виконані в реєстраційний термін розрахунків поточної вартості (в натурних одиницях виміру та грошовому виразі).

Загальний алгоритм процедур по визначенню вартості елемента доріг включає такі етапи:

- на певний період часу експлуатації виробничого засобу (елементу дороги) нараховується знос його складових елементів чи всього засобу в цілому;

- із використанням інформації про залишкову балансову вартість засобу на початок періоду визначення зносу та даних про нарахований знос із використанням певних технологічних правил визначення балансової залишкової вартості ведуться її розрахунки;

- визначається доля відношення залишкової балансової вартості на момент розрахунку зносу до балансової вартості на початок періоду нарахування зносу, а з використанням значення долі цього відношення та нормативних правил визначається рівень експлуатаційного стану виробничого засобу;

- на основі інформації про рівень експлуатаційного стану виробничого засобу та нормативні значення використання коштів на одиницю виміру виробничого засобу для його поновлення чи покращання стану визначаються загальні витрати, що потрібні для підняття експлуатаційного рівня певного виробничого засобу.

Таким чином для вирішення задачі по визначенню обсягів коштів для покращання їх експлуатаційного стану актуальними є слідуєчі задачі:

- визначення правил та нормативних значень визначення зносу елементів виробничого засобу чи всього засобу в цілому;

- розробка правил нарахування залишкової балансової вартості виробничого засобу в залежності від системи виробничих операцій, що були виконані по відношенню до нього;

- розробка методики оцінки рівня експлуатаційного стану виробничого засобу в залежності від відношення його залишкової балансової вартості до базисної (першочергової) балансової вартості;

- розробка правил та нормативів нарахування коштів по відновленню елементів виробничого засобу чи всього засобу в залежності від його експлуатаційного рівня.

Визначений вище порядок визначення коштів для реновації основних виробничих фондів можливо перенести і на дорожнє господарство, коли слід вважати, що мережа доріг складається із транспортних споруд, які в свою чергу складаються із елементів, що по різному зношуються можуть бути поновлені із використанням різних технологічних прийомів. Виконання різних технологічних прийомів по зміні експлуатаційного рівня транспортних споруд в подальшому буде називатись ОПЕРАЦІЯМИ, що відповідає положенням про

нарахуванню зносу по елементам транспортних споруд в дорожньому господарстві.

Принципово нарахування зносу відбувається не тільки із визначенням логіки операцій, але також і в залежності від зміни кількісних показників по певним елементам. Це реєструються по елементам із використанням ознак зміни кількості, які мають такі значення:

- 1 – кількісні показники збільшуються;
- 2 – кількісні показники не змінюються;
- 3 – кількісні показники зменшуються.

Можливості нарахування зносу по елементам транспортних споруд чи спорудам в цілому визначаються спеціальними кодами показника нарахування балансової вартості та зносу, який має такі значення:

- 1 – нараховується балансова вартість (додається чи переноситься);
- 2 – нараховується знос по елементу без зміни балансової вартості;
- 3 – нараховується знос по елементам транспортних споруд, значення якого є основою для послідуячого визначення залишкової балансової вартості.

Власне значення зносу, тобто норма (процент чи доля) - K_i i – го елементу транспортної споруди залежить від значення загального строку його експлуатації – T_i , тобто може визначитись по формулі 1:

$$K_i = 1 / T_i. \quad (3.1.)$$

Коли значення всіх строків експлуатації елементів транспортної споруди буде однаковим, що в принципі технологічно не можливо, то норма зносу всіх елементів буде однакова. Таким чином ще раз підкреслюється актуальність задачі нормування строків служби елементів транспортних споруд, а, таким чином, - і норм нарахування зносу по елементам.

Нарахування зносу по елементам транспортних споруд враховує такі вихідні дані:

- значення залишкової балансової вартості елемента на початок періоду нарахування зносу – B_i ;
- строк експлуатації елемента, тобто час (як правило, в місяцях) від останнього нарахування зносу до поточного нарахування зносу – N_i .

При нарахуванні зносу розглядаються різні варіанти, що відповідають таким схемам:

1 – знос під час експлуатації транспортної споруди збільшується і визначається по окремим періодам – місяцям за формулою;

2 – знос під час експлуатації транспортної споруди збільшується і визначається тільки в залежності від залишкової балансової вартості на момент початку періоду розрахунку;

3 - знос під час експлуатації транспортної споруди не змінюється, тобто він не має місця;

4 – знос під час експлуатації транспортної споруди зменшується і визначається тільки в залежності від залишкової балансової вартості на момент початку періоду розрахунку;

5 – знос під час експлуатації транспортної споруди зменшується і визначається по окремим періодам – місяцям.

Ясно, що загальний знос по об'єкту складається із зносу його окремих елементів.

Подальші процедури планування полягають у визначенні на першому етапі обсягів фінансування. Визначення обсягів фінансування дорожнього господарства включає в себе послідовне накопичення інформації про необхідні за певний період витрати коштів для проведення ремонтно-відновлювальних заходів в такій послідовності:

- в залежності від рівня зношення окремих елементів визначаються кошти на їх підтримання в надійному експлуатаційному стані із використанням умовно нормативної інформації;

- для розрахунку витрат коштів на підтримання в надійному стані окремих елементів використовуються таблиці із нормативними даними, що відповідають класифікаційному рівню транспортних споруд;

- витрати коштів на підтримання в надійному стані окремих доріг певного класифікаційного рівня визначаються шляхом складання коштів на підтримання в надійному стані їх складових елементів;

- витрати коштів на фінансування дорожніх робіт окремих мереж доріг (регіонів чи країни в цілому) визначаються шляхом складання всіх коштів, що повинні бути витрачені на підтримання в надійному експлуатаційному стані їх складових доріг.

Таким чином основою розвитку системи розрахунку коштів на розвиток мереж доріг виступають моделі визначення зносу, нарахування поточної

балансової вартості та визначення початкової (необхідної відновлювальної) балансової вартості.

В існуючій на сьогоднішній день системі нарахування зносу елементів транспортних споруд існує ряд недоліків, головні із яких визначають такими положеннями:

- норма зносу всіх елементів однакова і досягає 5%, тобто і строки служби елементів автомобільних доріг однакові і складають 20 років;
- при нарахуванні зносу елементів автомобільних доріг ніяким чином не враховується строк їх служби та його відношення до терміну часу нарахування зносу;
- у всій системі нарахування зносу не відпрацьовані положення про оперативні повідомлення що до відновлення стану елемента в результаті його зносу за нормативний строк служби.

Динамічні процеси урахування строків служби елементів доріг при нарахування їх зносу можуть бути демонстровані на прикладі розвитку зносу двох елементів доріг.

Так перший елемент повинен мати свій нормативний строк служби – $TC1$, а другий елемент – строк служби $TC2$. На момент визначення зносу цих двох елементів строки їх служби будуть по різному враховуватись в загальному часі нарахування зносу – $TЗр$.

Попередній момент часу нарахування зносу кожного елемента приймається однаковим та відповідає відповідно термінам TA та TB . Так як взагалі нарахування зносу по кожному елементу відбувається одночасно, то слід вважати, що послідовний (поточний оперативний) момент часу також однаковий, тобто $TA1 = TB1$.

Строк служби першого елемента – $TC1$ перевищує нормативний термін часу нарахування зносу – $TЗр$. Це значить, що на момент часу нарахування зносу по першому елементу ($TA1$) він буде ще не повністю зношеним і буде мати залишкову поточну (на момент $TA1$) балансову вартість - $ЗВП1$.

Строк служби другого елемента – $TC2$ не перевищує термін часу нарахування зносу – $TЗр$. У відповідності із таким положенням динаміка нарахування зносу та поточної балансової вартості по другому елементу слідує:

- на момент часу нарахування зносу другий елемент повинен бути повністю зношеним, так як перший цикл строку його служби – $ТС2$ вже закінчився;
- напередодні моменту часу нарахування на другому елементі повинні бути проведені ремонтно-відновлювальні заходи - $PВЗ2$, за час $t_{зал.2}$, які сприяють досягненню другого елемента до потрібного експлуатаційного стану;
- сума коштів на проведення ремонтно-відновлювальних заходів – $PВЗ2$ уявляє собою не що інше як початкову (відновлювальну) балансову вартість по другому елементу – $ПБВ2$ на момент часу нарахування зносу.

Таким чином на момент часу нарахування зносу по другому елементу ($ТВ1$) він буде ще не повністю зношеним і буде мати залишкову поточну (на момент $ТВ1$) балансову вартість - $ЗВП2$.

Визначення поточної залишкової вартості по двом елементам відбувається із використанням відношень:

$$ЗВП1 = ПБВ1 \times НЗ1 \times Т1 , \quad (2)$$

$$ЗВП2 = ПБВ2 \times t_{зал.2} , \quad (3)$$

де $НЗ1, НЗ2$ – відповідно норма зносу по першому та другому елементах;
 $Т1, t_{зал.2}$ - відповідно періоди нарахування зносу по першому та другому елементах.

В системі нарахування зносу особливе місце займає оперативне урахування проведення $PВЗ$, сума яких позитивно впливає на залишкову балансову вартість – вона збільшується. Тому проведення $PВЗ$ із інтенсивністю, що перевищує потреби у підтриманні експлуатаційного стану елемента дороги, може визвати накопичення на балансі значних коштів, які по суті ніяким чином не впливають позитивно на експлуатаційний стан елемента. При детальному аналізі ситуацій нарахування зносу та залишкової балансової вартості може бути виявлено, що:

- проведення ремонтно-відновлювальних заходів робіт на елементі дороги – необхідно тоді, коли:

$$0 < 3Bit < H3Bit, \quad (4)$$

де $3Bit$ – поточне значення залишкової вартості i - го елемента в t - ий момент нарахування його зносу;

$H3Bit$ – номінальне значення балансової вартості i - го елемента в t - ий момент нарахування зносу, що забезпечує його надійний експлуатаційний стан;

- проведення ремонтно-відновлювальних заходів не може бути хаотичним – у крайньому разі вони повинні виконуватись не частіше термінів, що визначені строками служби. Найкращим виходом із становища, коли накопичена сумарна балансова вартість – $3BM$ перевищує початкову (відновлювальну) балансову вартість елемента - $ПБВ$, є приведення значення $3BM$ до $ПБВ$. У цьому випадку можлива реалізація таких процедур, як: списання залишку балансової вартості або не проведення ремонтно-відновлювальних заходів до тих пір, поки не виникне ситуація $3BM = ПБВ$ при дотриманні можливого технологічного стану елемента.

Тоді визначення обсягів фінансування проведення ремонтно-відновлювальних заходів, тобто обсягів фінансування робіт по кожному елементі - $OFit$, визначається такими відношеннями:

$$OFit = Hp3Bit \times Vi, \quad \text{коли} \quad 0 < 3Bit < H3Bit, \quad (5)$$

$$OFit = H3Bit \times (Hp3Bit \times Vi), \quad \text{коли} \quad 3Bit > H3Bit, \quad (6)$$

де $Hp3Bit$ – норма нарахування коштів для проведення ремонтно-відновлювальних заходів для певного елемента, що відповідає певній кваліфікаційній групі об'єктів;

Vi - обсяги робіт (у визначених одиницях виміру) по i – му елементу.

Визначення норми нарахування коштів для проведення ремонтно-відновлювальних заходів по певному елементу доріг – $Hp3Bit$ є предметом подальших досліджень, що найкращим чином визначається із використанням експертних методів.

В цілому моделювання процесів фінансування дорожнього господарства можливо у першому наближенні здійснити із використанням укрупненої інформації про необхідні обсяги фінансування окремих елементів транспортних споруд в залежності від їх транспортно-експлуатаційного стану. При цьому використовується гіпотеза, основні положення якої визначають наступне:

1. Кожен i – ий елемент транспортної споруди за час його служби – TC_i повністю втратить свою здатність підтримувати нормальний експлуатаційний стан, тобто його залишкова балансова вартість на період завершення строку служби елемента буде дорівнювати нулю, тобто $ZB_{mi} = 0$.

2. На момент завершення строку служби i – го елемента транспортної споруди для подальшого підтримання його стану повинні бути проведені в достатньому обсязі ремонтно-відновлювальні заходи – PBZ_i , тобто елемент повинен бути поновлено, а його балансова вартість, яку в подальшому слід називати початковою (оновленою) балансовою вартістю, буде мати певне значення – PBB_i не буде дорівнювати нулю.

3. На момент визначення зносу елемента транспортної споруди із використанням заснованого значення як строку служби, так і відповідної норми зносу, що відбувається кожного місяця, визначається і його поточна залишкова вартість на цей момент – ZB_{ni} , величина якої буде знаходитись в інтервалі:

$$PBB_i > ZB_{ni} < ZB_{mi}. \quad (7)$$

Відношення ZB_{ni} / PBB_i виступає критерієм оцінки стану елемента, так як із зменшенням цього відношення у будь-якому разі зменшується і експлуатаційний стан цього елемента. Відношення ZB_{ni} / PBB_i можливо назвати коефіцієнтом зношення елемента транспортної споруди – Kz_i .

Так як різні елементи транспортних споруд мають різні строки служби, тобто відрізняються динамікою зносу за часом, а, таким чином, і визначенням поточної залишкової вартості – ZB_{ni} , то очевидно кожен із них повинен мати свою міру (рівні) визначення відношення ZB_{ni} / PBB_i . Найкращим чином це відношення - ZB_{ni} / PBB_i слід було б зважити (віднести) на строк служби елемента, тобто як $(ZB_{ni} / PBB_i) / TC_i$. Але така процедура визначення рівнів фіксації відношення залишкової поточної вартості до початкової (оновленої) балансової вартості ускладнює подальші процеси створення нормативної бази

для витрат коштів на поновлення елементів в залежності від його “зношення”. З метою завдання єдиного базису для визначення коефіцієнтів зношення елементів доріг пропонується нормувати значення цього коефіцієнта в інтервалі від 0 до 1. Це значить, що можуть існувати рівні оцінки стану елемента транспортної споруди.

Визначення обсягів фінансування окремих елементів вимагає створення відповідної нормативної бази, а створення цієї бази в свою чергу вимагає накопичення інформації про порядок проведення ремонтно-відновлювальних заходів на окремих елементах транспортних споруд, які в свою чергу повинні бути розподілені на групи за певним призначенням чи статусом експлуатаційного значення. До показника такого класифікатора транспортних споруд слід насамперед віднести класифікацію автомобільних доріг за категоріями, а також їх віднесення до певної адміністративної належності. Такого класифікаційного сполучення транспортних споруд – за категорійністю та адміністративним призначенням – досить для подальшого накопичення базисної інформації.

До базисної інформації розвитку нормативної бази фінансування елементів транспортних споруд в залежності від їх коефіцієнта зношення слід віднести:

- інформацію про початкову (оновлену) балансову вартість певного i – го елемента – $ПБВ_i$, що може бути відображена вартістю проведення робіт по встановленню експлуатаційних якостей елемента на дорозі певної категорії відповідного адміністративного призначення. Це може бути, наприклад, вартість капітального ремонту 1 км дороги II категорії державного призначення, або встановлення одного дорожнього знака на автомобільній дорозі III категорії територіального призначення, або відновлення 1 з’їзду із твердим покриттям на дорозі II категорії обласного значення та ін.;

- розподіл початкової (оновленої) балансової вартості кожного елемента – $ПБВ_i$ по окремим рівням його транспортного стану. Наприклад, розподіл балансової вартості по відновленню дорожньої розмітки може бути рівномірним по всім рівням транспортного стану. Також очевидно рівномірним буде розподіл балансової вартості по рівням експлуатаційного стану такого елемента як зелені насадження – декоративного чи спеціального призначення.

Але підтримання в транспортному стані дорожнього одягу, що вимагає проведення певних ремонтів, відповідає певній черговості їх проведення.

Отримання інформації про початкову балансову вартість та значення рівнів і міру (частину) відновлення цієї балансової вартості можливо із використанням кількох методів:

- розрахункового методу, коли така інформація може бути визначена на основі даних проектно-кошторисної документації;
- нормативно-технологічного методу, коли всі дані про обсяги коштів на відновлення елементу, інтервали часу його поновлення та обсяги витрат на таке поновлення можуть бути розраховані спеціалістами;
- експертного методу, тобто шляхом збору та послідууючої обробки експертної інформації.

Перші два методи досить дорогі, так як перший із них вимагає для свого проведення значних ресурсів, а другий проведення досить об'ємних розрахунків. Таблиця експертного опитування для визначення інформації про початкову (оновлену) балансову вартість елементів доріг – *ПБВі*, рівні та міру поновлення елементів уявляється також рядом таблиць. Розроблені форми таких таблиць та технологія обробки інформації, яку вони вміщують, орієнтовані на реалізацію системи планування на різних рівнях – для окремих доріг, окремими класифікаційних груп доріг та окремих регіонів.

Висновки

Наведені вище концептуальні положення створення моделі системи довгострокового планування на основі використання даних про поточну вартість дорожніх активів та їх зв'язок із експлуатаційним станом, обсягами і термінами виконання дорожніх робіт та проведенням за різними формами ремонтно – відновлювальних заходів орієнтовані на отримання узагальнюючої вихідної інформації довгострокових планів.

Рецензенти

Ф.П. Гончаренко, канд. техн. наук, ДП “Укрдіпродор” (Київ)

Є.Б. Угненко, д-р техн. наук, ХНАДУ (Харків)

Reviewers

F.P.Honcharenko, Ph.D., “Ukrdiprodor” (Kyiv)

Ye.B. Uhnenko, Dr.Tech.Sci., KhNAHU (Kharkiv)

УДК 556.048:519

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

О ВЗАИМОСВЯЗИ ПАМЯТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ И ПИКОВОГО ГОДОВОГО РАСХОДА ВОДЫ РАВНИННЫХ РЕК

Аннотация. Приведены результаты оценки долговременной и кратковременной памяти гидрологических временных рядов рек одного бассейна.

Отмечено снижение памяти ряда по мере увеличения годовых пиковых расходов воды.

Для методов прогнозирования расходов, учитывающих факторы наличия памяти ряда, рассмотрены некоторые причины снижения качества прогноза в периоды экстремальных гидрологических ситуаций.

Ключевые слова: методы оценки памяти временного ряда, долговременная и кратковременная память гидрологического ряда.

Анотація: Наведені результати оцінки довгострокової і короткочасної пам'яті гідрологічних часових рядів річок одного басейну.

Відзначено зниження пам'яті ряду зі збільшенням річних пікових витрат води.

Для методів прогнозування витрат, які враховують фактори наявності пам'яті ряду, розглянуті деякі причини зниження якості прогнозу в періоди екстремальних гідрологічних ситуацій.

Ключові слова: методи оцінки пам'яті часового ряду, довгострокова і короткочасна пам'ять гідрологічного ряду.

Annotation. In this article are brought results for rating long-term and short-term memories in hydrological time series of the rivers of one tributary basin.

Are noted the reduction of time series memory when increase the peak annual expenses of water.

For forecasting methods founded on memories presence in time series some reasons of the reduction of prediction quality at extreme periods of hydrological situation are considered.

Keywords: methods of rating memory for time-series, long – term and short – term memory in hydrological series.

Введение

Традиционно в гидрологии процессы изменчивости речного стока рассматривались как результат воздействия многих факторов, что предопределило преимущественно стохастический подход к их изучению.

При этом в качестве рабочей гипотезы исследователи обычно выбирали теорию Гаусса.

Однако для анализа ситуаций, плохо аппроксимируемых нормальным распределением, требуются более совершенные инструменты исследования, позволяющие с новых позиций и более широко изучать природу гидрологических рядов [1, 2].

Одним из эффективных инструментов исследования временных гидрологических рядов является оценка их методом «нормированного размаха», предложенный в свое время британским гидрологом Г. Хёрстом как итог его изучения годовых стоков р. Нил.

Изучая статистику объемов стоков рек, он предложил новую статистическую методологию различия случайных и неслучайных процессов.

Исследования Г. Хёрста, а позже Е. Федера и Б. Мандельброта, различных природных рядов показали, что такие ряды обладают т.н. долговременной памятью.

Оценка и учет долговременной, а также кратковременной памяти гидрологических рядов позволило разрабатывать более совершенные прогнозные модели, в том числе модели опасных гидрологических явлений (экстремально высоких паводков, наводнений и пр.).

Дальнейшее исследование этих вопросов определило цель настоящей работы.

Исходные данные

В процессе работы использовались данные для шести равнинных рек бассейна

р. Десна.

Данные представляли собой ряды среднесуточных расходов воды, м³/с.

Для упрощения анализа данных значения, соответствующие 29 февраля высокосных годов, не рассматривались. То есть любой год был представлен только 365 значениями соответствующих расходов.

Поскольку использовались данные, принадлежащие рекам с существенно различными расходами (см. таблицу), в дальнейшем можно говорить о некоторых обобщениях по результатам проводимых исследований.

Таблица 1 - Средние многолетние расходы исследуемых рек

Порядковый номер реки	Период анализа, годы	Средний многолетний расход, м ³ /с
Река 1	1960...2009	5
Река 2	1960...2009	8
Река 3	1950...1989	23
Река 4	1960...2009	29
Река 5	1960...2009	94
Река 6	1900...2004	332

Показатель (критерий) Хёрста

Для анализа гидрологических рядов используем метод «нормированного места для формулы размаха» Хёрста, который позволяет исключить влияние различных временных отрезков ряда за счет введения безразмерного отношения R/S :

$$(R/S)_N = (A * N)^H, \quad (1)$$

где R – размах отклонения величины $X (R = \max X - \min X)$;

S – стандартное отклонение исходных наблюдений;

N – число наблюдений;

A – произвольная положительная константа (в данном случае используется значение $A=1$);

H – показатель Хёрста.

Хёрст предложил формулу для оценки величины H по значению R/S :

$$H = \frac{\log(R/S)}{\log(N \cdot A)} . \quad (2)$$

Формула (2), по сути, определяет методологию вычислений показателя Хёрста.

Авторами был разработан свой алгоритм расчёта показателя Хёрста, который был использован в дальнейшем при оценке величины H .

Как известно, основным достоинством критерия Хёрста является устойчивость его к априорному распределению временного ряда. То есть критерий будет одинаково хорошо работать вне зависимости от того, какому виду распределения будет подчиняться временный ряд.

Когда с помощью этого критерия анализируют временные ряды, обычно выделяют три различных интервала:

$$0 \leq H < 0,5$$

$$H = 0,5;$$

$$0,5 < H \leq 1$$

Значение $H = 0,5$ указывает на случайный ряд. События случайны и не коррелированы между собой. Настоящее не влияет на будущее.

Диапазон значений $0 \leq H < 0,5$ соответствует антиперсистентным (эргодическим) рядам.

Обычно если антиперсистентная система демонстрирует рост в предыдущий период, то, скорее всего, в следующем периоде будет отмечаться ее спад (и наоборот). При $0,5 < H \leq 1$ имеем персистентные (трендоустойчивые) ряды.

Если персистентный ряд возрастает (убывает) в предыдущий период, то он будет сохранять эту тенденцию еще определённое время в будущем.

Для персистентных рядов любое наблюдение не является независимым, поскольку несёт определённую память обо всех предшествующих событиях.

С таких позиций в данный момент недавние события имеют большее влияние, чем события отдаленные, но остаточное влияние любых предыдущих событий всегда ощутимо.

Взаимосвязь пикового годового расхода воды и показателя Хёрста H

Численные эксперименты проводились следующим образом.

Для каждого года выбирали максимальное (пиковое) значение расхода Q_{max} , без привязки к конкретному месяцу.

Далее для всех значений среднесуточных расходов данного года определялся показатель Хёрста H .

Таким образом, для одного года получали точку с координатами $[Q_{max}; H]$.

Затем каждая такая точка наносилась на график для соответствующей реки. Понятно, что для гидрологического ряда длиной, например, 50 лет, на график будет нанесено 50 точек.

С целью усиления информативности графиков через полученное собрание точек с помощью метода наименьших квадратов проводилась прямая линия.

Отметим, что в данном случае каждый годовой ряд расходов рассматривался как ряд уникальный, не связанный со свойствами ряда для другого года.

Как оказалось, по мере увеличения пикового годового расхода Q_{max} показатель Хёрста H уменьшается. Соответственно, прямые на графиках идут вниз (рис.1).

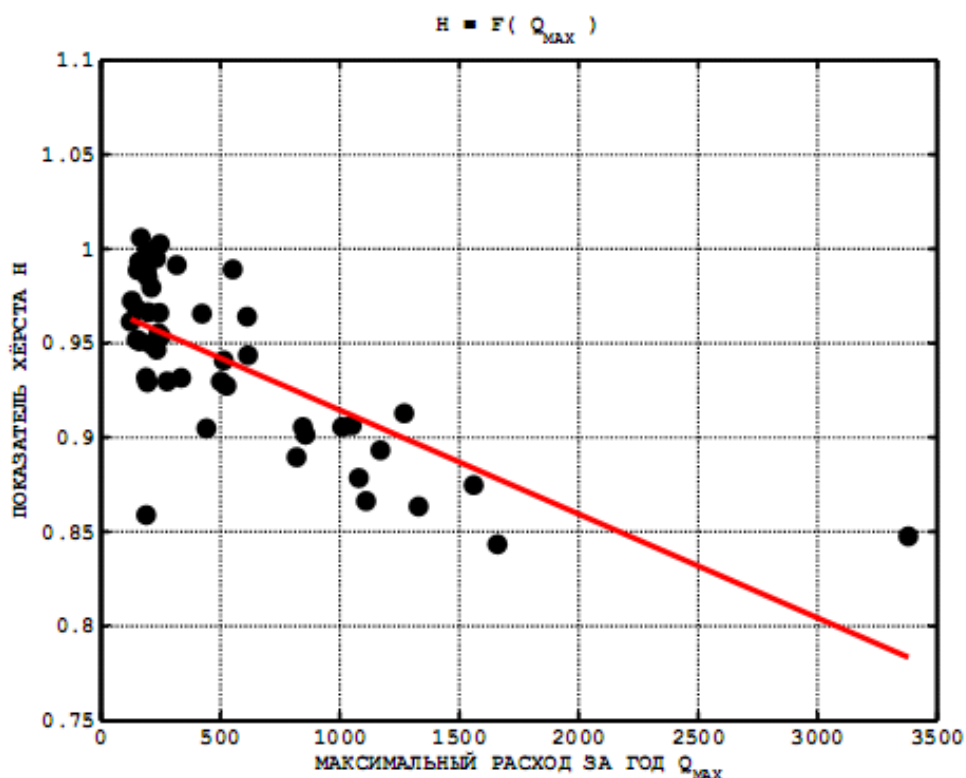


Рисунок 1 - Взаимосвязь пикового годового расхода воды Q_{max} и показателя Хёрста H для реки 5

Если трактовать величину ежегодного показателя Хёрста H с позиции долговременной памяти, то такая память падает по мере возрастания величины пикового расхода для всех рек бассейна.

Другими словами, в годы максимальных (пиковых) расходов воды (имеется в виду величина самого пика) долговременная память заметно уменьшается по сравнению с годами, когда наблюдаются меньшие по величине значения пиковых расходов.

Численные эксперименты проводились с помощью мультиплатформенного программного обеспечения, которое работает без каких-либо модификаций в различных ОС (в данном случае в *WINDOWS* и *LINUX*).

Взаимосвязь кратковременной памяти гидрологического ряда и величины пикового годового расхода

Рассмотрим еще один показатель, связанный непосредственно с памятью временных рядов. Для этого используем автокорреляционную функцию [3].

Определим временную задержку TAU , при которой имеет место «первый ноль» этой функции.

Разработанный алгоритм позволяет фиксировать время первого изменения знака автокорреляционной функции, т.е. переход от положительного значения к отрицательному ее значению.

Поскольку «первый ноль» означает, что полностью теряется корреляция между исходным рядом и сдвинутой по времени копией исходного ряда, это в некоторой степени может служить характеристикой памяти временного ряда.

При использовании «первого нуля» автокорреляционной функции глобальные свойства временного ряда, скорее всего, не рассматриваются. В этом случае следует говорить только о его кратковременной памяти.

Численные эксперименты проводились по аналогии с экспериментами, рассмотренными в предыдущем разделе. Однако теперь измерялось дискретное время TAU , выраженное в точках ряда, когда автокорреляционная функция достигала своего «первого нуля».

Один из результатов таких экспериментов представлен на рис. 2.

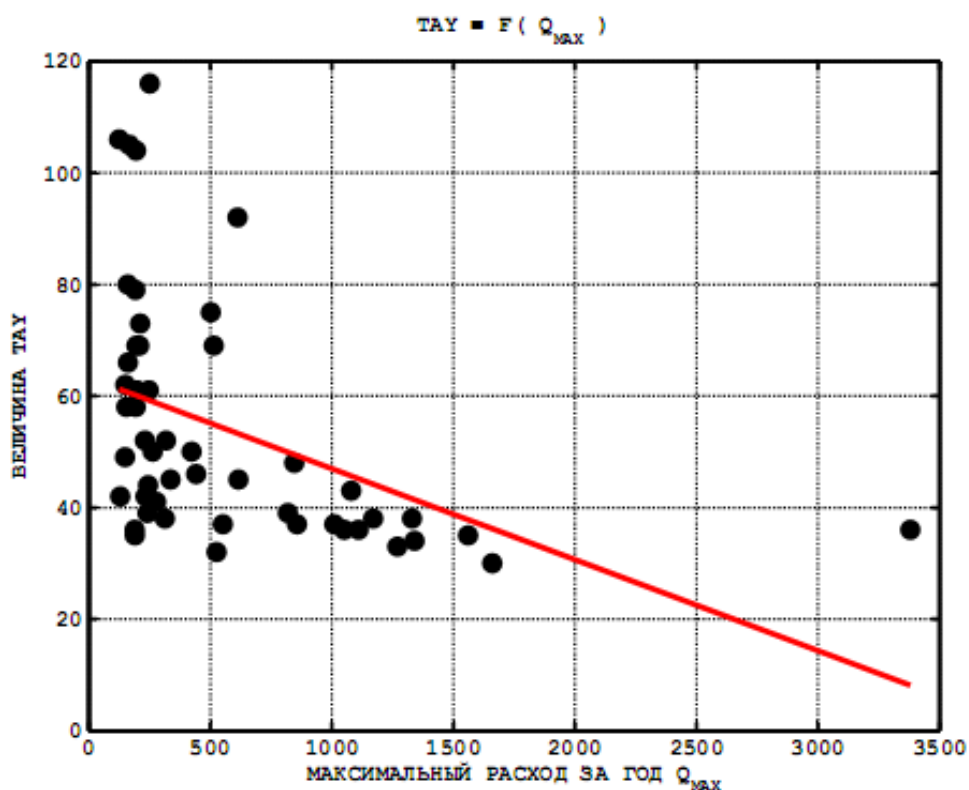


Рисунок 2 - Взаимосвязь пикового годового расхода воды Q_{max} и величины дискретного времени TAY для реки 5

Как оказалось, характер поведения TAY при росте значений Q_{max} для всех шести рек качественно такой же, как и поведение H .

То есть, как кратковременная память гидрологических временных рядов (если считать, что она характеризуется величиной TAY), так и долгосрочная память (если считать, что она характеризуется величиной H) заметно уменьшаются по мере увеличения годовых пиковых расходов воды. Это в какой-то мере может свидетельствовать об универсальности обнаруженного нами явления.

Снижение качества прогнозирования для периодов пиковых расходов

В настоящее время существует достаточно большое количество методов прогнозирования временных рядов, учитывающих наличие как кратковременной, так и долгосрочной памяти ряда.

Методы, использующие кратковременную память, обычно рассматривают только небольшую окрестность временного ряда (например, методы

авторегрессии). Разработан также целый ряд методов прогнозирования, для которых важна и долговременная память ряда. К таким методам следует отнести, например, методы локальной аппроксимации (*LA*-методы), основанные на поисках аналогов по всей длине временного ряда [4, 5].

Как известно, методы, основанные на поисках аналогов, в момент манипуляций с найденными аналогами (а это, собственно, непосредственный процесс прогнозирования) подразумевают, что близкие начальные условия в течение некоторого небольшого промежутка времени должны приводить и к близким результатам (если время прогноза невелико и правильно выбраны параметры прогнозирования). То есть это означает, что подобные процедуры прогнозирования используют свойства как долговременной, так и кратковременной памяти временного ряда.

Можно полагать, что долговременная и кратковременная память гидрологического ряда определенным образом связаны друг с другом: обычно уменьшение долговременной памяти приводит и к уменьшению кратковременной памяти (по крайней мере, это согласуется с практикой).

Для *LA*-методов необходимо наличие во временном ряду долговременных циклов, где должен обнаруживаться как минимум один аналог. Однако учитывая, что случаи, когда фиксируются максимальные значения пиковых расходов, встречаются достаточно редко, длина гидрологического ряда может оказываться недостаточной для нахождения аналогов требуемого качества.

Как показали проведенные исследования, результаты прогнозирования *LA*-методом нулевого порядка для участков максимальных значений пиковых расходов получаются заведомо хуже по сравнению с участками ряда, где анализируются меньшие по величине значения пиковых расходов (даже если имеется достаточное число найденных аналогов). То есть для максимально больших пиков качество найденных аналогов оказывается всегда ниже, чем при наличии меньших по величине пиков.

Выводы

Для шести различных рек, относящихся к одному бассейну, были проанализированы величины годовых показателей Хёрста H , времени достижения «первого нуля» автокорреляционной функции TAU (выраженной в точках исследуемого ряда) и пиковых годовых расходов воды Q_{max} .

Обнаружена общность в поведении величины H и TAU в зависимости от величины Q_{max} , а именно тенденция заметного уменьшения этих величин при увеличении значений пиковых годовых расходов.

Рассмотрены некоторые возможные причины снижения качества прогнозирования методом локальной аппроксимации для периодов пиковых расходов.

Литература

1. Найдёнов В.И. Нелинейная динамика поверхностных вод суши. – М.: Наука, 2004. – 318 с.
2. Коваленко В.В. Частично инфинитная гидрология. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2007. – 230 с.
3. Павлов А.Н. Методы анализа сложных сигналов. – Саратов: Научная книга, 2008. – 120с.
4. Артеменко В.А. Прогнозування нерегулярних часових рядів методом локальної аппроксимації/В.А. Артеменко, В.В. Петрович// Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Вип. 86. –К.: Вид-во НТУ, 2012. –С.176-195.
5. Артеменко В.А. Повышение качества прогнозирования гидрологических временных рядов/В.А. Артеменко, В.В. Петрович// Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Вип. 92. –К.: Вид-во НТУ, 2014. –С.146-127.

Рецензенти

М.Т. Кузло, д-р техн. наук, НУВГП (Рівне)

А.В. Мішутін, д-р техн. наук, ОДАБА (Одеса)

Reviewers

M.T. Kuzlo, Dr.Tech.Sci., NUWM (Rivne)

A.V. Mishutin, Dr.Tech.Sci., OSACEA (Odesa)

Кузлю М.Т., д-р техн. наук

ПРО ДЕЯКІ АНАЛІТИЧНІ РІШЕННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ НЕСТАЦІОНАРНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ПРИ ОСУШЕННІ ГРУНТОВОГО МАСИВУ

Анотація. Отримано аналітичний розв'язок диференціального рівняння нестационарної фільтрації при осушенні ґрунтового масиву. Це дає можливість встановити положення депресійної поверхні в ґрунтовому масиві у будь-який момент часу при пониженні рівня води в горизонтальних паралельних дренах з різною інтенсивністю.

Ключові слова: ґрунтовий масив, фільтрація, горизонтальні дренаи, депресійна поверхня.

Аннотация. Получены аналитические решения дифференциального уравнения нестационарной фильтрации при осушении ґрунтового массива. Это даст возможность установить положения депрессионной поверхности в ґрунтовому массиве в любой момент времени при понижении уровня воды в горизонтальных дренах с различной интенсивностью.

Ключевые слова: ґрунтовый массив, фильтрация, горизонтальные дренаи, депрессионная поверхность.

Annotation. The analytical solution of differential equation of nonstationary filtration under the drainage of soil massif has been obtained. It gives an opportunity to determine the position of depression surface in any time moment under the reduction of water level in horizontal parallel drains with different intensity.

Keywords: soil massif, filtration, horizontal drains, depression surface.

Вступ

Для осушення значних територій від розміщення високого рівня ґрунтових вод часто доводиться влаштовувати різноманітні дренажні системи або канали. Особливо це питання є актуальним при влаштуванні гідромеліоративних осушувальних систем. При цьому виникає необхідність з

визначення положення депресійної поверхні в ґрунтовому масиві на будь-який момент часу при пониженні рівня води в горизонтальних дренах або відкритих водотоках з різною інтенсивністю.

Основна частина

Аналіз останніх досліджень показав, що існує ряд теоретичних рішень і розроблених експериментальних методик з визначення положення депресійної поверхні в ґрунтовому масиві при пониженні рівня води в дренажних системах, або відкритих водотоках [1, 2, 3, 4, 5]. Однак, питання з визначення положення депресійної поверхні в ґрунтовому масиві на будь-який момент часу при пониженні рівня води в горизонтальних паралельних дренажних системах з різною швидкістю недостатньо вивчено. Для спрощення рішення поставленої задачі прийняті припущення:

- 1) розглядається водопроникний однорідний ґрунтовий масив, що розміщений на водонепроникних ґрунтах;
- 2) пониження рівня води у відкритих горизонтальних дренах відбувається за лінійним законом зі швидкістю V_0 та V_1 .

Необхідно розрахувати положення депресійної поверхні в ґрунтовому масиві у будь-який момент часу при пониженні рівня води в горизонтальних паралельних дренах зі швидкістю V_0 та V_1 .

Розрахункова схема поставленої задачі наведена на рис. 1.

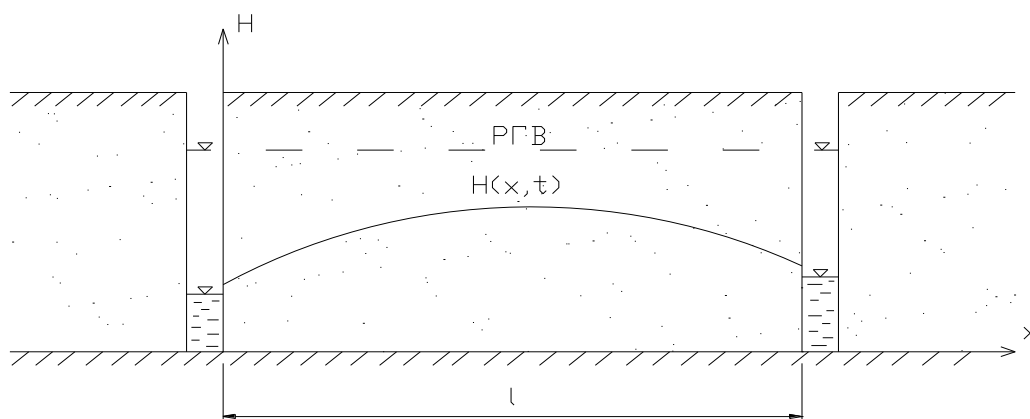


Рисунок 1 – Розрахункова схема динаміки депресійної поверхні в ґрунтовому масиві при пониженні рівня води в горизонтальних дренах

В даному випадку в ґрунтовому масиві виникає нестационарний фільтраційний потік, який описується рівнянням

$$\frac{kh}{\mu} \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} = \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт фільтрації; h – потужність фільтраційного потоку;
 μ – коефіцієнт водовіддачі.

Відношення $\frac{kh}{\mu}$ називають коефіцієнтом водопровідності, яке можна записати у вигляді a^2 . Це означає, що воно завжди має додатне значення. Тоді рівняння (1) набуде вигляду:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 H}{\partial x^2}. \quad (2)$$

Крайові умови для визначення положення депресійної поверхні в ґрунтового масиву при пониженні рівня води в горизонтальних дренах за лінійним законом запишуться у вигляді:

$$H(x, 0) = H_0(x), \quad (3)$$

$$H(0, t) = H_0(0) - V_0 t, \quad (4)$$

$$H(l, t) = H_0(l) - V_l t. \quad (5)$$

Зведемо однорідне рівняння до неоднорідного, але з однорідними граничними умовами. Для цього проведемо заміну:

$$H(x, t) = u(x, t) + H_0(0) - V_0 t + \frac{H_0(l) - V_l t - (H_0(0) - V_0 t)}{l} x. \quad (6)$$

Матимемо наступну задачу:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + f(x), \quad (7)$$

$$u(x, 0) = H_0(x) - H_0(0) - \frac{H_0(l) - H_0(0)}{l} x, \quad (8)$$

$$u(0, t) = u(l, t) = 0, \quad (9)$$

де
$$f(x) = V_0 + \frac{V_l - V_0}{l} x. \quad (10)$$

Позначимо $u(x, 0) = \varphi(x)$. Знайдемо розв'язок отриманої крайової задачі [6]:

$$u_t(x, t) = a^2 u_{xx}(x, t) + f(x, t), \quad t > 0, \quad x \in (0, l), \quad (11)$$

$$u(x, 0) = \varphi(x), \quad x \in [0, l], \quad (12)$$

$$u(0, t) = 0, \quad u(l, t) = 0, \quad t \geq 0. \quad (13)$$

Згідно принципу редукції, розв'язок задачі (11), (12), (13) будемо шукати у вигляді

$$u(x, t) = z(x, t) + v(x, t), \quad (14)$$

де $z(x, t)$ є розв'язком задачі

$$z_t(x, t) = a^2 z_{xx}(x, t), \quad t > 0, \quad x \in (0, l), \quad (15)$$

$$z(x,0)=\varphi(x), x \in [0,l], \quad (16)$$

$$z(0,t)=0, z(l,t)=0, t \geq 0, \quad (17)$$

а $v(x,t)$ є розв'язком задачі

$$v_t(x,t)=a^2 v_{xx}(x,t)+f(x,t), t > 0, x \in (0,l). \quad (18)$$

$$v(x,0)=0, x \in (0,l), \quad (19)$$

$$v(0,t)=0, v(l,t)=0, t \geq 0. \quad (20)$$

Розв'яжемо методом розділення змінних (методом Фур'є) задачу (15) – (17). Будемо вимагати, щоб початкова та граничні умови були не суперечливі, тобто, вони задовольняють умову узгодженості:

$$\varphi(0)=\varphi(l)=0. \quad (21)$$

Розв'язок крайової задачі (15) – (17) шукаємо у вигляді

$$z(x,t)=T(t)X(x) \neq 0. \quad (22)$$

Підставивши (22) у рівняння (15) і граничні умови (17) та відокремивши змінні, отримаємо рівняння для функції $T(t)$

$$T'(t)+a^2 \lambda T(t)=0, \quad (23)$$

та для функції $X(x)$

$$X''(x)+\lambda X(x)=0, \quad (24)$$

$$X(0)=0, X(l)=0, \quad (25)$$

де λ – довільна стала.

Як відомо, власними значеннями спектральної задачі (24), (25) є $\lambda_n = \left(\frac{\pi n}{l}\right)^2$, $n=1, 2, \dots$, а відповідні власні функції мають вигляд:

$$X_n(x)=C_n \sin \frac{\pi n}{l} x, \quad (26)$$

де $C_n = const$.

Підставивши власні значення λ_n в рівняння (23), одержимо:

$$T'_n(t)+\left(\frac{\pi n a}{l}\right)^2 T_n(t)=0. \quad (27)$$

Інтегруючи звичайне диференціальне рівняння (27), маємо:

$$\frac{dT_n}{dt} = -\left(\frac{\pi n a}{l}\right)^2 T_n,$$

$$\frac{dT_n}{T_n} = -\left(\frac{\pi n a}{l}\right)^2 dt,$$

$$\ln|T_n| = -\left(\frac{\pi a}{l}\right)^2 t + c,$$

$$T_n(t) = B_n e^{-\left(\frac{\pi a}{l}\right)^2 t}, \quad (28)$$

де $B_n = e^c = \text{const.}$

Згідно (20), функції $z_n(x, t) = A_n e^{-\left(\frac{\pi a}{l}\right)^2 t} \sin \frac{\pi}{l} x$, $n=1, 2, 3, \dots$,

де $A_n = C_n \cdot B_n$, задовольняють рівняння (15) та граничні умови (17). В силу лінійності та однорідності рівняння (15) сума частинних розв'язків

$$z(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n e^{-\left(\frac{\pi a}{l}\right)^2 t} \sin \frac{\pi}{l} x \quad (29)$$

також задовольняє даному рівнянню та граничним умовам (17).

Коефіцієнти A_n вибирають так, щоб ряд (29) задовольняв початкову умову (16).

Тобто,

$$z(x, 0) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin \frac{\pi}{l} x = \varphi(x). \quad (30)$$

Нехай, $\varphi(x) \in C^1(0, l)$ і задовольняє умову узгодженості:

$$\varphi(0) = \varphi(l) = 0.$$

Тоді $\varphi(x)$ розкладається в ряд Фур'є за системою власних функцій $\sin \frac{\pi}{l} x$ і з (30) отримаємо:

$$A_n = \frac{2}{l} \int_0^l \varphi(\xi) \sin \frac{\pi}{l} \xi d\xi. \quad (31)$$

Можна показати, що ряд (29), де A_n визначається за формулою (31), при $\varphi(x) \in C^1([0; l])$, на сегменті $(0, l)$ можна почленно диференціювати довільну кількість разів, як по x , так і по t , причому він визначає неперервну функцію на $[0, l]$. Це обґрунтовує одержаний результат.

Функцію $v(x, t)$, як розв'язок крайової задачі (18) – (20) шукаємо у вигляді

$$v(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} T_n(t) X_n(x), \quad (32)$$

де $X_n(x)$ є власними функціями задачі (24), (25). Тобто, $X_n(x) = \sin \frac{\pi}{l} x$ (довільні константи покладені рівними одиниці). Ряд (32) задовольняє граничні

умови (20). Потрібно вибрати функції $T_n(t)$ таким чином, щоб він також задовольняв рівняння (18) та початкові умови (19).

Припустимо, що функцію $f(x, t)$ можна розкласти в ряд Фур'є за системою власних функцій $\sin \frac{\pi n}{l} x$:

$$f(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} f_n(t) \sin \frac{\pi n}{l} x, \quad (33)$$

де

$$f_n(t) = \frac{2}{l} \int_0^l f(\xi, t) \sin \frac{\pi n}{l} \xi d\xi. \quad (34)$$

Підставляючи ряди (32), (33) у рівняння (18), одержимо

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left[T_n'(t) + \left(\frac{\pi n a}{l} \right)^2 T_n(t) - f_n(t) \right] \sin \frac{\pi n}{l} x = 0,$$

що можливо лише у випадку

$$T_n'(t) + \left(\frac{\pi n a}{l} \right)^2 T_n(t) - f_n(t) = 0, n = 1, 2, \dots \quad (35)$$

Для того, щоб функція $v(x, t)$ задовольняла початкову умову (19) необхідно щоб

$$T_n(0) = 0, n = 1, 2. \quad (36)$$

Лінійне звичайне диференціальне рівняння першого порядку (35) розв'яжемо методом Бернуллі. Розв'язок шукаємо у вигляді

$$T_n(t) = p(t) \cdot \omega(t).$$

Тоді з (35) маємо:

$$p' \cdot \omega + p \cdot \omega' + \left(\frac{\pi n a}{l} \right)^2 p \cdot \omega = f_n(t),$$

$$p' \cdot \omega + p \left(\omega' + \left(\frac{\pi n a}{l} \right)^2 \omega \right) = f_n(t). \quad (37)$$

Функцію $\omega(t)$ виберемо з

умов :

$$\omega' + \left(\frac{\pi n a}{l} \right)^2 \omega = 0,$$

$$\frac{d\omega}{dt} = - \left(\frac{\pi n a}{l} \right)^2 \omega,$$

$$\frac{d\omega}{\omega} = - \left(\frac{\pi n a}{l} \right)^2 dt,$$

$$\ln|\omega| = -\left(\frac{\pi a}{l}\right)^2 t + c.$$

Тоді, наприклад, можемо взяти

$$\omega = e^{-\left(\frac{\pi a}{l}\right)^2 t}. \quad (38)$$

Враховуючи (38), з (37) маємо:

$$\begin{aligned} p' \cdot e^{-\left(\frac{\pi a}{l}\right)^2 t} &= f_n(t), \\ p' &= f_n(t) e^{\left(\frac{\pi a}{l}\right)^2 t}, \\ p(t) &= \int_0^t f_n(\tau) e^{\left(\frac{\pi a}{l}\right)^2 \tau} d\tau + c. \end{aligned}$$

Тобто,

$$T_n(t) = \left(\int_0^t f_n(\tau) e^{\left(\frac{\pi a}{l}\right)^2 \tau} d\tau + c \right) \cdot e^{-\left(\frac{\pi a}{l}\right)^2 t}.$$

З умови (36) маємо:

$$T_n(0) = (0 + c) \cdot 1 = 0 \Rightarrow c = 0. \text{ Тоді: } T_n(t) = \int_0^t e^{-\left(\frac{\pi a}{l}\right)^2 (t-\tau)} f_n(\tau) d\tau. \quad (39)$$

Враховуючи вищенаведені міркування, з (32) отримаємо:

$$v(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\int_0^t e^{-\left(\frac{\pi a}{l}\right)^2 a^2 (t-\tau)} f_n(\tau) d\tau \right) \sin \frac{\pi n}{l} x. \quad (40)$$

Отже, розв'язком першої змішаної крайової задачі для неоднорідного параболічного рівняння (11) – (13) є функція:

$$u(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n e^{-\left(\frac{\pi a}{l}\right)^2 t} \sin \frac{\pi n}{l} x + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\int_0^t e^{-\left(\frac{\pi a}{l}\right)^2 (t-\tau)} f_n(\tau) d\tau \right) \sin \frac{\pi n}{l} x,$$

де A_n , $f_n(\tau)$ визначаються відповідно формулами (31), (34).

У нашому випадку:

$$u(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left(A_n e^{-\left(\frac{\pi a}{l}\right)^2 t} \sin \left(\frac{\pi n}{l} x \right) \right) + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\int_0^t e^{-\left(\frac{\pi a}{l}\right)^2 (t-\tau)} f_n d\tau \sin \left(\frac{\pi n}{l} x \right) \right), \quad (41)$$

де

$$A_n = \frac{2}{l} \int_0^l \varphi(x) \sin\left(\frac{\pi n}{l} x\right) dx, \quad f_n = \frac{2}{l} \int_0^l f(x) \sin\left(\frac{\pi n}{l} x\right) dx. \quad (42)$$

Функції f_n у нашому випадку мають вигляд:

$$f_n = \frac{2}{\pi n} (V_0 - V_l (-1)^n). \quad (43)$$

Підставивши f_n в отриманий розв'язок та звівши доданки біля $\sin\left(\frac{\pi n}{l} x\right)$, отримаємо:

$$u(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\left(A_n e^{-\left(\frac{\pi n a}{l}\right)^2 t} + \frac{2}{\pi n} (V_0 - V_l (-1)^n) \int_0^t e^{-\left(\frac{\pi n a}{l}\right)^2 (t-\tau)} d\tau \right) \sin\left(\frac{\pi n}{l} x\right) \right).$$

Повернувшись до заміни, отримаємо:

$$H(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\left(A_n e^{-\left(\frac{\pi n a}{l}\right)^2 t} + \frac{2}{\pi n} (V_0 - V_l (-1)^n) \int_0^t e^{-\left(\frac{\pi n a}{l}\right)^2 (t-\tau)} d\tau \right) \sin\left(\frac{\pi n}{l} x\right) \right) + \\ + H_0(0) - V_0 t + \frac{H_0(l) - V_l t - (H_0(0) - V_0 t)}{l} x, \quad (44)$$

Після спрощення отримаємо:

$$H(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left(A_n e^{-\left(\frac{\pi n a}{l}\right)^2 t} + \frac{2}{\pi n} (V_0 - V_l (-1)^n) \left(\frac{l}{\pi n a} \right)^2 \left(1 - e^{-\left(\frac{\pi n a}{l}\right)^2 t} \right) \right) \sin\left(\frac{\pi n}{l} x\right) + \\ + H_0(0) - V_0 t + \frac{h_0(l) - V_l t - (h_0(0) - V_0 t)}{l} x, \quad (45)$$

де

$$A_n = \frac{2}{l} \int_0^l H_0(x) \sin\left(\frac{\pi n}{l} x\right) dx + \frac{2}{\pi n} (-H_0(0) + H_0(l) (-1)^n). \quad (46)$$

Висновок

Аналітичний розв'язок диференціального рівняння нестационарної фільтрації у вигляді залежності (45) дає можливість встановити положення депресійної поверхні в ґрунтовому масиві у будь-який момент часу при пониженні рівня води в горизонтальних паралельних дренах з різною інтенсивністю.

Література

1. Кремез В. С. Моделирование фильтрации грунтовых вод на основе уточнённого уравнения Буссинеска / В. С. Кремез // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2006. – Вип. 31 – С.160 – 165.
2. Хулбарян М. Г. Приближённое аналитическое решение задачи нестационарной фильтрации со свободной поверхностью / М. Г. Хулбарян, О. О. Юшманов // Водные ресурсы. – 1982. №1. – С.107 – 112.
3. Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод / П. Я. Полубаринова-Кочина. – М.: Наука, 1977. – 664 с.
4. Genuchten M.T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils / M.T. Genuchten Soil Sci. Soc. Am. J. – 1980. – 44, №5. – P.892 – 898.
5. Healy R.W. A generalized solution to infiltration from surface point source / R.W. Healy, A.W. Warric Soil. Sci. Soc. – Fv.J. – 1988. – 52. – P.1245 – 1251.
6. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. – М.: Наука, 1972. – 735 с.

Рецензенти

В.Я. Савенко, д-р техн. наук, НТУ (Київ),
О.С. Славінська, д-р техн. наук, НТУ (Київ)

Reviewers

V.Ya. Savenko, Dr.Tech.Sci., NTU (Kyiv)
O.S. Slavinska, Dr.Tech.Sci., NTU (Kyiv)

Онищенко А.М., канд. техн. наук

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВПЛИВУ НА АСФАЛЬТОБЕТОННЕ ПОКРИТТЯ АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ ВІД ДІЇ КОЛІС ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Анотація. Запропонована математична модель з прогнозування зміни температури асфальтобетонного покриття в колії з урахуванням зростання інтенсивності руху транспортних засобів та зменшення загальної товщини покриття, передбачається визначити за допомогою теоретичної встановленої температурної моделі прогрівання покриття на мостах.

Ключові слова: математична модель, температура, асфальтобетонне покриття, міст

Аннотация. Предложенная математическая модель по прогнозированию изменения температуры асфальтобетонного покрытия в колее с учетом роста интенсивности движения транспортных средств и уменьшения общей толщины покрытия, предполагается определить с помощью теоретической установленной температурной модели прогрева покрытия на мостах.

Ключевые слова: математическая модель, температура, асфальтобетонное покрытие, мост

Annotation. The mathematical model for forecasting changes in temperature of asphalt concrete pavement in a rut with the increase in traffic of vehicles and reduce the overall thickness of the coating is supposed to identify with the help of a theoretical model established by the warm temperature coatings on bridges.

Keywords: mathematical model, temperature, asphalt concrete pavement, bridge.

Вступ

Температура асфальтобетонного покриття і режим її зміни впливають на властивості асфальтобетону та його термонапружений стан [1-12], механічні властивості компонентів залізобетону залежать від температури першого охолодження, числа циклів поперемінного заморожування та ряду інших

факторів [1, 2]. Температурні навантаження на елементи мостового полотна обумовлюють суттєву зміну механічних властивостей матеріалів асфальтобетонного покриття та плити проїжджої частини. Водночас, при експлуатації автодорожніх мостів піддаються впливу навантажень, кліматичних або технологічних температур. Однією з основних причин порушення роботи асфальтобетонного покриття та плити проїжджої частини на автодорожніх мостах є вплив температури. Тому вплив високої літньої температури суттєво впливає на інтенсивність утворення колії в асфальтобетонному покритті на автодорожніх мостах від дії коліс транспортних засобів все це призводить до безпеки руху транспорту.

На даний час відсутня повноцінна математична модель з визначення зміни температури в асфальтобетонному покритті по глибині на мостах, що спричинена дією температури навколишнього середовища та інтенсивністю транспортних засобів за рахунок контакту коліс автотранспортних засобів з поверхнею покриття. В даній роботі наводиться моделі з визначення зміни температури в смузі накату покриття на мосту.

Основна частина

Моделі теплопровідності багат шарової конструкції. Для практичних теплофізичних розрахунків конструкція покриття апроксимується багат шаровим пружним напівпростором, верхня гранична поверхня якого знаходиться у тепловому контакті з оточуючим середовищем, а нижня поверхня є нескінченною. Визначення температурних полів по глибині та ширині конструкції з асфальтобетонним покриттями може бути вирішеним при дослідженні теплових властивостей в окремих шарах конструкції, кількісному визначенні теплових потоків, що поступають або випромінюються поверхнею покриття та вглиб внаслідок кліматичних або технологічних факторів.

Проблема теоретичного прогнозування довговічності асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах тісним чином пов'язана з необхідністю отримати математичну модель напружено-деформованого стану при тепловій дії навколишнього середовища. Створення адекватної математичної моделі температурного впливу дозволить встановити функціональну залежність між параметрами довговічності покриття та основними факторами.

Загальна математична модель деформування стану конструкції асфальтобетонного покриття при температурному впливі є адитивною, що

дозволяє розглядати окремо низку часткових моделей [1, 2, 5], в двох наближеннях: в стаціонарному і при нестаціонарному теплових потоках.

Дослідження теплопровідності зводиться до вивчення просторово-часових змін основної характеристики теплових полів – температури. У загальному вигляді можна запропонувати, що температура є функцією просторових координат і часу:

$$T = f(x, y, z, t). \quad (1)$$

Сукупність миттєвих значень температури у всіх точках досліджуваного простору є *температурне поле*. Розрізняються *стаціонарне* та *нестаціонарне температурні поля*.

Стаціонарні теплові процеси. Стосовно стаціонарних полів вирішують задачі, в яких температура не змінюється з часом. Вона є функцією тільки просторових координат. В диференціальному рівнянні теплопровідності Фур'є-Кірхгофа ця умова має вигляд $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$ [13].

Досить часто у багатьох практичних задачах тіло зазнає впливу періодичної зміни температури або теплових потоків, тоді бажано встановити періодичний режим, який настає після затухання перехідних процесів, на які впливають початкові умови. Це так званий *усталений періодичний режим*. Один із найзручніших методів знаходження таких рішень полягає у застосуванні перетворення Лапласа.

При стаціонарному температурному полі багатошарової конструкції дорожнього покриття температура в будь-якій її точці не змінюється в часі, тобто є функцією лише координат (сталий стан теплового режиму). Його математичний запис відповідає виразу (2):

$$T_j = \Phi(x, y, z), \quad \frac{\partial T_j}{\partial t} = 0. \quad (2)$$

Для визначення температурного поля в конструкції багатошарової дорожнього покриття застосовується рівняння теплопровідності.

$$\frac{\partial T_j}{\partial t} = a_j \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (3)$$

де a_j - коефіцієнт теплопровідності j -го шару.

Температурне поле, яке відповідає рівнянню (3), є просторовим (*тривимірним*), так як T є функцією трьох координат x, y, z . Якщо температура є

функція двох координат, то поле називається *двовимірним*, описується рівнянням (4):

$$T_j = \Phi(x, z, t), \quad \frac{\partial T_j}{\partial y} = 0. \quad (4)$$

Якщо ж температура є функцією однієї координати, то поле називається *одновимірним*, описується рівнянням (5):

$$T_j = \Phi(z, t), \quad \frac{\partial T_j}{\partial x} = \frac{\partial T_j}{\partial y} = 0. \quad (5)$$

Початкові допущення щодо теплової моделі багат шарової конструкції дорожнього покриття на плиті проїзної частини мосту полягають у положенні впливу одновимірного температурного поля, так як її розміри в плані досить великі в порівнянні з товщиною. Інакше кажучи, температура в багат шаровій конструкції дорожнього покриття не залежить від координат в плані (x, y) і в рівнянні (3) збережеться тільки третій член зв'язаний з координатою z :

$$\frac{\partial T_j}{\partial t} = a_j \frac{\partial^2 T_j}{\partial z^2}, \quad (6)$$

де a_j - коефіцієнт теплопроводності j -го шару, що визначається за формулою:

$$a_j = \frac{\lambda_j}{\rho_j \cdot c_j}, \quad (7)$$

Якщо температура на поверхні багат шарової конструкції дорожнього покриття та плити проїзної частини мосту змінюється досить повільно, то без значної похибки для розрахунку можна вважати $\frac{\partial T_j}{\partial t} = 0$, що має місце *квазістаціонарний розподіл температури*. У цьому випадку закон розподілу температури буде задаватися рівнянням виду:

$$a_j \frac{d^2 T_j}{dz^2} = 0. \quad (8)$$

Для знаходження закону розподілу температури по всій товщині багат шарової пластини до рівняння (6) слід приєднати відповідні граничні умови. У випадку усталеного потоку тепла у пластині товщиною l з коефіцієнтом теплопроводності λ , поверхня якої T_1 і T_2 , диференціальне рівняння набуде вигляд:

$$\frac{d^2 x}{dx^2} = 0 \quad (9)$$

Звідки маємо

$$\frac{dT}{dx} = \text{const} = \frac{T_2 - T_1}{l}. \quad (10)$$

Тепловий потік у будь-якій точці рівний:

$$f = -\lambda \frac{dv}{dx} = -\frac{\lambda(v_2 - v_1)}{l} = \frac{T_1 - T_2}{R}, \quad (11)$$

де $R = \frac{l}{\lambda}$.

При тепловій дії на верхню поверхню дорожнього покриття, закон розподілу температури на цій поверхні буде залежати від ступеня нагріву поверхні покриття і навколишнього середовища. Аналогічно температура нижньої поверхні плити проїзної частини мосту залежатиме від температури навколишнього повітря. Таким чином, на верхній і нижній поверхнях багат шарової конструкції дорожнього покриття з плитою проїзної частини слід задати граничні умови першого роду.

У нашому випадку граничну умову першого роду можна сформулювати наступним чином:

$$T_{ниж}(t) = f_1(t), \quad T_{верх}(t) = f_2(t), \quad (12)$$

де $T_{ниж}(t)$ - температура на нижній поверхні тіла; $T_{верх}(t)$ - температура верхній поверхні тіла.

Зокрема, коли $T_{ниж}(t) = T_1 = const$; $T_{верх}(t) = T_2 = const$, тобто температура на поверхнях постійна на протязі всього процесу теплообміну. Це може бути здійснено при штучній підтримці постійної температури або при особливих умовах теплообміну між навколишнім середовищем і поверхнею конструкції.

Використаємо граничну умову 4-го роду:

$$T_{Tj}(t) = T_{Tj+1}(t), \quad j = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (13)$$

Крім рівності температур, має місце також рівність потоків тепла:

$$-\lambda_j \left(\frac{\partial T_j}{\partial n} \right)_{Tj} = -\lambda_{j+1} \left(\frac{\partial T_{j+1}}{\partial n} \right)_{Tj+1}. \quad (14)$$

Нестационарні теплові процеси супроводжуються не тільки зміною температурного поля за часом, але майже завжди пов'язані із зміною ентальпії тіла, тобто з його нагрівом і охолодженням. Для вивчення нестационарних процесів теплопровідності в нерухомих середовищах (твердих тілах) існують

аналітичні і чисельні методи рішення диференціального рівняння Фур'є-Кірхгофа з різними крайовими умовами.

Практичні задачі нестационарного теплообміну можна розділити на дві основні групи. До першої відносяться процеси, що відбуваються під час переходу тепла з деякого початкового теплового стану в інший стаціонарний, звичайно рівноважний тепловий стан. Прикладами можуть служити зміна температурного поля в тілі, поміщеному в середовище, температура якої відрізняється від початкової температури тіла, або вирівнювання температур в тілі із заданим початковим розподілом температур. До другої групи можна віднести процеси, що відбуваються в тілах, що випробовують теплову дію ззовні, що змінюються в часі по деякому закону (добові і річні коливання температури) [1-4, 14].

Нестационарне температурне поле багатошарової конструкції дорожнього покриття відрізняється тим, що температура будь-якої її точки змінюється з часом, або, як кажуть, «температура є функція простору і часу» і відповідає неусталеному стану теплового режиму. Тому, взагалі кажучи, рівняння (1) є математичним записом нестационарного температурного поля.

В диференціальному записі рівняння теплопровідності Фур'є-Кірхгофа у випадку нерухомого середовища і відсутності внутрішніх джерел тепла має вигляд:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \nabla^2 T, \quad (15)$$

де $a = \frac{\lambda}{c\rho}$ та ∇^2 – оператор Лапласа, записаний в прямокутній (або іншій циліндричній, сферичній) системі координат.

Це рівняння встановлює залежність між температурою, часом і координатами тіла в елементарному об'ємі, тобто поєднує часові і просторові зміни температури тіла.

Оскільки температура тіла в загальному випадку нестационарного теплового поля є функцією координат і часу (1), то початкові умови, тобто розподіл температури в тілі на початковий момент, задається у вигляді $f(x,y,z,t)=f_0(x,y,z,t)$, де f_0 - відома функція, котра необов'язково повинна бути задана аналітично, а може бути представлена чисельно або графічно.

У нашому випадку скористаємося спрощенням, коли початкова умова має

більш простий вигляд $f(x,y,z,0)=T_0=const$.

При періодичній зміні падаючого теплового потоку на поверхню і власного випромінювання поверхні формуються змінні температурні поля. Ці коливання передаються вниз конструкції і бувають, у певному наближенні, добовими, річними тощо. На відміну від геофізичних теплових задач, які розглядають верхню частину розрізу із значною потужністю, де теплові потоки зазнають кратного зменшення своєї інтенсивності, наближення змінних температурних потоків для будівельних конструкцій оперує кінцевими геометричними розмірами, в яких температурні коливання проникають на всю її глибину.

Температура поверхні при періодичній зміні, згідно закону розповсюдження тепла у твердому середовищі виражається гармонічною функцією часу t :

$$t = A_0 \sin(\omega \tau + \varphi) \quad (16)$$

A_0 – амплітуда коливань температури, $\omega = \frac{2\pi}{T}$ - кутова частота коливань, τ

- час, для якого визначається температура; φ - кінцева фаза коливань.

Якщо коефіцієнт теплопровідності по глибині залишається постійними, то амплітуда коливань температури на глибині Z буде дорівнюватиме:

$$A_Z = A_0 e^{-Z \sqrt{\frac{\pi}{aT}}}, \quad (17)$$

де T – період коливання температури.

Запізнення коливань температури з глибиною, яке характеризується фазою φ_Z буде визначатися співвідношенням:

$$\varphi_Z = \frac{Z}{2} \sqrt{\frac{T}{\pi a}}. \quad (18)$$

Граничні умови. Якщо задані форма і розміри тіла, а також його фізичні властивості (λ , c , ρ , ...), що разом складають геометричні і фізичні умови однозначності, то для вирішення рівняння необхідно задати початкові і граничні (або крайові) умови.

Для однорідних тіл граничні умови можуть бути задані декількох видів: температура будь-якої точки поверхні тіла в будь-який момент часу; тепловий потік біля поверхні або температура тіла навколишнього середовища; умови теплообміну тіла з навколишнім середовищем. На відміну від стаціонарних задач всі величини, що входять в граничні умови можуть змінюватися у часі по заданому закону.

Гранична умова першого роду полягає в завданні розподілу температури по поверхні тіла в будь-який момент часу. Так як асфальтобетонне покриття і плита проїжджої частини мосту являють собою багат шарову конструкцію, шари якої мають різні теплофізичні характеристики, то між шарами цієї конструкції відбуватиметься теплообмін, для опису якого використовується гранична умова четвертого роду.

Гранична умова четвертого роду формулюється як умова усталеного теплообміну дотичних твердих тіл, коли температура дотичних поверхонь однакова.

Взагалі кажучи, розподіл температури у просторі завжди неперервний. Але для спрощення математичних розрахунків іноді доцільно ввести ідеалізоване уявлення про стрибок температури на границі розділу двох різних тіл, які не перебувають у тепловій рівновазі один з одним. Завдяки процесам теплообміну виникає тепловий потік через границю тіла обумовлений стрибком температури на цій границі. Нормальна складова цього потоку залежить від матеріалу обох середовищ, а також від температури. Найпростіше допущення введене Ньютоном, полягає в тому, що величина нормальної складової теплового потоку пропорційна різниці температур тіл на границі. Таким чином нормальна щільність теплового потоку:

$$j_n = \alpha(T - T_0), \quad (19)$$

де T_0 – температура оточуючого середовища; нормаль проведена від тіла до середовища.

Тут α - коефіцієнт зовнішньої теплопровідності (його використовують лише для грубих розрахунків; воно має суто емпіричне навантаження; при $\alpha = \infty$ тіло вважається адіабатично ізольованим).

Досліди показують, що закон Ньютона виконується наближено лише при

невеликих різницях температури [15].

Модель теплового впливу навколишнього середовища. Температурний баланс в асфальтобетонному покритті залежить від суми теплових потоків, які потрапляють на нього: сонячної радіації, довгохвильового випромінювання атмосфери та самого покриття, конвекційна теплопередача між покриттям та середовищем.

Інтенсивність сонячної радіації (прямої та розсіяної) залежить від добового циклу, розташування сонця відносно поверхні, а також кута падіння сонячних променів. Енергетичний баланс на поверхні покриття залежить від сумарного надходження тепла до поверхні покриття та при умові, що воно буде відповідати поглинальній здатності асфальтобетону. Напрямок конвекційної теплопередачі і теплового випромінювання є функцією різниці температур поверхні покриття та температури середовища. У випадках, коли температура середовища нижча, ніж температура поверхні покриття, охолодження поверхні відбувається незважаючи на надходження сонячної радіації на поверхню. Таким чином, в залежності від величини кожного теплового потоку, відбувається накопичення або втрата тепла покриттям. Для адіабатної поверхні основи можна припустити, що при досить товстих покриттях не передбачається теплообмін між покриттям і земляним полотном. Крім того, бічні поверхні покриття (поверхня краю) вважаються адіабатичними при достатньо великих горизонтальних поверхнях, так як просторове розширення при зміні температури у вертикальному напрямку, буде набагато більше, ніж горизонтальні зміни на бічній поверхні, і будь-яким теплообміном через бічну поверхню покриття можна знехтувати. На практиці ширина покриття змінюється від 4,0 м (для дороги) до 15 і більше м (для 4-х смугової). У цьому випадку з достатньою точністю можна розглядати плоску задачу з нескінченною довжиною. Довжина покриття має значення, оскільки вона здійснює безпосередній вплив на конвекційний теплообмін на поверхні.

На величину теплових навантажень асфальтобетонного покриття під час експлуатації впливають:

- розташування та орієнтація автомобільної дороги, які визначаються географічною широтою та азимутом;
- час року та час доби;
- атмосферні умови, що виражені даними про зміну температури, швидкості вітру, хмарності, опадами тощо;

- властивості матеріалів, такі як питома теплоємність, щільність, коефіцієнт поглинання сонячної радіації, коефіцієнт випромінювання, теплопровідність, коефіцієнт передачі теплоти конвекцією;

- геометричні розміри покриття (ширина, товщина шарів);

- колір покриття та його зміна в процесі експлуатації.

У процесі експлуатації зовнішня поверхня покриття піддається різним зовнішнім тепловим впливів навколишнього середовища [2]. Згідно П.Ф.Швецова основними процесами і явищами в радіаційному балансі є поверхневого тіла є:

1) потрапляння на поверхню прямої і розсіяної короткохвильової сонячної радіації, відбивання і поглинання поверхнею сонячних променів і власне довгохвильове випромінювання;

2) конвекційний (турбулентний) теплообмін між поверхнею і приземними шаром повітря, який обумовлюється різницею температур верхнього тонкого шару поверхні і приземного шару повітря, пов'язаного із сонячною радіацією; випромінюванням поверхні Землі; з атмосферною адвекцією; а також циркуляція повітряних мас по тріщинам і пустотам.

3) теплообмін між шарами із різними теплофізичними характеристиками; власне на цей процес мають вплив фазові переходи, але для поверхневих умов, ними зазвичай нехтують.

4) висхідні і горизонтальні теплові потоки внаслідок геотермічних і горизонтальних температурних градієнтів.

Розглянемо кількісний бік теплового балансу, при врахуванні найбільш значущих факторів теплообміну. Відомо, що радіаційний баланс рівний різниці між сонячною радіацією, яка поглинається земною поверхнею і ефективним випромінюванням цієї поверхні можна представити у вигляді формули [2, 5, 6]:

$$R = (Q + q) \cdot (1 - \alpha) - I, \quad (20)$$

де Q – сума прямої радіації, тобто тієї кількості сонячної радіації яка доходить до місця спостереження у вигляді паралельних променів; q – сума розсіяної радіації, тобто тієї кількості сонячної радіації, яка зазнала розсіювання в атмосфері; потрапляє на земну поверхню від всього небесного склепіння; α - альбедо, тобто відношення сонячної радіації, відбитої від

поверхні Землі до радіації, яка потрапляє на її поверхню; I – ефективне випромінювання (різниця між приходом і витрачанням тепла на земну поверхню, обумовлене власними випромінюванням і противипромінюванням атмосфери).

Провідними факторами теплового балансу поверхні дорожнього одягу є:

- періодично-змінна температура повітря;
- сумарна (пряма та розсіяна) сонячна радіація;
- атмосферне випромінювання і вимушена конвекція повітря;

Тепловий баланс поверхні асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах складається із надходженням і поглиненням сонячної радіації та різних механізмів теплообміну з навколишнім повітрям. Якщо припустити, що нижня поверхня плити проїжджої частини знаходиться в умовах конвекційного теплообміну з повітрям всередині прогонової конструкції та повітрям під плитою проїзної частини мосту, температура яка повільно змінюється з часом; і не має інших джерел тепла, то тепловий баланс досліджуваної системи $q_{RES}(t)$ буде складатися з адитивних теплових факторів. Запропоновано тепловий баланс для асфальтобетонного покриття автодорожніх мостів (рис. 1), який складається: теплового потоку сонячної радіації $q_s(t)$; радіаційного теплового потоку $q_R(t)$; конвекційного теплового потоку $q_c(t)$; теплового потоку від тертя шин з покриттям $q_p(t)$ та приросту тепла від температури повітря $q_{II}(t)$:

$$q_{RES}(t) = q_s(t) + q_R(t) + q_c(t) + q_p(t) + q_{II}(t) \quad (21)$$

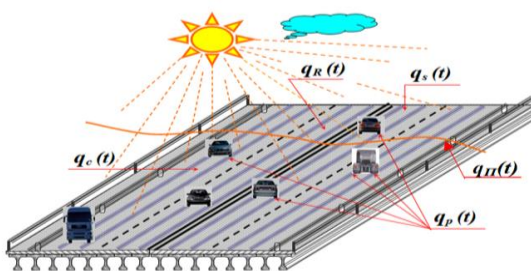


Рисунок 1 - Температурний вплив навколишнього середовища на конструкцію мосту

Тепловий потік сонячної радіації $q_s(t)$. Щільність поглиненого горизонтальною поверхнею покриття потоку сумарної сонячної радіації $q_s(t)$ обраховується [2, 4, 5, 11]:

$$q_s(t) = A_s \cdot Q_{inc}(t). \quad (22)$$

Коефіцієнт A_s є змінною величиною і залежить від ступеню деградації поверхневого шару покриття, яка визначається факторами атмосферного впливу: ультрафіолетовою радіацією; вологістю повітря тощо. Величину A_s отримують емпіричним шляхом.

Інтенсивність сумарної падаючої на горизонтальну поверхню сонячної радіації $Q_{inc}(t)$ виражається у вигляді суми прямої і розсіяної сонячної радіації. Закон зміни сумарної сонячної радіації $Q_{inc}(t)$ можна апроксимувати залежністю С.Тангітама [2, 5]:

$$Q_{inc}(t) = \begin{cases} 0, 0 \leq t \leq t_1, \\ Q_{max} \sin^p \left[\frac{\pi(t-t_1)}{t_1} \right], & t_1 \leq t \leq 12, \\ Q_{max} \sin^q \left[\frac{\pi(t-t_2)}{t_2} \right], & 12 \leq t \leq t_3, \\ 0, t_3 \leq t \leq 24, \end{cases} \quad (23)$$

де Q_{max} , t_2 - середньомісячне значення максимальної інтенсивності сумарної сонячної радіації, яка досягається опівдні, час від півночі до сходу Сонця і тривалість світлового дня; t_3 - час заходу Сонця; p, q - постійні форми.

Поліпшення апроксимації експериментальних даних за модифікованою двочленною формулою С.Тангітама [2, 5] досягається за рахунок введення двох постійних форм p та q , що дає можливість адекватно описати несиметричний щодо періоду часу в 12 годин характер зміни функції $Q_{in}(t)$. У разі $p=q$ отримуємо одночленну формулу С.Тангітама. Інший спосіб оцінювання приросту тепла від сонячної радіації $q_s(t)$ можливий через підрахунок сукупності сонячного випромінювання, що поглинається поверхнею покриття і визначається формулою [2, 4, 5, 11]:

$$q_s(t) = \alpha_{II} I, \quad (24)$$

Коефіцієнт поглинальної здатності змінюється в залежності від кута падіння сонячних θ променів обумовленого емпіричної залежністю Дюфіта Бемана [2, 4, 5, 11].

Коефіцієнт α_{II} є змінною величиною і залежить від ступеню деградації поверхневого шару покриття, яка визначається факторами атмосферного впливу та часу: ультрафіолетовою радіацією; вологістю повітря; вмістом кисню та низкою інших параметрів. Величину α_{II} отримують емпіричним шляхом.

Модель також враховує пряме I_d і розсіяне I_b сонячне випромінювання:

$$I = I_b \cos \Theta + I_d \quad (25)$$

Радіаційний тепловий потік $q_R(t)$. Результируючий радіаційний тепловий потік між абсолютно чорним тілом неба і дифузійно-сірою поверхнею покриття представляється у вигляді залежності [2, 5, 11]:

$$q_R(t) = \varepsilon \cdot S_b \cdot (T_{sky}^4 - T_{s,0}^4), \quad (26)$$

де $T_{sky}(t) = \{1 - c_1 \exp[-c_2(273,1 - T_{a,0}(t))^2]\}^{0,25} T_{a,0}(t)$; $T_{s,0}$ - температура зовнішньої поверхні дорожнього одягу; T_{sky} - еквівалентна температура неба; $c_1 = 0,261$; $c_2 = 0,771 \times 10^{-3}$, K⁻²; $T_{a,0}(t)$ - закон зміни добової середньомісячної температури. Закон зміни добової середньомісячної температури можна представити у вигляді:

$$T_{a,0}(t) = \bar{T}_{a,0} + a \cos(\omega t - b), \quad (27)$$

де $\bar{T}_{a,0}$ - середнє значення температури; a , b , ω - амплітуда, фазовий кут і кругова частота.

Вважається, що максимальна денна температура навколишнього повітря протягом доби досягається приблизно в 14 годин, а мінімальна - в 4 години.

Випромінювання неба ε_H визначається в залежності від атмосферного тиску, температури і вологості повітря:

$$\varepsilon_H = \frac{P}{101,3} (0,60 + 0,06 \sqrt{\varepsilon_{ВП}}), \quad (28)$$

Тиск водяної пари обчислюється:

$$\varepsilon_{ВП} = \frac{R_H}{100} (1,831 \cdot 10^{-9}) \Gamma_{abc} \exp(0,06 T_{abc}), \quad (29)$$

Розрахунок короткохвильового випромінювання, що походить від сонячного випромінювання та дифузійного розсіювання від неба.

Кут зеніту Сонця - $\mu \cos \Theta$, де норма μ розраховується за виразом:

$$\mu = \sin(\Theta_{Nlat}) \sin(\delta_{Nlat}) + \cos(\Theta_{Nlat}) \cos(\delta_{Nlat}) \cos\left(\pi \frac{t_l - 12}{12}\right), \quad (30)$$

Кут нахилу Сонця:

$$\delta_{COH} = \delta_{max} \cos\left(360 \frac{J - 173}{365}\right), \text{ град}, \quad (31)$$

Залежність між місцевим (сонячним) часом, який визначає полудень в даній місцевості та UTC:

$$t_l = UTC + \frac{\varphi}{15}, \quad (32)$$

Сонячна постійна S_0 є функцією висоти сонцестояння, яка змінюється протягом року:

$$S_0(J) = \bar{S}_0 \left\{ 1 + 0.338 \cos \left[\frac{2\pi(J-3)}{365} \right] \right\}. \quad (33)$$

Конвекційний тепловий потік $q_c(t)$. Нагріта потоком падаючого випромінювання поверхня дорожнього одягу в денні години охолоджується повітрям, який є причиною вимушеного конвекційного теплообміну. Конвекційний теплообмін конструкції з навколишнім повітрям залежить від швидкості вітру і висоти мостової споруди. Щільність конвекційного теплового потоку знаходиться за законом Ньютона [2, 4, 5]:

$$q_{c, \text{верх}}(t) = \alpha_{c,0} [T_{a,0}(t) - T_{s,0}] \quad (34)$$

де $\alpha_{c, \text{верх}}$ - коефіцієнт конвекційної тепловіддачі між навколишнім повітрям і зовнішньою верхньою поверхнею; $\alpha_{c,0} = 5,8 + 4,1 \cdot V$, V , V_m - середня швидкість вітру на висоті H і висоті флюгера H_n (що фіксується параметром $v = V_m (H / H_m)^n$); n - параметр, що характеризує ступінь нерівності місцевості ($n=0,15$ - рівна відкрита місцевість; $n=0,29$ - невелике місто і околиця великого міста; $n=0,45$ - забудови центру міста [2, 4, 5, 11]).

Нижня поверхня плити проїжджої частини знаходиться в умовах конвекційного теплообміну з повітрям всередині коробчастої прогонової будови або повітрям під плитою проїзної частини мосту, і тому щільність теплового потоку також визначається законом Ньютона [2, 11]:

$$q_{c, \text{ниж}} = \alpha_{c,i} (T_{a,i} - T_{s,i}), \quad (35)$$

де $\alpha_{c,i}$ - коефіцієнт конвекційної тепловіддачі; $T_{a,i}$ - температура повітря всередині коробки прогонової будови або повітря під плитою проїзної частини моста; $T_{s,i}$ - температура внутрішньої поверхні плити проїжджої частини.

Коефіцієнт конвекції $\alpha_{c,i}$ є функцією числа Нуссельта Nu . Існує кілька емпіричних залежностей для визначення коефіцієнту конвекції в залежності від форми дорожнього полотна. Для асфальтобетонного покриття, найбільш відповідними є залежності, які використовуються для горизонтальної плоскої пластини. У випадку вільної конвекції Nu є функцією від числа Релея Re . У випадку висхідних теплових потоків вільної конвекції над горизонтальною

плоскою поверхнею, число Релея буде становити близько 10^7 . Таким чином, маємо дві залежності для визначення числа Нуссельта для вільної конвекції з нагрівом або охолодженням пластини, що запропоновано Інкроперою і Девіттом:

$$Nu = 0.54 Ra^{0.25} \quad (10^4 < Ra < 10^7, \text{ при ламінарному потоці})$$

$$Nu = 0.15 Ra^{0.33} \quad (10^7 < Ra < 10^{11}, \text{ при турбулентному потоці})$$

Тоді коефіцієнт конвекції буде розраховуватися:

$$a_{c,i} = \frac{Nu \times k}{L}, \quad (36)$$

У випадку примусової теплової конвекції Nu корелює з числом Рейнольдса Re і Прандтля Pr . Для зовнішньої примусової конвекції на плоскій пластині критичне число Рейнольда становить близько 10^5 . Таким чином, маємо дві емпіричні залежності числа Нуссельта при примусовій конвекції над покриттям, що описано Інкроперою і Девіттом.

$Nu = 0.664 Re^{0.5} Pr^{0.33}$ (при ламінарному потоці), $Nu = 0.15 Re^{0.8} Pr^{0.33}$ (при змішаному та турбулентному потоці). Приріст тепла від температури повітря. Приріст тепла від температури повітря враховує приріст тепла на поверхні покриття від температури повітря або довгохвильового випромінювання за допомогою лінійного коефіцієнту випромінювання h_t [11]:

$$h_t = 4\sigma \left(\frac{T_{x,z} + T_{ПВ}}{2} \right)^3. \quad (37)$$

Приріст тепла від температури повітря визначається:

$$q_{ПВ} = h_t (T_{ПВ} - T_{x,z}) \quad (38)$$

Тепловий потік від тертя шини $q_p(t)$. Потік тепла, що формується при контакті шини з покриттям $q_p(t)$ виникає внаслідок проковзування протектора шини в області контакту [10]. При коченні колеса у зоні контакту температура підвищується, сягаючи максимуму на виході із контакту, де спостерігається максимальне проковзування. Лінія нахату в якій відбувається теплогенерація розподілена у вигляді неперервної одномірної лінійної смуги. При виборі такої моделі можна застосувати різні підходи щодо кількісних методів їх оцінки.

Тепловий потік від шини, що потрапляє на покриття і спричиняє його нагрів [10], можна визначити за допомогою закону Ньютона-Рахмана, згідно

якого кількість тепла, що передається одиниці поверхні тіла в одиницю часу, пропорційне різниці температури дотичних поверхонь:

$$q = \alpha(t_u - t_n), \quad (39)$$

де α - коефіцієнт тепловіддачі шини (α визначається із серії виразів, що описують зміну коефіцієнту теплопровідності, при контакті протектора шини із покриттям), t_u – температура поверхні шини, t_n – поверхні покриття.

Допущення до моделі теплового потоку від тертя шини. Модель теплообміну контакту протектора шини з покриттям пропонується як контакт двох конвергентних поверхонь. Відповідно, у наближенні нескінченно однорідної пластини коефіцієнт пропорційності K між двома поверхнями описується наступним чином:

$$K = \left(\frac{2\delta}{\pi} \right)^2. \quad (40)$$

Оскільки коефіцієнт теплопровідності гуми дуже малий, то в якості товщини пластини при коченні колеса можна розглядати товщину шини по короні, так як сама шина є джерелом тепла. В такому випадку значення параметру δ буде лежати в межах 4-12 см в залежності від розміру шин.

Темп охолодження при контактному теплообміну m є функцією коефіцієнту тепловіддачі, площі безпосереднього контакту і величини теплоємності охолоджуваного тіла:

$$m = \frac{\psi \alpha S_\phi}{C}. \quad (41)$$

Встановлення темпу охолодження гуми, зазвичай нескладне, оскільки має лінійну залежність від температури. Покладаючи величину ψ в 1 дозволяє проводити обчислення з достатньою величиною точності. Певна варіація величини ψ буде спостерігатися від важкопрогнозованих фізико-механічних властивостей гуми в контакті, характеристик текстури покриття протектора, наявності вологи в порах матеріалу покриття. Але всі ці особливості вносять незначний внесок в формування теплового потоку в зони контакту і тому ми в нашому аналізі ними будемо нехтувати. Теплоємність пропорційна густині і об'єму тіла:

$$C = C_\rho \rho V. \quad (42)$$

Тому коефіцієнт тепловіддачі шини прямо пропорційний теплоємності і обернено пропорційний товщині пластини.

$$\alpha = \frac{a\rho C_p \pi^2}{4\delta}. \quad (43)$$

В вищенаведених виразах: V – об’єм охолоджуваної частини шини, ψ - коефіцієнт нерівномірності розподілу температури в межах охолоджуваної частини шини; δ - товщина пластини; K – коефіцієнт пропорційності, m – відносна швидкість (темп) охолодження гуми.

Таким чином повний тепловий потік, який потрапляє від шини в покриття в межах зони контакту виражатиметься функцією $q_p(t)$ [10]:

$$q_p(t) = \frac{a\rho C_p \pi^2}{4\delta} S_\phi (t_u - t_n), \quad (44)$$

де S_ϕ - площа фактичного контакту.

При підрахунку величини теплового потоку, який генерується тертям шини варто враховувати залежність параметру S_ϕ від швидкості руху автомобіля. Із зростанням швидкості відбувається певне незначне, але монотонне, зростання площі контакту колеса з покриттям [10]. Також, очевидним є вплив на кількість згенерованого тепла, яке додатково потрапляє в смугу руху автотранспорту – кількості, якості та темпу проходження транспортних засобів.

Модель нестационарного кондуктивного теплопереносу в багат шаровому пакеті дорожнього одягу на плиті проїзної частини. Якщо середовище, в якому розповсюджується тепло однорідне, то всі параметри середовища не залежать від координат. Друге припущення, що вони не залежать від температури і часу і є постійними. Коли температура залежить тільки від однієї просторової координати і часу, рівняння теплопровідності при наявності джерел тепла має вигляд:

$$\rho c_v \frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + q(x, t). \quad (45)$$

Щільність потужності джерел тепла q повинно вважатися заданою функцією координати і часу. Але задати джерела тепла не є однозначним.

Необхідно додати початкові і граничні умови.

Початкова умова визначає температуру по всьому тілу у певний момент часу:

$$T_{t \rightarrow 0} = f(x), \quad (46)$$

де $f(x)$ - функція координати x .

Граничні умови визначають температуру тіла на границі у будь-які моменти часу. В одномірному випадку тіло має вигляд плоско паралельної пластини обмеженої площинами $x=0$ і $x=l$. Тому для них граничні умови запишуться у вигляді.

$$T_{x=0} = \varphi_1(x), \quad (47)$$

$$T_{x=l} = \varphi_2(x), \quad (48)$$

де $\varphi_1(x)$ і $\varphi_2(x)$ – задані функції часу.

Неоднорідність нестационарного температурного поля по товщині багат шарового пакета покриття на плиті проїзної частини складається з неоднорідності шарів, які знаходяться в ідеальному тепловому контакті розглянутих матеріалів. Вони зазнають періодичного зовнішнього теплового впливу від навколишнього середовища, яка складається з стаціонарних і нестационарних теплових потоків внаслідок вимушеної конвекції повітря під плитою проїзної частини. Аналітичне рішення в декартовій системі координат знаходить при виконанні крайової задачі теплопровідності, яку запишемо для чотиришарового пакета, представленого на рис. 2.

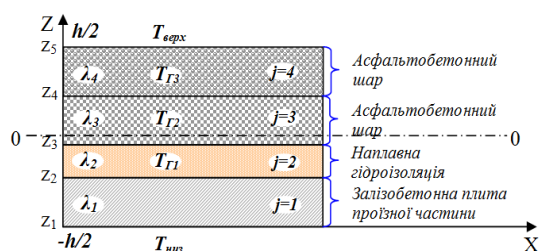


Рисунок 2 - Схема
асфальтобетонного покриття на
залізобетонній плиті проїзної частини

При умові неперервності на границях шарів рівняння теплопровідності, достатньо повна математична модель нестационарного теплового стану багат шарового пакета покриття та плити проїзної частини (30) описує теплову поведінку цього пакету в умовах великих градієнтів температури і періодичних теплових впливів навколишнього середовища.

$$\frac{\partial T_j}{\partial t} = a_j \frac{\partial^2 T_j}{\partial z^2}, \quad z_j < z < z_{j+1}, \quad j = 1, 2, 3, 4, \quad -\lambda_4 \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=z_5} = q_{RES}(t) = q_s(t) + q_R(t) + q_c(t) + q_p(t),$$

(49)

$$-\lambda_4 \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z_4+0} = -\lambda_3 \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z_4-0}, \quad T_{\Gamma 4}(z_4) = T_{\Gamma 3}(z_4), \quad -\lambda_3 \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z_3+0} = -\lambda_2 \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z_3-0}, \quad T_{\Gamma 3}(z_3) = T_{\Gamma 2}(z_3),$$

$$-\lambda_2 \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z_2+0} = -\lambda_1 \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z_2-0}, \quad T_{\Gamma 2}(z_2) = T_{\Gamma 1}(z_2), \quad \lambda_1 \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=z_5} = q_{c, ниж}(t), \quad T(z, t_0) = T_0.$$

де T_j - температура j -го шару; a_j - коефіцієнт теплопровідності j -го шару багат шарового пакета; z - координата, спрямована від серединної поверхні 0-0 вгору до зовнішньої поверхні покриття (рис.2); z_1, z_2, z_3, z_4, z_5 - координати меж шарів багат шарового пакета; T_0 - початкова температура багат шарового пакета; t - час; t_0 - час початку експлуатації багат шарового пакета; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ - коефіцієнти теплопровідності відповідних шарів.

Модель стаціонарного кондуктивного теплопереносу в чотиришаровому пакеті покриття з плитою проїзної частини мосту. Якщо на верхню поверхню багат шарового пакета діє результуючий тепловий потік $q_{RES}(t)$, а нижня поверхня багат шарового пакета (плити проїзної частини) перебуває в умовах конвекційного теплообміну з повітрям під плитою проїзної частини прогонової будови, то закон розподілу температурного поля по товщині багат шарового пакета знаходиться з рішення наступної крайової задачі теплопровідності [12] та виразу (15).

$$a_j \frac{\partial^2 T_j}{\partial z^2} = 0, \quad z_j < z < z_{j+1}, \quad j = 1, 2, 3, 4, \quad -\lambda_4 \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=z_5} = f_2(t), \quad -\lambda_4 \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z_4+0} = -\lambda_3 \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z_4-0}, \quad (50)$$

$$T_{\Gamma 4}(z_4) = T_{\Gamma 3}(z_4), \quad -\lambda_3 \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z_3+0} = -\lambda_2 \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z_3-0}, \quad T_{\Gamma 3}(z_3) = T_{\Gamma 2}(z_3), \quad -\lambda_2 \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z_2+0} = -\lambda_1 \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z_2-0},$$

$$T_{\Gamma 2}(z_2) = T_{\Gamma 1}(z_2), \quad \lambda_1 \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=z_5} = q_{c, ниж}(t), \quad T(z, t_0) = T_0$$

де T - температура j -го шару; a_j - коефіцієнт теплопровідності j -го шару багат шарового пакету; z - координата, спрямована від серединної поверхні 0-0 вгору до зовнішньої поверхні дорожнього одягу; z_1, z_2, z_3, z_4, z_5 - координати меж шарів багат шарового пакету; T_0 - початкова температура

багатошарового пакету; t - час; t_0 - час початку експлуатації багатошарового пакету; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ - коефіцієнти теплопровідності відповідних шарів.

Варто зауважити, що у випадку високих температур і повільно протікаючих (стаціонарних) теплових процесів необхідно враховувати теплоту, яка витрачається на роботу розширення тіла (наприклад, автодорожнього мосту) при її нагріванні. Цю компоненту враховують у загальному тепловому балансі моделі, але практично нею ми будемо нехтувати, що не вносить суттєвої похибки в теплофізичні розрахунки.

Розрахунок одномірного температурного поля при стаціонарному режимі нагріву при товщині покриття. Залежності можна отримати аналітично, за допомогою числових методів і представити у вигляді таблиць, номограм або діаграм. Більш строгі аналітичні представлення одномірного температурного поля при стаціонарному режимі нагріву при товщині багатошарової покриття передбачають заданням початкових і граничних умов при усталеній температурі в області $0 < x < l$ (пластина товщиною l , де координата x змінюється від $0 < x < l$) [12-16]. Температури границь рівні $\varphi_1(t)$ і $\varphi_2(t)$. Початкова температура $f(x)$.

У цьому рівнянні має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{dv}{dt} &= \chi \frac{d^2v}{dx^2} (0 < x < l), \\ v &= \varphi_1(t) \text{ при } x = 0 \\ v &= \varphi_2(t) \text{ при } x = l \\ v &= f(x) \text{ при } t = 0 \end{aligned} \quad (51)$$

Окремо випишемо рішення для u та w . Рішення для u має таку форму.

$$u = \frac{2}{l} \sum_1^{\infty} \exp\left(-\frac{a^2 n^2 \pi^2 t}{l^2}\right) \sin \frac{n\pi x}{l} \int_0^l f(x') \sin \frac{n\pi x'}{l} dx' \quad (53)$$

Для визначення w повинні використати теорему Дюамеля, за допомогою якої вирішення для випадку рівності температур на поверхні $\varphi_1(t)$ і $\varphi_2(t)$ отримується із рішення для випадку температур на поверхні рівних v_1 і v_2 .

Якщо температура всієї пластини у момент часу $t=\lambda$ рівна нулю, а її кінці підтримуються при температурах $\varphi_1(t)$ і $\varphi_2(t)$ в інтервалі від $t=\lambda$ до $t=t_1$, то тоді температура у момент часу t визначається співвідношенням.

$$\begin{aligned} w &= \varphi_1(\lambda) \left\{ 1 - \frac{x}{l} - \frac{2}{\pi} \sum_1^{\infty} \frac{1}{n} \exp\left[-\frac{a^2 n^2 \pi^2 (t-\lambda)}{l^2}\right] \sin \frac{n\pi x}{l} \right\} + \\ &+ \varphi_2(\lambda) \left\{ \frac{x}{l} + \frac{2}{\pi} \sum_1^{\infty} \frac{1}{n} \cos n\pi \exp\left[-\frac{a^2 n^2 \pi^2 (t-\lambda)}{l^2}\right] \sin \frac{n\pi x}{l} \right\} \end{aligned} \quad (54)$$

Відповідно, для w при температурах поверхні кінців рівних $\varphi_1(t)$ і $\varphi_2(t)$ отримаємо:

$$w = \int_0^t \left\{ \varphi_1(\lambda) \frac{\partial}{\partial t} F_1(x, t - \lambda) + \varphi_2(\lambda) \frac{\partial}{\partial t} F_2(x, t - \lambda) \right\} d\lambda \quad (55)$$

$$\text{де } F_1(x, t - \lambda) = 1 - \frac{x}{l} - \frac{2}{\pi} \sum_1^{\infty} \frac{1}{n} \exp \left[-\frac{a^2 n^2 \pi^2 (t - \lambda)}{l^2} \right] \sin \frac{n\pi x}{l},$$

$$F_2(x, t - \lambda) = \frac{x}{l} + \frac{2}{\pi} \sum_1^{\infty} \frac{1}{n} \cos n\pi \exp \left[-\frac{a^2 n^2 \pi^2 (t - \lambda)}{l^2} \right] \sin \frac{n\pi x}{l}.$$

Звідки отримуємо такий вираз:

$$w = \frac{2a\pi}{l^2} \sum_1^{\infty} n \exp \left[-\frac{a^2 n^2 \pi^2 t}{l^2} \right] \sin \frac{n\pi x}{l} \times \int_0^t \exp \left[\frac{a^2 n^2 \pi^2 \lambda}{l^2} \right] [\varphi_1(\lambda) - (-1)^n \varphi_2(\lambda)] d\lambda \quad (56)$$

та, в кінцевому варіанті, після складення двох частин маємо:

$$T = \frac{2}{l} \sum_1^{\infty} \exp \left(-\frac{an^2\pi^2 t}{l^2} \right) \sin \frac{n\pi x}{l} \left[\int_0^l f(x') \sin \frac{n\pi x'}{l} dx' + \frac{na\pi}{l} \int_0^t \exp \left[\frac{an^2\pi^2 \lambda}{l^2} \right] [\varphi_1(\lambda) - (-1)^n \varphi_2(\lambda)] d\lambda \right]. \quad (57)$$

Висновки

Отримані аналітичні рішення температурного поля в асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів, які дозволяють вирішити задачі прогнозування температури за допомогою чисельних методів або використовуючи (при ряді допущень часово-граничних умов) в теорії подібності. Всебічно оцінені теплова модель щодо балансу теплових потоків із вирішенням їх кількісними методами. Для деяких компонентів моделі (розподіл температури на поверхні асфальтобетонного покриття від падаючих періодичних теплових хвиль і їх поширення на глибину конструкції) вдалося досягти надзвичайно точної співставності з даними власних натурних спостережень, що дозволяє прогнозувати термічний режим конструкції на тривалі часи спостережень. Для питомої теплової модель вперше теоретично обґрунтовано, аналітично представлено і чисельно розраховано компоненту генерації теплового потоку від тертя шини (в лінійному наближенні і при ряді просторових обмежень). При аналізі поширення теплових хвиль на глибину конструкції, встановлено, що згідно приведених співвідношень (16-18) впливає: 1) амплітуди коливань температури зменшуються за експоненціальним законом (якщо глибини зростають за арифметичним законом, то амплітуди зменшуються в

геометричній прогресії); 2) час запізнення максимумів температури на глибині у порівнянні з часом настання їх на поверхні зростає із збільшенням глибини; 3) період коливань поверхні із збільшенням глибини не змінюється; 4) глибини на яких амплітуди різноперіодних коливань зменшується в одну і ту ж кількість разів, відносяться як квадратні корені, тобто $\frac{z_2}{z_1} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$, де індекси показують різні періоди часу. При аналізі радіаційних теплових потоків (суттєвих факторів теплового балансу конструкцій) уточнено амплітуду добового ходу і стандартне відхилення температури повітря (яке до того ж змінюються пропорційно амплітуді річного ходу). Річний хід температури добре описується першою гармонікою розкладу у ряд Фур'є за тригонометричними функціями.

Література

1. Дмитриченко М.Ф. Теплова діагностика (основи теорії та практики застосування): Монографія. / Дмитриченко М.Ф., Дмитрієв М.М., Деркачов О.Б. – К.: НТУ, 2012. – 168 с.
2. Овчинников И.Г. Прикладная механика дорожных одежд на мостовых сооружениях / Овчинников И.Г., Щербаков А.Г., Бочкарев А.В., Наумова Г.А. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2006. – 310 с.
3. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий : дис... докт. техн. наук : 05.22.11 / Мозговой Владимир Васильевич. – К., 1996 – 406 с.
4. Рекомендації з розрахунку температурних полів і напружень в асфальтобетонних покриттях конструкції нежорстких дорожніх одягів : Р В. 2.3 – 21476215-803:2012/ Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2012. – 15 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
5. Методика з розрахунку зміни жорсткості та міцності пакету асфальтобетонних шарів в залежності від стохастичної зміни температурного режиму повітря в річному циклі. М 02070915-711:2012 / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2012. – 49 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
6. Методические рекомендации по расчету температурных полей, напряжений о деформаций в цементобетонных покрытиях: [Введен в действие 1976–01–01]. – М.: Союздорнии, 1976. – 41 с.

7. Методика розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі з урахуванням термопластичних властивостей асфальтобетону. М 02071168-708:2012 / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2012. – 90 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
8. Ряпухін В.М. Розрахунки асфальтобетонних шарів нежорстких дорожніх одягів з урахуванням термопластичних властивостей асфальтобетонів: монографія / В.М. Ряпухін, А.Г. Батракова, Н.О. Нечитайло – Харків: ХНАДУ, 2012. – 145 с.
9. Горецкий Л.И. Теория и расчет цементобетонных покрытий на температурные воздействия. – М.: Транспорт, 1965. – 284 с.
10. Немчинов М.В. Сцепные качества дорожных покрытий и безопасность движения автомобиля / Немчинов М.В. – М.: Транспорт, 1985. – 231 с.
11. Рекомендації з розрахунку температурних полів і напружень в мостових конструкціях з покриттям. Р В.2.3-218-02071168-686:2007 – К.: Укравтодор. – 2007 / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2012. – 26 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
12. Антіпов В.Н. Вплив річних коливань на деформаційні характеристики а\б покриттів / Антіпов В.Н.// «Підвищення працездатності автомобільних доріг». 1975. – Вип.13 – К : Тр. ДипроДОРНІІ, с. 30 – 33.
13. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. М., 1964 г.. 488 с.
14. Іванов Н.Н. Конструювання і розрахунок нежорсткого дорожнього одягу / Н.Н.Іванов М.: Транспорт, 1973. – 328 с.
15. Дорожній одяг нежорсткого типу : ВБН В.2.3-218-186 2004 – Офіц. вид – К. : Державна служба автомобільних доріг України «Укравтодор», 2004 – 176 с. – (Національний стандарт України).
16. Ковальов Я.Н. Визначення літньої розрахункової температури дорожніх асфальтобетонних покриттів для різних кліматичних районів СРСР / Ковальов Я.Н.// Вісті Вузів. Серія «Будівництво і архітектура» № 11. – Новосибірськ: изд. НИСИ им. В.В. Куйбышева, 1967. – С. 41–53.

Рецензенти

В.О. Золотарьов, д-р техн. наук, ХНАДУ (Харків)

А.В. Мішутін, д-р техн. наук, ОДАБА (Одеса)

Reviewers

V.O. Zolotarev, Dr.Tech.Sci., KhNAHU (Kharkiv)

A.V. Mishutin, Dr.Tech.Sci., OSACEA (Odesa)

Стефанишин Д. В., д-р.техн. наук, Ходневич Я. В.,

Щодро О. Є., д-р.техн. наук

КОМБІНОВАНИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ СПОКІЙНИХ ТЕЧІЙ В ТУРБУЛЕНТНИХ ВОДНИХ ПОТОКАХ

Аноатація. З метою швидкого та ефективного розрахунку кінематичних характеристик турбулентного потоку у відкритих руслах запропоновано і досліджено відповідну математичну модель. Наведено результати розрахунків відривних течій за затоплюваними донними перешкодами.

Ключові слова: математична модель, потік, русло, течія.

Аннотация. С целью быстрого и эффективного расчета кинематических характеристик турбулентного потока в открытых руслах была предложена и исследована соответствующая математическая модель. Приведены также результаты расчетов отрывных течений за затопленными донными препятствиями.

Ключевые слова: математическая модель, поток, русло, течение.

Annotation. Algorithm was proposed in order to calculate kinematical characteristics of the turbulent flow in open channels. It works quickly and efficiently. Corresponding mathematical model was also investigated. The results of calculations of separated flows near bottom obstacles were presented.

Keywords: mathematical model, flow direction, flow.

Метою цієї роботи є створення алгоритму для отримання наближених у різній степені розв'язків тривимірної задачі гідродинаміки нестислої рідини, яка переносить інертні домішки. Можливість отримання наближених розв'язків при цьому дає значну економію часу і дозволяє оперативно проводити аналіз якісної картини течії. Така задача є досить **актуальною**, так як існує багато практичних проблем, які потребують розрахунків кінематики течій при відомому полі тисків. Наприклад, задачі деформації русел, взаємодії

середовищ, роботи вихорових апаратів, тощо. Створений алгоритм допускає підключення або відключення цілих блоків програмного комплексу, наприклад, блок уточнюючих розрахунків за тією чи іншою моделлю турбулентності, які проводяться на основі методу розщеплення. При цьому можуть бути також прийняті різні граничні умови по контуру розрахункової області. Зокрема, легко задаються умови першого або другого роду, а при деякій перебудові обчислювального алгоритму й умови третього роду. Також враховується фактор нестационарності течії і допускається варіювання моделей турбулентності і їх параметрів. Наявність програмної реалізації такого алгоритму дозволяє у практичному аспекті врахувати впливи криволінійних і прямолінійних струмененапрямних дамб, кар'єрів, мостових переходів, польдерів та різних гідротехнічних споруд на русловий потік. Такий широкий спектр застосування алгоритму і програми з'явився внаслідок можливості заміни системи координат з декартової на криволінійну по аналогії з тим як це пропонується в роботі [1]. Прийняття нових, спеціально пристосованих до певних умов моделей турбулентності, наприклад, моделі Гіріманджи [2], робить можливим врахування властивостей вторинних, вихорових і циркуляційних течій. Особливості зовнішніх границь різних областей потоку, зокрема, наявність відривних течій, які обмежують досліджуваний потік або виникають поблизу його границі, враховується не лише задаванням граничних умов, але й первісним задаванням картини течії в цілому.

Математична модель гідродинаміки нестислої рідини ґрунтується на системі рівнянь Рейнольдса [3]:

$$\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial t} + \frac{\partial (\overline{u_i u_j})}{\partial x_j} = \overline{f_i} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \overline{p}}{\partial x_i} - \frac{\partial (\overline{u'_i u'_j})}{\partial x_j}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_j} = 0. \quad (2)$$

Система рівнянь (1)-(2) незамкнена, оскільки (1) містить невідомі турбулентні напруги. Для її замикання необхідно застосувати одну з існуючих моделей турбулентності. В нашому випадку застосовується найбільш апробована та гнучка $k-\varepsilon$ модель турбулентності. Її дія ґрунтується на концепції турбулентної в'язкості. Значення турбулентних напруг, що входять у ліву частину рівнянь (1), розписуються згідно градієнтної гіпотези [4]:

$$-\overline{u'_i u'_j} = \nu_t \left(\frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} + \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} k. \quad (3)$$

k - ε модель турбулентності містить рівняння переносу для енергії турбулентності та рівняння переносу для швидкості дисипації енергії і записується наступним чином [4]:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \overline{u_j} \frac{\partial k}{\partial x_j} = \nu_t \left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} - C_D \frac{k^{3/2}}{L} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} \cdot \frac{\partial k}{\partial x_j} \right), \quad (4)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \overline{u_j} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + \left(C_{\varepsilon 1} \frac{P}{\varepsilon} - C_{\varepsilon 2} \right) \frac{\varepsilon^2}{k}. \quad (5)$$

Тут рівняння (1)-(5) містять наступні позначки: де $\overline{u_i}$ – компоненти вектора осередненої швидкості; t – час; x_i – координати точки; $\overline{f_i}$ – компоненти вектора осередненої масової сили; ρ – щільність рідини; $\overline{p}$ – осереднений гідродинамічний тиск; $\overline{u'_i u'_j}$ – момент кореляції пульсацій швидкостей; i – номер рівняння, j – номер члена в рівнянні ($i, j = \overline{1,3}$); δ_{ij} – символ Кронекера; $\nu_t = C_\mu k^2 / \varepsilon$ – коефіцієнт турбулентної в'язкості; k – кінетична енергія турбулентності; ε – швидкість дисипації енергії турбулентності; L – довжина шляху перемішування; $C_D = 1$, $\sigma_k = 1$, $\sigma_\varepsilon = 1,3$, $C_{\varepsilon 1} = 1,44$, $C_{\varepsilon 2} = 1,92$, $C_\mu = 0,09$ – модельні константи.

З метою проведення практичних розрахунків пропонується **алгоритм**, який полягає у поетапному виконанні обчислень за неявною і явною схемами. На основі розрахунків виконується апроксимація результатів та їх сплайнове згладження. **Алгоритм розрахунків** складається з наступних блоків:

1) розрахунок поля швидкостей за **неявною схемою на грубій сітці** на основі розв'язку системи (1) методом лінеаризації з розв'язком системи лінійних алгебраїчних рівнянь методом матричної факторизації (**LU** розкладання);

2) визначення повного перепаду тисків по всій області і його поздовжнього розподілу по всій області з використанням інтегральної умови нерозривності та спеціально розробленої **одновимірної моделі** розглядуваної течії, яка враховує змінність витрати у виділеній області по її довжині, обмін масою та кількістю руху на її бокових границях [5];

3) уточнення розподілу тисків у потоці шляхом розв'язку **рівняння**

Пуассона методом послідовної верхньої релаксації і згладженням результатів;

4) **сплайнова апроксимація** результатів та одночасне їх згладження і введення згущеної сітки для подальших розрахунків;

5) застосування методу розщеплення для розв'язання **системи рівнянь Рейнольдса, яка замкнена $k-\varepsilon$ моделлю турбулентності**;

6) коректування поля тисків із задоволенням умови нерозривності (2);

7) уточнення кінематики за явною чисельною схемою Мак-Кормака.

На **першому етапі** цього алгоритму модель турбулентності, яка приймається для замикання моделі, може бути найпростішою (наприклад, по області інтегрування $\nu_t = \text{Const}$). Основна мета цього етапу – охопити всю область єдиним розрахунком, й досягнути збіжності алгоритму в цілому.

Послідовність дій при виконанні першого етапу наступна. Систему рівнянь (1) записується наступним чином:

$$\tilde{u} \frac{\partial u}{\partial x} + \tilde{v} \frac{\partial u}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial u}{\partial z} = X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right), \quad (6)$$

$$\tilde{u} \frac{\partial v}{\partial x} + \tilde{v} \frac{\partial v}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial v}{\partial z} = Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right), \quad (7)$$

$$\tilde{u} \frac{\partial w}{\partial x} + \tilde{v} \frac{\partial w}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial w}{\partial z} = Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right), \quad (8)$$

де u – швидкості потоку в напрямку руху основної течії (вздовж досліджуваної області), v – швидкості в напрямку по ширині області, w – швидкості потоку в напрямку по висоті області; x, y, z – координати вздовж, по ширині та по висоті досліджуваної області; X, Y, Z – значення масової сили відповідно у напрямках по довжині, по ширині та висоті області; $\tilde{u}, \tilde{v}, \tilde{w}$ – початкове наближення поля швидкостей.

В системі рівнянь (1) для розв'язку стаціонарних задач відкидається зміна швидкостей у часі. Значення швидкостей $\tilde{u}, \tilde{v}, \tilde{w}$ вважаються заздалегідь відомими на всій розрахунковій області, включаючи значення на границях Γ області. Цей крок є реалізацією відомого методу лінеаризації.

Граничні умови записуються так:

$$u|_{\Gamma} = \tilde{u}, \quad v|_{\Gamma} = \tilde{v}, \quad w|_{\Gamma} = \tilde{w}. \quad (9)$$

Система (6)-(8) розв'язується за допомогою **методу скінченних різниць** на розрідженій рівномірній сітці:

$$G_1 = \{(x_i, y_j, z_k) : x_i = i \cdot \Delta x, y_j = j \cdot \Delta y, z_k = k \cdot \Delta z, i = \overline{0, n}, j = \overline{0, m}, k = \overline{0, \gamma}\},$$

де $\Delta x = N/n$, $\Delta y = M/m$, $\Delta z = K/l$ – відстань між вузлами сітки відповідно по координатах x , y , z ; N , M , K – довжина, ширина та висота досліджуваної області; n , m , γ – кількість вузлів по довжині, по ширині та по висоті сітки.

Різницевий аналог системи диференціальних рівнянь (6)-(8) записується у формі наступної системи лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{aligned} & u_{i+1,j,k} \left(\frac{\tilde{u}_{i,j,k}}{2\Delta x} - \frac{1}{\Delta x^2} \right) - u_{i-1,j,k} \left(\frac{\tilde{u}_{i,j,k}}{2\Delta x} + \frac{1}{\Delta x^2} \right) + u_{i,j+1,k} \left(\frac{\tilde{v}_{i,j,k}}{2\Delta y} - \frac{1}{\Delta y^2} \right) - \\ & - u_{i,j-1,k} \left(\frac{\tilde{v}_{i,j,k}}{2\Delta y} + \frac{1}{\Delta y^2} \right) + u_{i,j,k+1} \left(\frac{\tilde{w}_{i,j,k}}{2\Delta z} - \frac{1}{\Delta z^2} \right) - u_{i,j,k-1} \left(\frac{\tilde{w}_{i,j,k}}{2\Delta z} + \frac{1}{\Delta z^2} \right) + \\ & + u_{i,j,k} \left(\frac{2}{\Delta x^2} + \frac{2}{\Delta y^2} + \frac{2}{\Delta z^2} \right) = \frac{X_{i,j,k}}{v_t} - \frac{p_{i+1,j,k} - p_{i-1,j,k}}{2\Delta x v_t \rho}, \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} & v_{i+1,j,k} \left(\frac{\tilde{u}_{i,j,k}}{2\Delta x} - \frac{1}{\Delta x^2} \right) - v_{i-1,j,k} \left(\frac{\tilde{u}_{i,j,k}}{2\Delta x} + \frac{1}{\Delta x^2} \right) + v_{i,j+1,k} \left(\frac{\tilde{v}_{i,j,k}}{2\Delta y} - \frac{1}{\Delta y^2} \right) - \\ & - v_{i,j-1,k} \left(\frac{\tilde{v}_{i,j,k}}{2\Delta y} + \frac{1}{\Delta y^2} \right) + v_{i,j,k+1} \left(\frac{\tilde{w}_{i,j,k}}{2\Delta z} - \frac{1}{\Delta z^2} \right) - v_{i,j,k-1} \left(\frac{\tilde{w}_{i,j,k}}{2\Delta z} + \frac{1}{\Delta z^2} \right) + \\ & + v_{i,j,k} \left(\frac{2}{\Delta x^2} + \frac{2}{\Delta y^2} + \frac{2}{\Delta z^2} \right) = \frac{Y_{i,j,k}}{v_t} - \frac{p_{i,j+1,k} - p_{i,j-1,k}}{2\Delta y v_t \rho}, \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} & w_{i+1,j,k} \left(\frac{\tilde{u}_{i,j,k}}{2\Delta x} - \frac{1}{\Delta x^2} \right) - w_{i-1,j,k} \left(\frac{\tilde{u}_{i,j,k}}{2\Delta x} + \frac{1}{\Delta x^2} \right) + w_{i,j+1,k} \left(\frac{\tilde{v}_{i,j,k}}{2\Delta y} - \frac{1}{\Delta y^2} \right) - \\ & - w_{i,j-1,k} \left(\frac{\tilde{v}_{i,j,k}}{2\Delta y} + \frac{1}{\Delta y^2} \right) + w_{i,j,k+1} \left(\frac{\tilde{w}_{i,j,k}}{2\Delta z} - \frac{1}{\Delta z^2} \right) - w_{i,j,k-1} \left(\frac{\tilde{w}_{i,j,k}}{2\Delta z} + \frac{1}{\Delta z^2} \right) + \\ & + w_{i,j,k} \left(\frac{2}{\Delta x^2} + \frac{2}{\Delta y^2} + \frac{2}{\Delta z^2} \right) = \frac{Z_{i,j,k}}{v_t} - \frac{p_{i,j,k+1} - p_{i,j,k-1}}{2\Delta z v_t \rho}. \end{aligned} \quad (12)$$

Граничні умови (9) для компоненти поля швидкостей u записуються наступним чином (для v та w граничні умови будуються аналогічно):

$$u_{0,j,k} = \tilde{u}_{0,j,k}, \quad u_{n,j,k} = \tilde{u}_{n,j,k},$$

$$u_{i,0,k} = \tilde{u}_{i,0,k}, \quad u_{i,m,k} = \tilde{u}_{i,m,k},$$

$$u_{i,j,0} = \tilde{u}_{i,j,0}, \quad u_{i,j,\gamma} = \tilde{u}_{i,j,\gamma},$$

де $i = \overline{0, n}$, $j = \overline{0, m}$, $k = \overline{0, \gamma}$.

Враховуючи особливості системи лінійних рівнянь (10)-(12), а саме те, що семидіагональна розріджена матриця коефіцієнтів при невідомих є досить

великою, то для її розв'язання використовується більш економний **метод LU-розкладання**. Застосування цього методу з врахуванням розрідженості системи рівнянь дозволяє у порівнянні із традиційними методами значно зменшити час обчислення розв'язку та зменшити вимоги до об'єму пам'яті комп'ютера [6].

На **другому етапі** алгоритму визначається повний перепад тисків на всій області шляхом задоволення інтегральній умові нерозривності по всій області:

$$\left| \iint_{(S_i)} U(y, z) dydz - \iint_{(S_{i-1})} U(y, z) dydz \right| \leq \varepsilon |Q_i - Q_{i-1}|, \quad (13)$$

де $U(y, z)$ - поле швидкості в поперечному перерізі S_i розрахункової області; ε - це константа, яка забезпечує рівень точності при наближеному обчисленні поля тиску; i – номер поперечного перерізу розрахункової області.

Нехай $Q_i = \iint_{(S_i)} U(y, z) dydz$ - витрата води в поперечному перерізі S_i . Тоді для умови, що витрати по довжині області не змінюються, (13) записується у вигляді:

$$\left| \iint_{(S_i)} U(y, z) dydz - \iint_{(S_{i-1})} U(y, z) dydz \right| \leq \varepsilon \iint_{(S_0)} U(y, z) dydz. \quad (14)$$

Розподіл тисків по довжині області повинен також відповідати умовам (13), (14).

Алгоритм зворотної одновимірної задачі наближеного обчислення тисків [5] передбачає початкове задавання швидкостей у досліджуваній області, а також закономірностей проникнення мас води у цю область та виходу мас води з неї на основі апіорної інформації. Модель дає змогу досить точно підрахувати перепади тисків вздовж області. Ця модель крім описаної зворотної задачі включає також і пряму, яка дозволяє при заданому законі зміни мас, перепадах тисків і початкових умовах обчислити середні швидкості по перерізах та витрати потоку.

Змінність маси для розрахункової області, через границі якої дозволений масообмін (як турбулентного так і конвективного характеру), дозволяє аналізувати баланс сил на поверхні такої області, в тому числі і на поверхні елементарних комірок. При цьому виявляється можливим опис властивостей таких зон потоку, де трапляються різкі зміни характеристик течії, наприклад біля стінок, в зонах різкого повороту та деформацій течії.

На **третьому етапі** алгоритму коректується поле тисків шляхом розв'язання рівняння Пуассона, яке виводиться із рівняння нерозривності потоку (2). Розв'язок рівняння Пуассона обчислюється за допомогою методу послідовної верхньої релаксації згідно наступної ітераційної схеми [3]:

$$p_{ijk}^{\tau+1} = \frac{\lambda}{2(\Delta y^2 \Delta z^2 + \Delta x^2 \Delta y^2 + \Delta x^2 \Delta z^2)} (\Delta y^2 \Delta z^2 (p_{i+1,jk}^{\tau} + p_{i-1,jk}^{\tau+1}) + \Delta x^2 \Delta z^2 (p_{i,j+1,k}^{\tau} + p_{i,j-1,k}^{\tau+1}) + \Delta x^2 \Delta y^2 (p_{ij,k+1}^{\tau} + p_{ij,k-1}^{\tau+1}) - \Delta x^2 \Delta y^2 \Delta z^2 F_{ijk}) + (1-\lambda)p_{ijk}^{\tau}, \quad (15)$$

де τ – номер ітерації, $\tau = 1, 2, 3, \dots$; λ – коефіцієнт релаксації, оптимальне значення якого в нашому випадку знаходиться в межах від 1,5 до 1,8.

На **четвертому етапі** алгоритму реалізується сплайнове згладження результатів. Для того щоб уникнути великих затрат машинних ресурсів та підвищити точність обчислень спочатку здійснюється розв'язання задачі розрахунку турбулентного водного потоку за неявною схемою на грубій розрахунковій сітці, потім виконується згущення розрахункової сітки за допомогою апроксимації **кубічними сплайнами** знайдених розподілів швидкостей u , v , w та поля тиску p . В результаті отримується досліджуване поле швидкостей та поле тиску **на згущеній сітці**. Далі кінематичні характеристики течії уточнюються за явною схемою розщеплення Мак-Кормака. В результаті отримується поле швидкостей та тиску на відносно густій розрахунковій сітці просторової області.

Такий підхід дозволяє отримати повнішу картину динаміки в'язкої нестислої рідини в умовах турбулентної течії та вимагає незначних затрат машинного часу.

На **п'ятому етапі** алгоритму застосовується явна чисельна схема розщеплення Мак-Кормака, яка досить повно описана, наприклад, в роботі [3].

На **шостому етапі** знову використовується рівняння Пуассона за його різницевою схемою (15). На **заключному етапі** алгоритму здійснюється уточнюючий розрахунок за схемою Мак-Кормака.

При обчисленні характеристик **двохфазних течій** (з наносами) врахування твердої фази ведеться в **три етапи**. У першому наближенні задається поле змінної густини єдиного континуума – водо-піщаної суміші. Далі задається орієнтовно закон зміни маси всього потоку по довжині і неявним та явним методами, аналогічно до освітленого потоку, перераховуються

швидкості двохфазної течії.

Для визначення поздовжніх перепадів тиску з врахуванням змінності витрати використовується одновимірна задача, яка тепер враховує осідання й змулення часток (змінність витрати континуума по довжині області). На етапі підключення повної системи k - ε моделі враховується зміна коефіцієнта турбулентної в'язкості, який залежить від концентрації наносів. Закон зміни маси коректується в ході ітераційних наближень.

Для задач регулювання русел та захисту берегів від розмиву [7] порядок практичних розрахунків повинен враховувати необхідність початкового розрахунку досить довгої ділянки річки в цілому в рамках одновимірної задачі з подальшим уточненням кінематики потоку й глибин в рамках планової задачі [8]. Далі підключається алгоритм описаної задачі для розрахунків течій в окремих зонах, наприклад, за крупними донними грядками [7]. Слід зазначити, що розроблений алгоритм є стійким, збіжним та забезпечує якість апроксимації не нижче другого порядку точності. В областях досить простої геометричної форми розрахунок виконується швидко.

Приклади результатів розрахунків за розробленою моделлю представлено на рис. 1 - рис. 3. В цьому випадку обчислення швидкості течії здійснюється у тривимірній локальній області руслового потоку за донним косо розташованим уступом для умов досліду, які описані [5, 9]. Досліджувалась течія за донним уступом, що розташований за схемою, яка описана в роботі [9]. Донний уступ розташований під гострим кутом $\alpha = 45^\circ$ відносно транзитного потоку. Його висота у відношенні до глибини потоку перед ним складає $\delta = 0,33$. Бокова перешкода використовувалась як один із засобів управління кінематичною структурою турбулентної течії за уступом. Спосіб її встановлення і параметри описані в [9]. Наведені рисунки дають представлення про кінематику потоку у просторових гвинтоподібних течіях, які виникають у різних випадках, але свідчать про локальну подібність структури потоку в них, а також про характер зміни поступальних швидкостей вздовж таких течій. Саме на відстані 5 – 6 висот уступу ці швидкості залишаються досить високими, а далі плавно спадають.

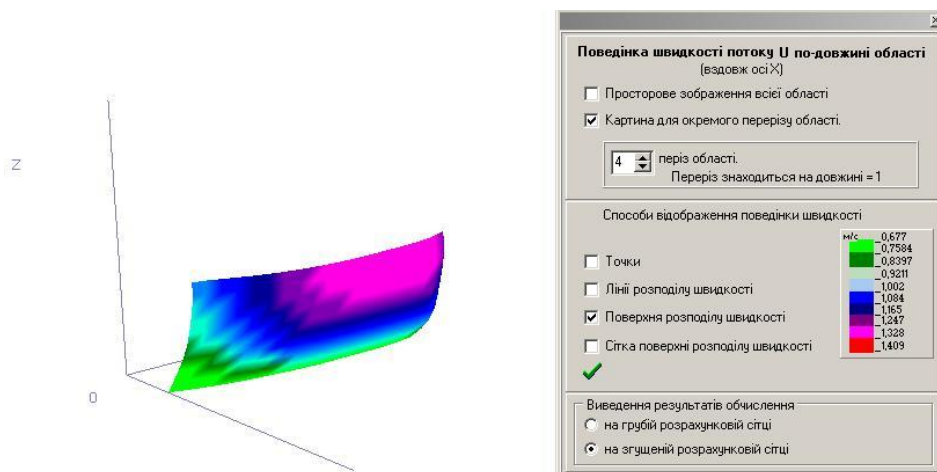


Рисунок 1 – Розподіл швидкостей U в четвертому поперечному перерізі області течії за донним уступом ($i=4$) при заданому полі тисків і при інтенсифікації течії боковою перешкодою з параметрами $\frac{x_{\Pi}}{B} = 3,5$, $\frac{y_{\Pi}}{B} = 0,15$ [9], відносна висота уступу $\delta = 0,33$,

кут його розташування $\alpha = 45^0$

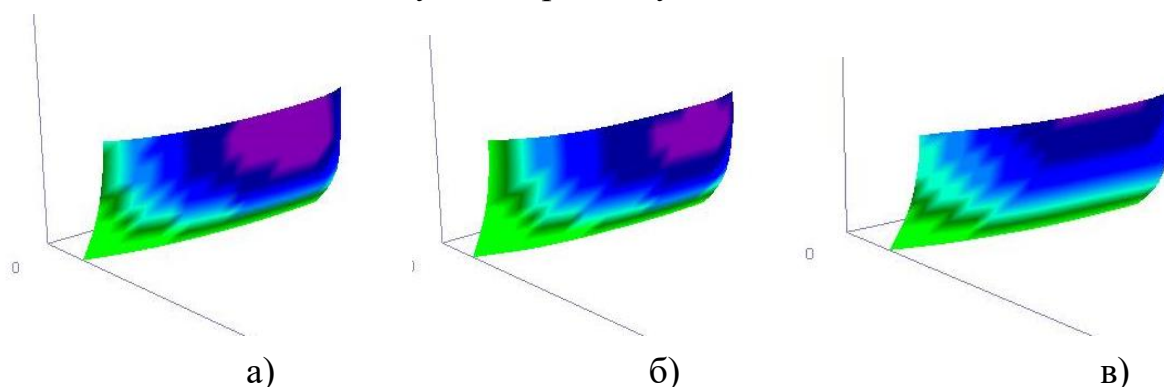


Рисунок 2 – Розподіл швидкостей U у сьомому (а), дев'ятому (б), одинадцятому (в) поперечних перерізах області ($i = 7$, $i = 9$, $i = 11$) при заданому полі тисків і

умовах, які аналогічні для рис. 1

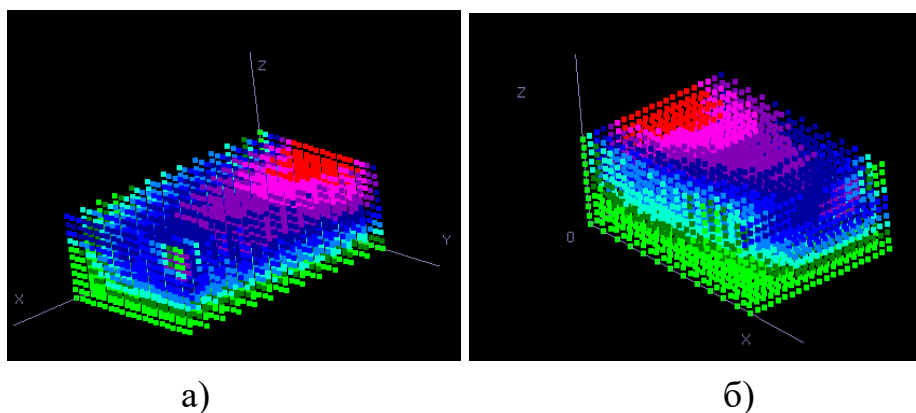


Рисунок 3 – Тривимірна картина течії за косо розташованою напівзагатою довжиною l_{Π} в руслі шириною B при $\alpha = 45^0$ та відносній висоті $\delta = 0,33$, а) при $\frac{l_{\Pi}}{B} = 0,2$, б) $\frac{l_{\Pi}}{B} = 0,4$

Література

1. Шеренков И.А. Прикладные плановые задачи гидравлики свободных потоков / И.А. Шеренков. – М.: Энергия, 1978. – 240 с.
2. Харьков Н.С. Численное моделирование турбулентных закрученных течений в цилиндрических и конических каналах/ Н. С. Харьков // Труды МАИ 4-я Ежегодная Международная конференция «Авиация и Космонавтика - 2005» – Москва, 2005. – Том 2. – С. 264-265.
3. Савенко В. Я. Математические модели и методы расчет квазитрехмерных безнапорных потоков. - К.: Техніка, 1995 – 188 с.
4. Белов И.Ф. Модели турбулентности / И.Ф. Белов. – Л.: ЛМИ. 1982. – 88 с.
5. Щодро О. Є. Дослідження динаміки потоку зі змінною масою за донними уступами та річковими грядами / О. Є. Щодро, Я. В. Ходневич, М. М. Мокляк // Збірник наукових праць „Вісник Національного університету водного господарства та природокористування”. Випуск 1(45). Рівне, Національний університет водного господарства та природокористування, 2009 р., С. 74 – 82.
6. Глушакова Т. Н. Методы решения систем с разреженными матрицами / И.А. Блатов, Т.Н. Глушакова – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2000. – 36 с.
7. Щодро А.Е. Новая концепция местного размыва у берегов и речных гидротехнических сооружений / А.Е. Щодро // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Збірник наукових праць УДАВГ. - Випуск-4(40) Ч.2 Рівне, 2007. - С. 198 – 205.
8. Методика розрахунку розмивів дна та берегів передгірських ділянок річок та місцевих розмивів біля річкових гідротехнічних споруд. МРР 218-02070915-231-2003. Державна служба автомобільних доріг України (УКРавтодор) Національний транспортний університет України.
9. Щодро А. Е. Кинематика потока и водообмен за косорасположенными донными уступами гидротехнических сооружений / А. Е. Щодро // Гидравлика и гидротехника: Респ. межвед. научно–техн. сборник. – К. : Техніка, 1978. – Вып. 26. – С. 59–64.

Рецензенти

В.Я. Савенко, д-р техн. наук, НТУ (Київ),

О.С. Славінська, д-р техн. наук, НТУ (Київ)

Reviewers

V.Ya. Savenko, Dr.Tech.Sci., NTU (Kyiv)

O.S. Slavinska, Dr.Tech.Sci., NTU (Kyiv)

ШТУЧНІ ТА ПІДЗЕМНІ ТРАНСПОРТНІ СПОРТУДИ

УДК 624.21.

Снитко В.П., канд. техн. наук

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПРОГОНОВИХ БУДОВ З ВТОПЛЕНИМИ У БЕТОН МЕТАЛЕВИМИ БАЛКАМИ НА ДІЮ ЗГІНАЛЬНОГО МОМЕНТУ З УРАХУВАННЯМ ПОВЗУЧОСТІ БЕТОНУ.

Анотація. У статті розглянута методика розрахунку прогонових будов мостів з втопленими у бетон металевими балками з урахуванням повзучості бетону.

Розглядається сталезалізобетонна балка прогонової будови моста з втопленою у бетон металевою балкою і армована арматурою .

Наведена методика розрахунку такої балки на дію згинального моменту з урахуванням впливу повзучості бетону. Визначаються напруження у бетоні , арматурі і сталевій частині перерізу у будь-який момент часу t . Наведені результати розрахунку розрізної прогонової будови автодорожнього мосту такої конструкції , довжиною 18 м за наведено методикою.

Ключові слова: міст, прогонова будова, балка з втопленою у бетон металевою балкою, напруження, згинальний момент, повзучість бетону.

Аннотация. В статье рассмотрена методика расчета пролетных строений мостов с утопленными в бетон металлическими балками с учетом ползучести бетона. Рассматривается сталежелезобетонные балка пролетного строения моста с утопленной в бетон металлической балкой и армированная арматурой. Приведенная методика расчета такой балки на действие изгибающего момента с учетом влияния ползучести бетона. Определяются напряжение в бетоне, арматуре и стальной части сечения в любой момент времени t . Приведенные результаты расчета разрезной пролетного строения автодорожного моста такой конструкции, длиной 18 м за приведены методике.

Ключевые слова: мост, пролетное строение, балка с утопленной в бетон металлической балкой, напряжение, изгибающий момент, ползучесть бетона.

Annotation. In the article the method of calculating the spans of the bridge recessed in concrete with metal beams considering creep of concrete. We consider stalezalizobetonna span beam bridge with recessed in concrete and metal reinforcing beam reinforcement. The method of calculation of such beams bending moment on the action with the influence of creep of concrete. Identify stress in concrete and steel reinforcement of the section at any time t . The results of the calculation split span road bridge of this design length of 18 m for the given method.

Keywords: bridge, span, beam recessed in concrete with a metal beam, tension, bending moment, creep of concrete.

Вступ

У наш час сталезалізобетонні мости з втопленими у бетон металевими балками широко використовують, особливо закордоном, як на автомобільних дорогах, так і на залізницях. Такі конструкції використовують і для мостів під швидкісні поїзди у Німеччині і Франції.

Основна частина

Покажемо методику розрахунку такої прогонової будови моста з урахуванням повзучості і усадки бетону.

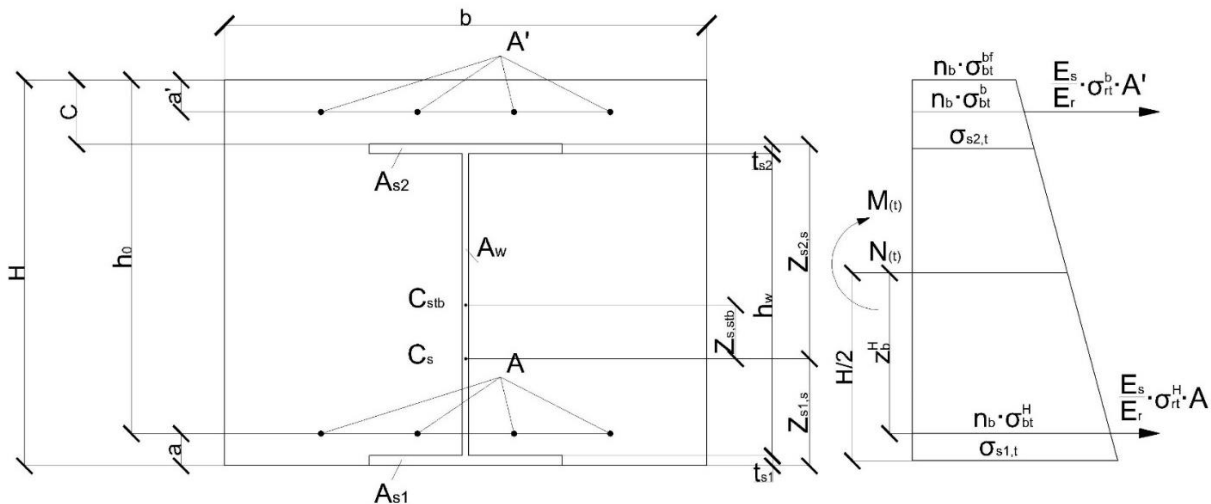


Рисунок 1 – Напруження в сталезалізобетонному перерізі

Розглянемо сталезалізобетонний працюючий без тріщин брус з втопленою у бетон металеву балкою і армований арматурою.

У кожному перерізі діють згинальний момент M (див. рис.1). Балка довільної форми, але має одну вісь симетрії.

Передбачається, що зчеплення арматури і металевої балки з бетоном здійснено до прикладання навантаження.

Необхідно визначити напруження у бетоні, арматурі і сталевій частині перерізу у будь-який момент часу t .

Приймаємо лінійний закон розподілу напруження у бетоні і сталевій частині перерізу на висоті балки.

Невідомими вважаємо напруження в бетоні на рівні центрів ваги верхньої та нижньої арматури σ_{bt}^B і σ_{bt}^H .

Напруження в арматурі на тих же рівнях σ_{rt}^B і σ_{rt}^H , напруження у сталевій балці на рівні верхньої і нижньої фібри $\sigma_{s2,t}$ і $\sigma_{s1,t}$. Вважаємо, що невідомі напруження додатні (розтяг). Для визначення невідомих складаємо рівняння проєкцій діючих зусиль на вісь бруса, рівняння моментів діючих зусиль щодо центра ваги нижньої арматури, два рівняння спільності деформацій бетону і верхньої та нижньої арматури, бетону і верхньої фібри сталеві балки, а також рівняння, що випливає із гіпотези плоских перерізів.

Напруження, що викликані згинальним моментом M .

Напруження у бетоні у будь-якій точці перерізу, що розташована на відстані Z від центру ваги нижньої арматури σ_{bt}^Z через σ_{bt}^B і σ_{bt}^H . Із рисунка 2 видно, що

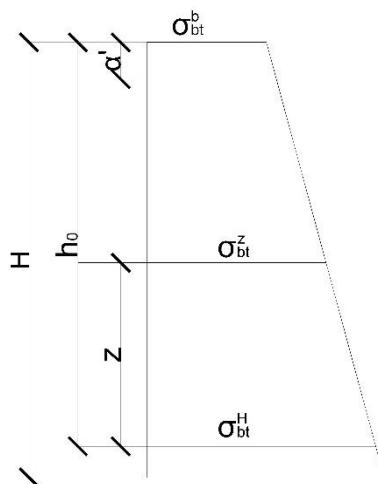


Рисунок 2 – Визначення напруження у бетоні в будь-якій точці перерізу

$$\sigma_{bt}^Z = \sigma_{bt}^B \cdot \frac{Z}{h_0 - a'} + \sigma_{bt}^H \cdot \frac{(h_0 - a' - Z)}{h_0 - a'}. \quad (1)$$

Напруження у металевій балці у будь-якій точці її перерізу, що розташована на відстані Z від центру ваги нижньої арматури σ_{bt}^z через $\sigma_{s2,t}$ і $\sigma_{s1,t}$ буде:

$$\sigma_{st}^z = \sigma_{s1,t} \cdot \frac{h_0 - C - z}{H - C} + \sigma_{s2,t} \cdot \frac{z + a}{H - C}. \quad (2)$$

Переходимо до складання рівняння

1) Рівняння проєкцій ($\Sigma X = 0$);

$$\int_{Ab} \sigma_{bt}^z \cdot dA_b + \int_{As} \sigma_{st}^z \cdot dA_s + \sigma_{rt}^B \cdot A' + \sigma_{rt}^H \cdot A = 0. \quad (3)$$

2) Рівняння моментів ($\Sigma M = 0$);

$$\int_{Ab} \sigma_{bt}^z \cdot z \cdot dA_b + \int_{As} \sigma_{st}^z \cdot z \cdot dA_s + \sigma_{rt}^B \cdot A' \cdot (h_0 - a') + M = 0. \quad (4)$$

3) Рівняння спільності деформацій верхньої арматури і бетону:

4)

$$\frac{\sigma_{rt}^B}{E_r} = \varepsilon_{bt}^B; \quad (5)$$

де ε_{bt}^B повна відносна деформація бетону на рівні центру ваги верхньої арматури у момент часу t ;

E_r – модуль пружності арматури на основі модифікованої теорії старіння бетону [2] одержуємо:

$$\sigma_{rt}^B = \eta_r \cdot (\sigma_{b_0}^B \cdot K_1 + \sigma_{bt}^B \cdot K_2); \quad (6)$$

де $\eta_r = \frac{E_r}{E_{b_0}}$ відношення модуля пружності арматури до початкового модуля пружності бетону E_{b_0} ; K_1 і K_2 коефіцієнти, що прийняті при параболічній залежності між напруженнями в бетоні в момент часу t σ_{bt} і характеристикою повзучості бетону φ_t [2], яка обчислюється за формулами:

$$K_1 = (1 - a + K_0) \cdot \frac{\varphi_t}{3}; \quad K_2 = 1 + (2 + a - K_0) \cdot \frac{\varphi_t}{3};$$

А при лінійній залежності за формулами:

$$K_1 = (1 - a + K_0) \cdot \frac{\varphi_t}{2}; \quad K_2 = 1 + (1 + a - K_0) \cdot \frac{\varphi_t}{2},$$

де φ_t гранична характеристика повзучості бетону, що обчислюється за [1]

a і K_0 - коефіцієнти, що обчислюються за [2]

Рівняння спільності деформацій нижньої арматури і бетону за аналогією з попереднім

$$\sigma_{rt}^H = \eta_r \cdot (\sigma_{b_0}^H \cdot K_1 + \sigma_{bt}^H \cdot K_2); \quad (7)$$

Рівняння спільності деформації верхньої фібри металевої балки і бетону

$$\sigma_{s2,t} = n_b \cdot (\sigma_{b0}^{s2} \cdot K_1 + \sigma_{bt}^{s2} \cdot K_2); \quad (8)$$

де $n_b = \frac{E_s}{E_{b0}}$ – відношення модуля пружності сталеві балки E_s до початкового модуля пружності бетону E_{b0} ;

σ_{b0}^{s2} і σ_{bt}^{s2} – відповідно напруження у бетоні на рівні верхньої фібри металевої балки на момент часу “0” і “t” .

З гіпотези плоских перерізів маємо:

$$\sigma_{s1,t} = \sigma_{s2,t} \cdot \frac{H-a'}{c-a'} - \sigma_{rt}^B \cdot \frac{n_b}{n_r} \cdot \frac{H-c}{c-a'}. \quad (9)$$

Підставляємо у рівняння (3) і (4) замість σ_{bt}^z і σ_{st}^z їх значення (1) і (2) , замість σ_{rt}^B і σ_{rt}^H – значення (6) і (7) , а замість $\sigma_{s2,t}$ значення (8) , після деяких перетворень , одержуємо рівняння для визначення напружень σ_{bt}^B і σ_{bt}^H :

$$\beta \cdot \sigma_{bt}^B + \gamma \cdot \sigma_{bt}^H + \delta \cdot M = 0 ; \quad (10)$$

$$m_1 \cdot \sigma_{bt}^B + m_2 \cdot \sigma_{bt}^H + m_3 \cdot M = 0 ; \quad (11)$$

$$\text{де} \quad \beta = \frac{S_b}{h_0-a'} + F \cdot \frac{h_0-c}{h_0-a'} + D \cdot \left[\frac{(h_0-c) \cdot (H-a')}{(h_0-a') \cdot (H-c)} - 1 \right] + K_2 \cdot A' \cdot n_r ; \quad (12)$$

$$D = \frac{K_2 \cdot n_b \cdot [(h_0-c) \cdot A_s - S_s]}{c-a'} ; \quad (13)$$

$$F = \frac{K_2 \cdot n_b \cdot (S_s + a \cdot A_s)}{H-c} ; \quad (14)$$

$$\gamma = A_b + F \cdot \frac{c-a'}{h_0-a'} + D \cdot \frac{(H-a') \cdot (c-a')}{(h_0-a') \cdot (H-c)} + K_2 \cdot n_r \cdot A - \frac{S_b}{(h_0-a')} ; \quad (15)$$

$$\delta = \eta^{s2} \cdot F \cdot \frac{K_1}{K_2} + \eta^{s2} \cdot D \cdot \frac{K_1}{K_2} \cdot \frac{H-a'}{H-c} - D \cdot \frac{K_1}{K_2} \cdot \eta^B + n_r \cdot K_1 \cdot (A \cdot \eta^H + A' \cdot \eta^B); \quad (16)$$

$$m_1 = \frac{I_b}{h_0-a'} + B \cdot \frac{h_0-c}{h_0-a'} + V \cdot \left[\frac{(h_0-c) \cdot (H-a')}{(h_0-a') \cdot (H-c)} - 1 \right] + K_2 \cdot A' \cdot n_r \cdot (h_0 - a'); \quad (17)$$

$$V = \frac{K_2 \cdot n_b \cdot [(h_0-c) \cdot S_s - I_s]}{c-a'} ; \quad (18)$$

$$B = \frac{K_2 \cdot n_b \cdot (I_s + a \cdot S_s)}{H-c} ; \quad (19)$$

$$m_2 = S_b - \frac{I_b}{h_0-a'} + V \cdot \frac{(H-a') \cdot (c-a')}{(h_0-a') \cdot (H-c)} + B \cdot \frac{(c-a')}{(h_0-a')} ; \quad (20)$$

$$m_3 = (h_0 - a') \cdot \eta^B \cdot n_r \cdot K_1 \cdot A' + \eta^{s2} \cdot V \cdot \frac{K_1}{K_2} \cdot \frac{(H-a')}{(H-c)} - \eta^B \cdot \frac{K_1}{K_2} \cdot V + \\ + \eta^{s2} \cdot \frac{K_1}{K_2} \cdot B + 1 ; \quad (21)$$

$S_b = \int_{A_b} z \cdot dA_b$ – статичний момент площі бетонного перерізу A_b відносно горизонтальної вісі , що проходить через центр тяжіння нижньої арматури;

$A_b = \int_{A_b} dA_b$ – площа бетонної частини перерізу (без врахування площі металу);

$I_b = \int_{A_b} z^2 \cdot dA_b$ – момент інерції площі бетонної частини перерізу A_b відносно вісі , що проходить через центр тяжіння нижньої арматури;

$A_s = \int_{A_s} dA_s$ – площа металевієї балки;

$S_s = \int_{A_s} z \cdot dA_s$ – статичний момент площі металевієї балки відносно горизонтальної вісі , що проходить через центр тяжіння нижньої арматури;

$I_s = \int_{A_s} z^2 \cdot dA_s$ – момент інерції площі металевієї балки A_s , щодо тієї ж вісі;

Зрозуміло , що

$$\sigma_{b0}^H = \frac{M \cdot Z_{b.n}^H}{I_{b.n}} = \eta^H \cdot M ; \quad (22)$$

$$\sigma_{b0}^B = - \frac{M \cdot Z_{b.n}^B}{I_{b.n}} = \eta^B \cdot M ; \quad (23)$$

$$\sigma_{b0}^{S2} = - \frac{M \cdot Z_{b.n}^{S2}}{I_{b.n}} = \eta^{S2} \cdot M ; \quad (24)$$

$$\sigma_{b0}^{S1} = \frac{M \cdot Z_{b.n}^{S1}}{I_{b.n}} = \eta^{S1} \cdot M ; \quad (25)$$

де $I_{b.n}$ – момент інерції приведенного до бетону перерізу балки прогонової будови відносно горизонтальної вісі , що проходить через центр тяжіння приведенного перерізу;

$Z_{b.n}^H$ і $Z_{b.n}^B$ – відстань від центру приведенного перерізу до центрів тяжіння нижньої і верхньої арматури;

$Z_{b.n}^{S2}$ і $Z_{b.n}^{S1}$ - відстань від центру тяжіння приведенного перерізу відповідно до верхньої і нижньої фібри металевієї балки.

Напруження у бетоні на момент часу t :

$$\sigma_{bt}^B = \eta_t^B \cdot M ; \quad (26)$$

$$\sigma_{bt}^H = \eta_t^H \cdot M ; \quad (27)$$

де
$$\eta_t^B = \frac{\gamma \cdot m_3 - \delta \cdot m_2}{\beta \cdot m_2 - \gamma \cdot m_1} ; \quad (28)$$

$$\eta_t^H = \frac{\delta \cdot m_1 - \beta \cdot m_2}{\beta \cdot m_2 - \gamma \cdot m_1}; \quad (29)$$

Напруження в арматурі :

$$\sigma_{rt}^B = n_r \cdot (\eta^B \cdot K_1 + \eta_t^B \cdot K_2) \cdot M; \quad (30)$$

$$\sigma_{rt}^H = n_r \cdot (\eta^H \cdot K_1 + \eta_t^H \cdot K_2) \cdot M; \quad (31)$$

Напруження σ_{bt}^{S2} у бетоні на момент часу t на рівні верхньої фібри металевої балки із формули (1) буде:

$$\sigma_{bt}^{S2} = \sigma_{bt}^B \cdot \frac{(h_0 - c)}{(h_0 - a')} + \sigma_{bt}^H \cdot \frac{(c - a')}{(h_0 - a')}. \quad (32)$$

Напруження у металевій балці на момент часу t :

$$\sigma_{S2,t} = n_b \cdot (\sigma_{b0}^{S2} \cdot K_1 + \sigma_{bt}^{S2} \cdot K_2); \quad (33)$$

Та із рівняння (9):

$$\sigma_{S1,t} = \sigma_{S2,t} \cdot \frac{(H - a')}{(c - a')} - \sigma_{rt}^B \cdot \frac{n_b}{n_r} \cdot \frac{(H - c)}{(c - a')}. \quad (34)$$

Розглянемо розрізну прогонову будову автодорожнього мосту довжиною 18 м і габаритом Г-11,5 м, що має дві смуги руху шириною по 3,75 м і дві смуги безпеки по 2,0 м.

Залізобетонна плита шириною 13,5 м у верхній частині має симетричні поперечні 2% ухили від осі моста до країв. Огородження проїзду встановлені на цоколях висотою 10 см над покриттям і шириною 1,0 м. Середня висота залізобетонної плити прогонової будови 60 см. Бетон плити класу міцності В35, щільності W14 і морозостійкості F300. Залізобетонна плита має утоплені у бетон сталеві прокатні балки з постійним поперечним перерізом із двотаврів з широкими полицями 50 Ш₄ з кроком 75 см у поперек мосту, із сталі класу міцності С390 і висотою $h=50,1$ см. Кількість металевих балок у поперек мосту складає 18 шт. Поперечний переріз сталезалізобетонного мосту з утопленими у бетон балками показано на рис.3

Крім того, сталезалізобетонна плита прогонової будови армована двома сітками арматури АІІІ діаметром d 16 мм. Всі стики арматури виконані у перехльост.

Відстань від верхньої і нижньої грані плити до центрів тяжіння верхньої і нижньої арматури прийнята 69 мм.

Розрахунок виконано для перерізу сталезалізобетонної плити посередині прогону мосту.

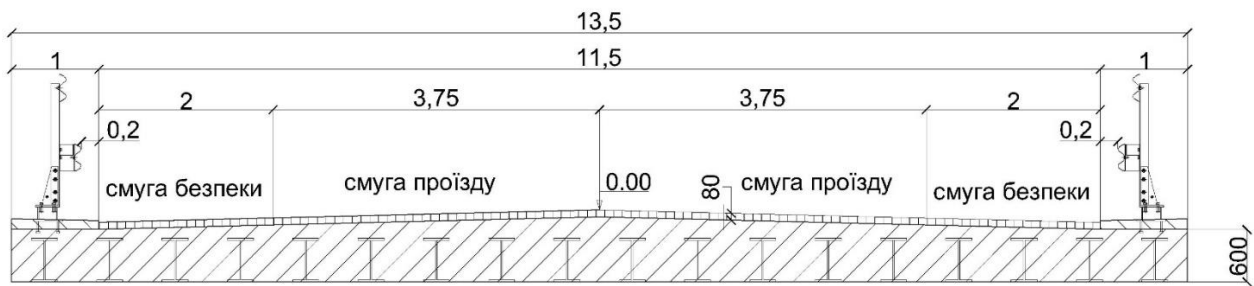


Рисунок 3 – Поперечний переріз мосту

Коефіцієнт армування у кожному напрямі прийнятий не менший за 1%.

Фрагмент плити прогонової будови з утопленими у бетон металевими балками показано на рис.4

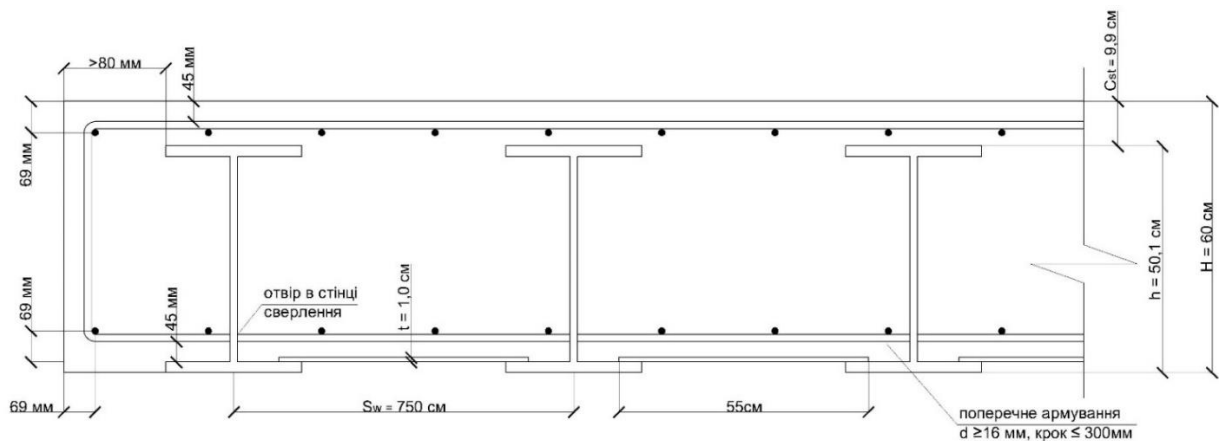


Рисунок 4 – Фрагмент плити прогонової будови у поперек мосту

Розглядаємо плиту шириною 0,75 м. Першу частину постійного навантаження сприймає металевий переріз плити. Згинальний момент від цього навантаження складає $M_1 = 623.8 \text{ kH} \cdot \text{m}$. На 28 добу після бетонування сталезалізобетонний переріз плити включається в роботу на другу частину постійного навантаження і момент складає $M_2 = 122.5 \text{ kH} \cdot \text{m}$.

Граничне значення характеристики повзучості бетону прийнята $\varphi_t = 2,3$ [1].

Напруження в металевій балці у момент прикладання першої частини постійного навантаження складають:

На рівні верхньої фібри $\sigma_{s2}^I = -104.4 \text{ МПа}$ (стиснення).

На рівні нижньої фібри $\sigma_{s1}^I = 73,5 \text{ МПа}$ (ростяг).

Напруження в бетоні у момент прикладання другої частини постійного навантаження M_2 складають:

- на рівні центра тяжіння верхньої арматури $\sigma_{b_o}^B = -1,5 \text{ МПа}$;
- на рівні центра тяжіння нижньої арматури $\sigma_{b_o}^H = 1,29 \text{ МПа}$.

Повзучість бетону викликало появу на момент часу t додаткових напружень у бетоні:

- на рівні центра тяжіння верхньої арматури $\sigma_{b,kr}^B = 0,73 \text{ МПа}$;
- на рівні центра тяжіння нижньої арматури $\sigma_{b,kr}^H = -0,8 \text{ МПа}$.

Напруження в металевій балці від другої частини постійного навантаження M_2 складають на рівні :

Верхньої фібри металу $\sigma_{s2}^H = -7,9 \text{ МПа}$;

Нижньої фібри металу $\sigma_{s1}^H = 10,2 \text{ МПа}$.

Повзучість бетону на момент часу t викликало появу додаткових напружень в металевій балці :

На рівні верхньої фібри $\sigma_{s2,kr} = -7.3 \text{ МПа}$;

На рівні нижньої фібри $\sigma_{s1,kr} = 24,2 \text{ МПа}$.

Література

1. ДБН В.2.3-14:2006. Мости та труби .Правила проектування . – К: Міністерство будівництва , архітектури та житлово-комунального господарства , 2006.
2. Л.Д. Лившиц .Расчет железобетонных конструкций с учетом влияния усадки и ползучести бетона – К: Издательское объединение „ Вища школа “ , 1975.
3. Снитко В.П. Проектування сталезалізобетонних мостів : навч. Посібник . – К.:НТУ , 2005.
4. Снитко В.П. Проектування та розрахунок прогонових будов металевих мостів: навч. Посібник. – К.:НТУ , 2010.

Рецензенти

С.Й. Солодкий, д-р техн. наук, НУ “Львівська політехніка” (Львів)

В.М. Нагайчук, канд. техн. наук, ДП “ДерждорНДІ” (Київ)

Reviewers

S.Yo. Solodkyi, Dr.Tech.Sci., “Lviv Polytechnic” (Lviv)

V.M. Nahaychuk., Ph.D., “DerzhdorNDI” (Kyiv)

ОПТИМІЗАЦІЯ ВАРТОСТІ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ

Анотація. Представлено постановку задачі оптимізації життєвого циклу. Теоретичною базою деградації елементів моста прийнято марковську стохастичну модель.

Ключові слова: вартість життєвого циклу, міст, надійність, прогноз ресурсу.

Аннотация. Представлена постановка задачи оптимизации жизненного цикла. Теоретической базой деградации элементов моста принято марковскую стохастическую модель.

Ключевые слова: стоимость жизненного цикла, мост, надежность, прогноз ресурса.

Annotation. The problem presented optimize life cycle. The theoretical basis of the degradation of the elements of the bridge taken Markov stochastic model.

Keywords: life cycle cost, bridge, reliability prediction resource.

Вступ

Рішення, що пов'язані з реалізацією покращення транспортної мережі, зазвичай вимагають розгляду декілька альтернативних рішень. Ще на стадії проекту, а потім і будівництва, багато факторів впливають на прийняття того чи іншого рішення щодо реалізації зменшення затрат. Витрати на проект і будівництво є початковими протягом життєвого циклу і можуть бути меншими за видатки на обслуговування, ремонт, реконструкцію або заміну моста.

Ідея цього дослідження полягає в тому, що автодорожні мости, як інвестиційні рішення, мають враховувати всі затрати та фактори, в строк який планується їх експлуатація, та залежно від цього обрати найбільш ефективну стратегію. Транспортні споруди в Україні проектуються на строк служби в 70-100 років. Статистична оцінка строк служби мостів в Україні [2], показує що реальний середній строк функціонування мостів 40-50 років. Здатність моста

забезпечити строк служби, що регламентується нормативним документом [4], залежить від стратегії експлуатації та підприємства, що його обслуговує. Таким чином, інвестиційні рішення мають враховувати не тільки початкові витрати на створення транспортної споруди, але і всі майбутні, що пов'язані з її експлуатацією, щоб зберегти ці інвестиції для суспільства.

Середній строк служби мостів, який в двічі нижчий ніж нормативний, є показником того, що в Україні не приділяється уваги оптимізації вартості життєвого циклу мостів, яка враховує всі витрати, що неминуче виникають в процесі експлуатації (обслуговування, ремонт, реконструкція або повна заміна моста), внаслідок чого ефективність витрат бюджетних коштів, на обслуговування транспортної мережі, є низькою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В зарубіжних дослідженнях значну увагу приділяють вартості життєвого циклу мостів як інструменту для прийняття інвестиційних рішень і ефективним плануванням фінансування [11, 14]. Хоча основні принципи аналізу вартості життєвого циклу були сформульовані понад 100 років, проте систематичні підходи до вартості життєвого циклу з'явилися тільки від 25 до 30 років назад в Сполучених Штатах. Вже тоді науковцями з США було запропоновано створення паспорту моста в якому буде міститися інформація про стратегію експлуатації протягом життєвого циклу, що включає в себе перелік заходів (поточний ремонт, капітальний ремонт, реконструкція або заміна моста) відображених в коштах [12, 13, 15].

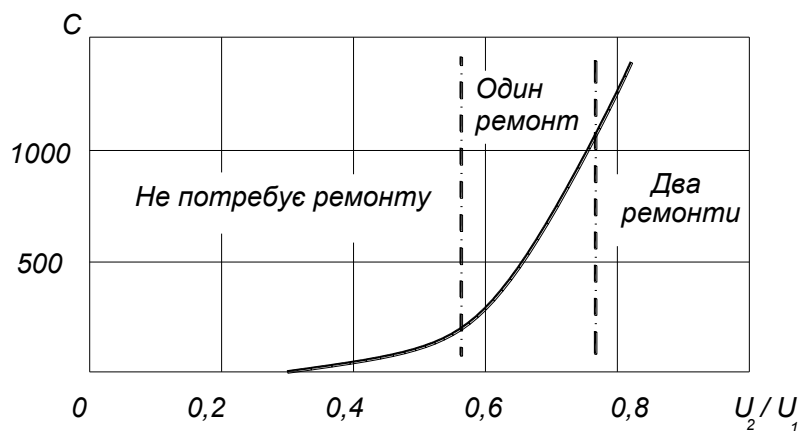
В Європі оптимізацією вартості життєвого циклу мостів стали перейматися пізніше, але по кількості публікацій і уваги, що приділяють цій проблемі, країни Євросоюзу не відстають від США. В науковій роботі Troive S. [17] викладено короткий опис теорії оптимізації життєвого циклу та запропоновано метод побудови моделі де роздільно представлено витрати та вигоди від експлуатаційних заходів (рис. 1).

Науковці Silva A., Fernandes [16] на прикладі вантового моста, в своїй роботі надають розрахунки вартості життєвого циклу, що засновані на ймовірнісних методах. Вони підкреслюють, що правильний вибір часу ремонту є більш важливим, ніж сама вартість ремонту, так як невчасно проведений ремонт має великий вплив на кінцеву вартість життєвого циклу. Таким чином моделі прогнозу деградації, є більш важливими ніж витрати.



Рисунок 1 – Схема витрат і вигод впродовж строку служби моста

Незважаючи на безумовну актуальність проблеми оптимізації життєвого циклу мостів – публікацій в Україні мало. Нам відомі тільки декілька публікацій українських науковців – професора Лантух-Лященко А.І. [7, 8] та професора А.С.Дехтяря [5, 6]. Названі роботи містять стислий теоретичний опис аналізу оптимізації життєвого циклу автодорожніх мостів. В роботі А.С. Дехтяря [5] наведено приклад побудови цільової функції (рис. 2), що показує, яку ціну маємо сплачувати за підвищення надійності споруди.



U_2/U_1 – допустимий рівень надійності; C – приведена вартість, умов. одиниці.

Рисунок 2 – Графік цільової функції

Формулювання задачі оптимізації

Вибір стратегії експлуатації дорожньої мережі є в рамках політики управління. Задачу вибору стратегії необхідно зводити до мінімуму витрат на технічне обслуговування і максимізувати ефективність операцій з технічного обслуговування. Цей вибір цікавий тим, що потім дозволяє ранжувати за пріоритетами об'єкти управління життєвим циклом.

Сьогодні в практиці експлуатації мостів прийнято розглядати три стратегії:

А. Нічого не робити до виходу моста з експлуатації і розробити план його заміни.

В. Нічого не робити, поки технічний стан моста не досягне обмежено працездатного стану, що вимагає ремонту на дорогах державного значення.

С. Здійснення превентивних заходів щодо зниження швидкості деградації.

Вибір стратегії експлуатації залежить від:

- поточного технічного стану моста;
- несної здатності елементів моста;
- інформації в базі даних;
- строку в який планується експлуатувати міст;
- кривої деградації для кожного елемента моста;
- моменту коли ремонт моста стає необхідним для подальшої експлуатації;
- кількості витрат на обслуговування в порівнянні з різними стратегіями експлуатації;
- стратегій і історії експлуатації в минулому.

Переваги стратегій експлуатації, що засновані на вартості життєвого циклу:

- можливість оцінки експлуатаційних витрат в майбутньому ще на стадії проектування;
- формування бази даних життєвого циклу мостів, з можливістю оцінки витрат на обслуговування в залежності від вибраної стратегії експлуатації;
- прогнозування бюджету необхідного для обраної стратегії експлуатації мостів на рівні мережі в будь-який проміжок часу;
- створення оптимальної програми експлуатації, мінімізуючи витрати протягом всього строку служби моста.

Кожна стратегія має свої переваги і недоліки.

Таблиця 1 – Переваги і недоліки стратегій експлуатації

Стратегія	Переваги	Недоліки
А	Не вимагає обслуговування до заміни моста. Витрати на технічне обслуговування і вплив на трафік обмежений протягом тривалого часу.	Висока вартість заміни. Проблема внесення в бюджет заміни багатьох мостів одночасно. Прискорення процесу деградації та видимі пошкодження моста, що негативно впливають на зовнішній вигляд споруди і викликають занепокоєння користувачів.
В	Відсутні витрати на експлуатацію і ремонт моста, поки його технічний стан задовільний. Строк служби споруди подовжений за рахунок вчасних ремонтів. Зниженні витрати на експлуатаційні заходи.	Іноді висока вартість ремонту. Можливий невчасний вибір часу коли необхідний ремонт та помилкове визначення технічного стану моста при якому необхідне втручання, що значно збільшує витрати на ремонтні роботи.
С	Незначні витрати на обслуговування. Втручання в рух транспортних засобів майже відсутній. Швидкість деградації значно уповільнюється, при умові виконання регулярних експлуатаційних заходів з початку введення моста в експлуатацію.	З самого початку експлуатації моста повинна бути розроблена програма за якою, впродовж всього строку служби, буде проводитися технічне обслуговування. Експлуатаційні втручання проводять дуже часто. Якщо застосовувати таку стратегію експлуатації для великої кількості мостів одночасно, вона може виявитися неефективною.

Основна мета процесу оптимізації життєвого циклу мостів, переконатися, що кошти, на утримання мостів витрачені найбільш економічно ефективним способом.

Математичне формулювання проблеми

В загальному вигляді задачу оптимізації вартості життєвого циклу представлено таким чином:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i \rightarrow \min , \quad (1)$$

де C – цільова функція;

C_i – складові вартості життєвого циклу.

В математичній моделі (1) ключову роль відіграє саме обчислення цільової функції C , тобто спосіб, в який витрати в різні моменти T_i часу приводяться до моменту T . Згідно з методикою [9], загальноприйнятої в економічних розрахунках, приведена вартість $C_{i,\text{прив}}$:

$$C_{i,\text{прив}} = C_i(1 + E)^p, \quad (2)$$

де E – нормативний коефіцієнт ефективності;

$p = T - T_i$ – відстань в часі (в роках).

До основних складових вартості життєвого циклу відносять:

- витрати на будівництво споруди;
- поточні витрати на моніторинг і утримання;
- транспортні витрати;
- транспортні витрати, викликані затримками руху під час виконання ремонтних робіт або реконструкції;
- інші витрати користувачів дороги;
- соціальні витрати, викликані можливою аварією споруди;
- витрати на охорону оточуючого середовища;
- витрати власника споруди на матеріально-технічну базу та адміністрування.

Метод оптимізації вартості життєвого циклу в Аналітичній експертній системі управління мостами (АЕСУМ)

За оптимізацію життєвого циклу в АЕСУМ відповідає програмний модуль генетичного алгоритму (ГА) [1]. Для оптимізації стратегії ремонтів застосовано метод випадкового пошуку оптимального значення цільової функції. Генетичний алгоритм відрізняється від класичного тим, що в ньому враховуються особливості допустимої послідовності виконання різних робіт з ремонтів мостів, які залежать від ступеню деградації моста і вже призначених на попередніх кроках (в минулі роки) робіт. ГА реалізує пошук глобального

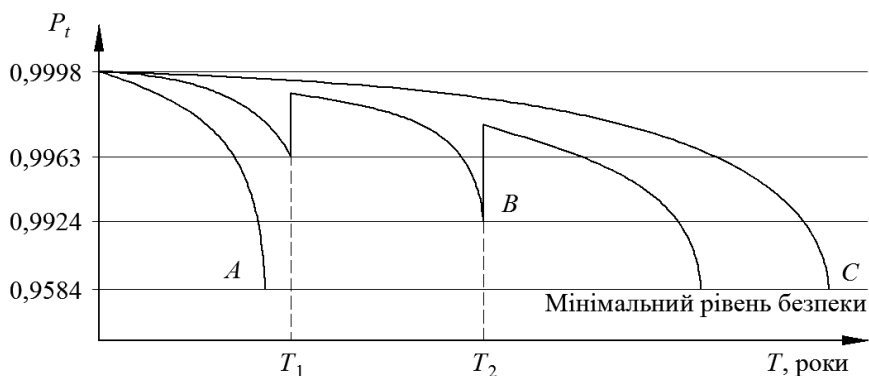
оптимуму в складній задачі системи експлуатації представленою моделлю деградації елементів моста в функції часу, моделлю вартості ремонтно-відновлювальних заходів.

Теоретичною базою деградації елементів моста прийнято марковську стохастичну модель. За цією моделлю [2, 3] в якій визначається залишковий ресурс споруди для кожної стратегії експлуатації (рис. 3) за формулою:

$$P_t = 0,008333 (\lambda t)^5 e^{-\lambda t}, \quad (3)$$

де λ – параметр інтенсивності відмов;

t – час (у роках), що пройшов від початку експлуатації до моменту класифікації дискретного стану.



T_1 – час першого ремонту, роки; T_2 – час другого ремонту, роки.

Рисунок 3 – Графік зміни характеристики безпеки протягом життєвого циклу мостів в залежності від обраної стратегії експлуатації

Підкреслимо, що модель життєвого циклу елементів автодорожніх мостів і її програмна реалізація за методом ГА є мережевого рівня і оптимізує виконання ремонтних робіт в рамках певної дорожньої мережі, певного регіону.

Слід зазначити, що метод оптимізації в АЕСУМ не дає можливості одночасно аналізувати декілька стратегій експлуатації і порівнювати витрати/строки служби для кожної з них.

Висновки

1. В цьому дослідженні сформульовано задачу оптимізації і показано існуючі сьогодні напрями оптимізації вартості життєвого циклу експлуатації автодорожніх мостів.

2. Оптимізація вартості життєвого циклу автодорожніх мостів є пріоритетним напрямом для багатьох розвинених країн світу, в якості інструменту для прийняття інвестиційних рішень і ефективного планування фінансування транспортної мережі.

3. Для того, щоб транспортна мережа України могла розвиватися, необхідно радикально переглянути відношення до будівництва та експлуатації транспортних споруд. Будівництво мостів необхідно розглядати, як інвестиційні рішення, а заходи щодо підтримки їх технічного стану, як збереження цих інвестицій для суспільства.

4. Існуючий апарат оптимізації вартості життєвого циклу в АЕСУМ, реалізовано за методом генетичних алгоритмів. Метод є мережевого рівня і оптимізує виконання ремонтних робіт в рамках певної дорожньої мережі, певного регіону. Проте обрати кількість ремонтів протягом життєвого циклу можна тільки на об'єктному рівні.

Ця робота була виконана під керівництвом д-ра техн. наук, професора Лантуха-Лященко А.І. Висловлюю йому мою щирю подяку.

Література

1. Боднар Л.П. Генетичні алгоритми в оптимізації стратегій ремонтів мостів // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна – Д., 2016. – Вип. 6.– С. 18–23.
2. Давиденко, О.О. Оцінка технічного стану і прогнозування залишкового ресурсу автодорожніх мостів України [Текст] / О.О. Давиденко // Автошляховик України – К., 2014. – Вип. 237. – С. 29–35.
3. Державний стандарт України ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів [Текст]. – Введено вперше; надано чинності 2012-12-28. – К. : Мінрегіонбуд України, – 57 с.
4. Державні будівельні норми України ДБН В.2.3-22:2009. Мости і труби. Основні вимоги проектування [Текст]. – Введено вперше; надано чинності 2010-03-01. – К. : Мінрегіонбуд України, – 73 с.
5. Дехтяр, А. С. Оптимальна експлуатація залізобетонних мостів [Текст] / А. С. Дехтяр // Системні методи керування, технології та організації виробництва, ремонту та експлуатації автомобілів. – 2001. – Вип. 12. – С. 385-392.
6. Дехтяр, А. С. Оптимальні строки й об'єми ремонтів залізобетонних мостів [Текст] / А. С. Дехтяр // 36. Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій. – Львів, 2001. – Вип. 3. – С. 83-86.

7. Лантух-Лященко, А.І. Оцінка технічного стану транспортних споруд, що знаходяться в експлуатації [Текст] / А.І. Лантух-Лященко // Вісник Транспортної Академії України. – К., 1999. – Вип. 3. – С. 59–63.
8. Лантух-Лященко, А.І. Уточнення оцінки експлуатаційного стану мостів [Текст] / А.І. Лантух-Лященко // Збірник. Дороги і мо-сти. ДерждорНДІ – К, 2008. – Вип. 9. – С. 12–18.
9. Організація виробничих процесів на транспорті в ринкових умовах В.Є Канарчук, О.А.Лудченко, Л.П.Барилевич та ін.-К.: Логос, 1996.-348 с.
- 10.Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат. – 1978. – 239 с.
- 11.“Life Cycle Cost Analysis,” Summary of Proceedings: FHWA Life Cycle Cost Symposium. Symposium sponsored by FHWA and AASHTO, December 15–16, 1993, Washington, DC; published in Searching for Solutions: A Policy Discussion Series, No. 12 (November 1994).
- 12.Hudson, S.W., Carmichael, R.F., III, Moser, L.O., Hudson, W.R., and Wilkes, W. J. NCHRP Report 300: Bridge Management Systems. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC (1987).
- 13.Hyman, W.A., and Hughes, D.J. “Computer Model for LifeCycle Cost Analysis of Statewide Bridge Repair and Replacement Needs.” Transportation Research Record 899, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC (1983); pp. 52–61.
- 14.Permanent International Association of Road Congresses. “Methods for Selecting Road Investment.” Economic and Finance Committee, Permanent International Association of Road Congresses, Paris (1991).
- 15.Saito, M., and Sinha, K.C. “The Development of Optimal Strategies for Maintenance, Rehabilitation and Replacement of Highway Bridges, Final Report, Vol. 1: The Elements of IBMS.” FHWA/IN/JHRP-88/15, Joint Highway Research Project, School of Civil Engineering, Purdue University (1988).
- 16.Silva, A. & Fernandes, A., Probabilistic approach for predicting life cycle costs and performance of bridges. Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Performance and Cost. Cruz, Frangopol & Neves (eds) © 2006 Taylor & Francis Group, London, ISBN 0 415 40315 4.
- 17.Troive, S., Structural LCC Design of Concrete Bridges, Royal Institute of Technology, TRITA-BKN. Bulletin 41, ISSN 1103-4270, Stockholm 1998.

Рецензенти

С.Й. Солодкий, д-р техн. наук, НУ "Львівська політехніка" (Львів)

В.М. Нагайчук, канд. техн. наук, ДП "ДерждорНДІ" (Київ)

Reviewers

S.Yo. Solodkyi, Dr.Tech.Sci., “Lviv Polytechnic” (Lviv)

V.M. Nahaychuk., Ph.D., “DerzhdorNDI” (Kyiv)

УДК 625.7/8:504.055

Савенко В.Я., д-р техн. наук, Бондаренко Л.П., канд. техн. наук

МЕТОД ОЦІНКИ ВПЛИВУ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ДОВКІЛЛЯ НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Анотація. У роботі презентується розроблений авторами програмний комплекс для прогнозування впливу об'єктів дорожньо-транспортного комплексу на екологічний стан довкілля. Наведено опис функціональних можливостей даного програмного комплексу та представлено результати числових експериментів з дослідження впливу різних зовнішніх факторів на рівень забруднення приземного шару атмосфери. Також робота містить практичні розрахунки впливу на довкілля реального асфальтобетонного заводу.

Ключові слова: автомобільна дорога, асфальтобетонний завод, довкілля, модель.

Аннотация. В работе презентуется разработан авторами программный комплекс для прогнозирования влияния объектов дорожно-транспортного комплекса на экологическое состояние окружающей среды. Приведено описание функциональные возможности данного программного комплекса и представлены результаты численных экспериментов по исследованию влияния различных внешних факторов на уровень загрязнения приземного слоя атмосферы. Также работа содержит практические расчеты влияния на окружающую среду реального асфальтобетонного завода.

Ключевые слова: автомобильная дорога, асфальтобетонный завод, окружающей среды, модель.

Annotation. The paper presented by the authors developed a software package for predicting the impact of objects of road-transport complex on the ecological environment. The description functional capabilities of the software system and presents the results of numerical experiments to investigate the effect of different external factors on the level of contamination of the surface layer of the atmosphere. Also, the work contains practical calculations the real environmental impact of asphalt plant.

Keywords: road, asphalt plant environmental model.

Вступ

Сучасний дорожньо-транспортний комплекс є одним з найбільш небезпечних і масштабних забруднювачів навколишнього середовища, об'єднуючи в собі мережу автомобільних доріг і дорожньо-транспортні підприємства, які за оцінками багатьох спеціалістів посідають друге місце за шкідливістю після підприємств хімічної промисловості. Таким чином, актуальною проблемою сьогодення є прогнозування впливу об'єктів дорожньо-транспортного комплексу на екологічний стан довкілля з метою пошуку найбільш оптимальних форм управління природоохоронною діяльністю в транспортній галузі.

Одним з найбільш ефективних методів розв'язання оптимізаційних задач є метод комп'ютерного моделювання, який дає можливість досліджувати найскладніші фізичні процеси, аналізувати вплив різних факторів на поведінку досліджуваних систем та обирати серед них комбінації, при яких система найбільш точно відповідатиме наперед заданим вимогам користувача.

Основна частина

У рамках даного підходу в Національному транспортному університеті (Україна, м. Київ) за участю авторів був розроблений обчислювально-моделюючий комплекс для прогнозування впливу об'єктів дорожньо-транспортного комплексу на екологічний стан довкілля, що включає в себе математичну модель, розрахунковий алгоритм та програму для ЕОМ. В основу обчислювально-моделюючого комплексу покладено досить апробовану на сьогоднішній день методику розрахунку забруднення атмосфери ОНД-86, яка в свою чергу базується на рівняннях турбулентного переносу імпульсу і маси.

Програма складається з комплексу модулів, що включає в себе сім функціонально незалежних, але повністю узгоджених між собою програмних одиниць. Така організація програмного забезпечення є найбільш зручною,

виходячи з наступних міркувань.

По-перше, всі програмні одиниці є абсолютно незалежними, але в той же час кожна з них має певне закінчене функціональне навантаження і, відповідно, може використовуватися самостійно для розв'язування конкретної інженерної задачі.

По-друге, кожен модуль комплексу може бути легко замінений іншим модулем (наприклад інший метод розв'язання), який нестиме те ж функціональне навантаження. При цьому єдине обмеження на новий блок – узгодженість з комплексом за складом і структурою вхідних і вихідних даних.

По-третє, при роботі з комплексом задаються дані лише для першого блоку. Всі проміжні результати формуються програмно, узгоджені між собою, але при бажанні користувача можуть бути отримані.

Модуль Emmision являє собою головний модуль обчислювального комплексу, який завантажує вхідні дані, будує просторову розрахункову сітку та проводить інтерполювання значень відповідних характеристик в розрахункових вузлах сітки. Далі модуль Emmision активізує модуль розрахунку та формує результуючі файли даних. Модуль має інтуїтивний та зручний інтерфейс користувача, за допомогою якого проводиться введення вхідних даних, покроковий розрахунок значень відповідних характеристик та перегляд проміжних результатів.

Від користувача вимагається задавання наступних вхідних даних:

а) метеокліматичні умови району розташування досліджуваного об'єкта:

- широтне розташування;
- напрям і швидкість вітру;
- температура повітря
- особливості рельєфу;
- фонові якість повітря;

б) параметри джерела викиду:

- геометрія;
- температура і швидкість газоповітряної суміші на виході з труби;
- потужність джерела викиду;

в) розрахунковий крок;

г) довжина розрахункової ділянки.

В результаті роботи програмного забезпечення можна отримати:

- максимальні значення приземних концентрацій домішок і відстані від

джерел викидів, на яких вони досягаються для довільних параметрів оточуючого середовища та довільних форм рельєфу;

- розподіли приземних концентрацій домішок для довільних параметрів оточуючого середовища з урахуванням рельєфу місцевості;

- значення небезпечних швидкостей і напрямків вітру, при яких досягається найвищий рівень забруднення приземного шару атмосфери для заданих зовнішніх умов і рельєфу місцевості;

- значення гранично допустимих викидів домішок в атмосферу виробничих підприємств з урахуванням рельєфу місцевості;

- оптимальні параметри джерел викидів, що відповідають наперед заданим значенням максимальних приземних концентрацій та форм рельєфу місцевості;

- розміри санітарно-захисної зони підприємства як за окремими домішками, так і в цілому.

На базі створеного програмного комплексу проведено серію чисельних експериментів з дослідження впливу трьох основних груп факторів, що впливають на процеси поширення домішок від дорожньо-транспортних об'єктів (виробничих підприємств і транспортних потоків):

1. Метеокліматичні фактори (температура повітря, швидкість вітру, рельєф місцевості, широтне розташування підприємства);

2. Конструктивні особливості джерел викидів (геометрія, температура, швидкість і потужність викиду і т.д.)

3. Якісно-кількісні параметри викидів (дисперсність домішок, їх концентрація у газоповітряній суміші і т.д.)

За результатами розрахунків побудовано графічні залежності та зроблено науково-практичні висновки.

Наведемо декілька результатів чисельних експериментів.

В якості першого прикладу в табл. 1 і на рис. 1,2 наведено результати дослідження впливу температури повітря на розповсюдження домішок в приземному шарі атмосфери. Аналіз розрахункових даних і графічних залежностей дозволяють зробити висновок, що з підвищенням температури повітря приземні концентрації домішок збільшуються і досягають своїх максимумів ближче до джерела викиду, при цьому небезпечна швидкість вітру зменшується.

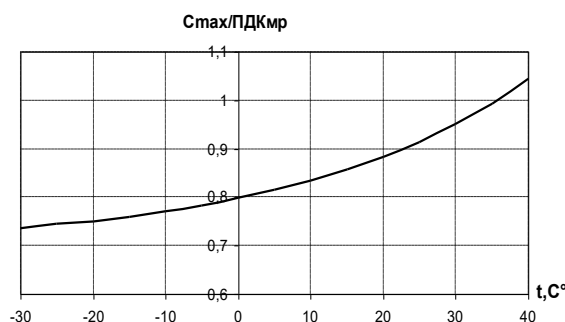


Рисунок 1 - Залежність максимальних приземних концентрацій домішок від температури повітря

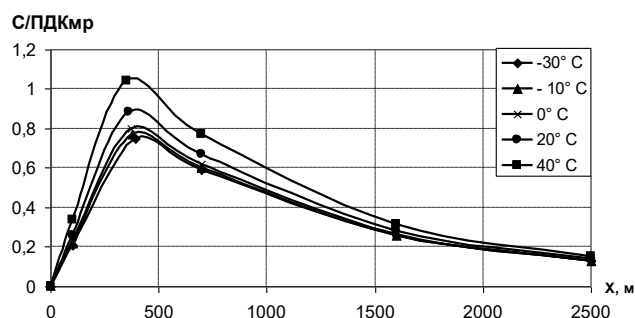


Рисунок 2 - Розподіли приземних концентрацій домішок по осі факелу викиду при різних значеннях температури повітря

Таблиця 1 – Показники забруднення приземного шару атмосфери при різних температурах повітря

Показник	Температура, °C						
	-30	-10	0	10	20	30	40
Безрозмірна максимальна приземна концентрація Стах/ГДКмр	0,73	0,77	0,80	0,83	0,88	0,95	1,04
Відстань від джерела, на якій досягається максимум, м	389	378	373	368	362	356	349
Небезпечна швидкість ветру, м/с	2,19	1,9	1,83	1,75	1,66	1,56	1,45

В якості другого прикладу в табл. 2 і на рис. 3, 4 наведено результати дослідження впливу швидкості вітру на розповсюдження домішок в приземному шарі атмосфери. Аналіз розрахункових даних і графічних залежностей дозволяє зробити висновок, що найвищий рівень забруднення приземного шару атмосфери спостерігається при небезпечних швидкостях вітру, які залежать від параметрів джерела викиду і визначаються розрахунковим шляхом. Чим більше відхилення швидкості вітру від небезпечної, тим значення максимальних приземних концентрацій менші і досягаються на більших відстанях від джерела викиду.

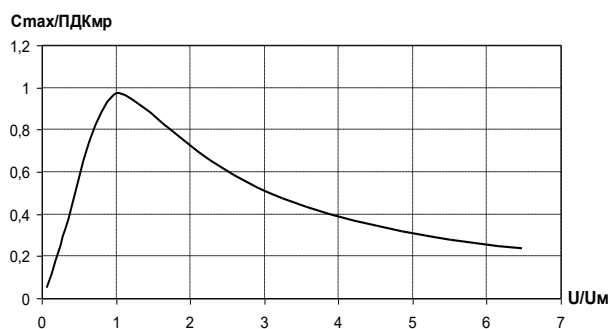


Рисунок 3 - Залежність максимальних приземних концентрацій домішок від швидкості вітру

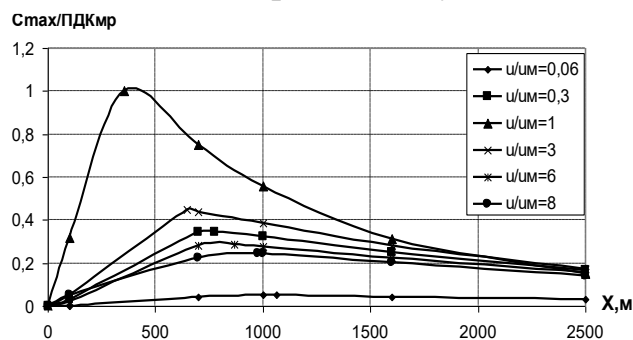


Рисунок 4 – Розподіл приземних концентрацій домішок по осі факелу викиду при різних швидкостях вітру

Таблиця 2 - Показники забруднення приземного шару атмосфери при різних значеннях швидкостей вітру

Показник	Швидкість вітру, м/с						
	0,06	0,1	0,3	1	3	6	8
Безрозмірна максимальна приземна концентрація $C_{max}/ГДК_{пр}$	0,05	0,11	0,33	0,96	0,52	0,24	0,18
Відстань від джерела, на якій досягається максимум, м	1065	998	777	355	572	940	1161

Крім теоретичних досліджень, розроблений обчислювально-моделюючий комплекс можна успішно застосовувати і для розв'язання конкретних прикладних задач, зокрема в управлінні екологічною діяльністю виробничих підприємств дорожньо-транспортного комплексу, а також для оцінки впливу транспортних потоків на рівень забруднення придорожніх смуг.

На рис. 5 і рис. 6 в якості прикладу представлено практичні аспекти застосування розробленого обчислювально-моделюючого комплексу для прогнозування впливу реального асфальтобетонного заводу (Україна, м. Васильків) на екологічний стан довкілля. Для даного заводу було проведено повний спектр чисельних розрахунків на ЕОМ, аналіз результатів яких дав можливість прийняти обґрунтовані і найбільш оптимальні інженерні рішення щодо мінімізації негативного впливу заводу на довкілля.

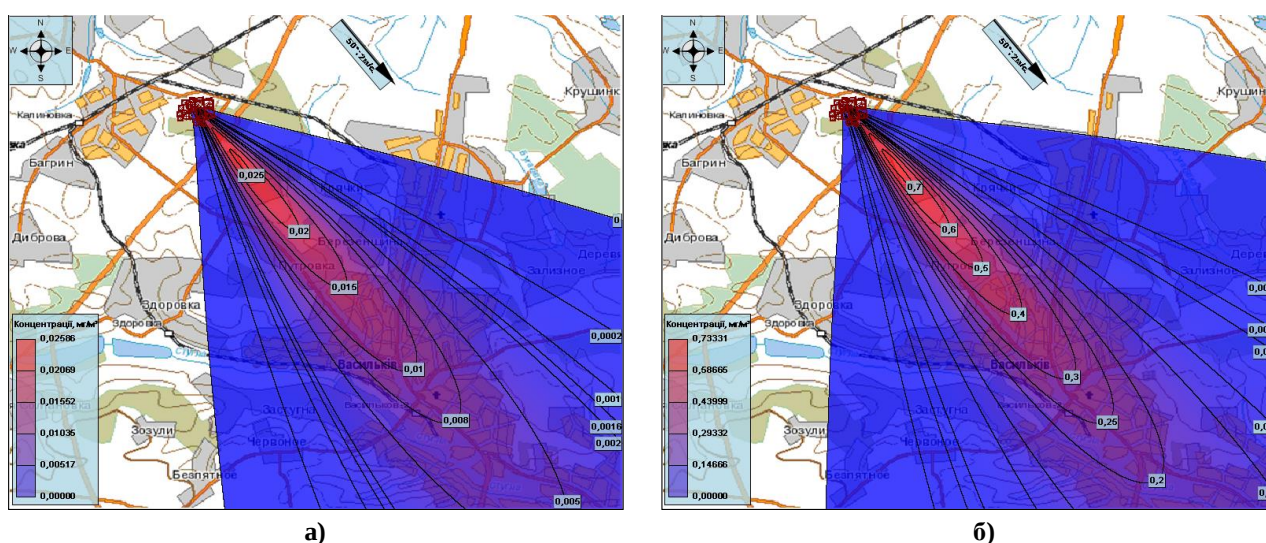


Рисунок 5 - Карти-схеми розсіювання домішок від асфальтобетонного заводу (Україна, м. Васильків):
а) V_2O_5 ; б) SO_2

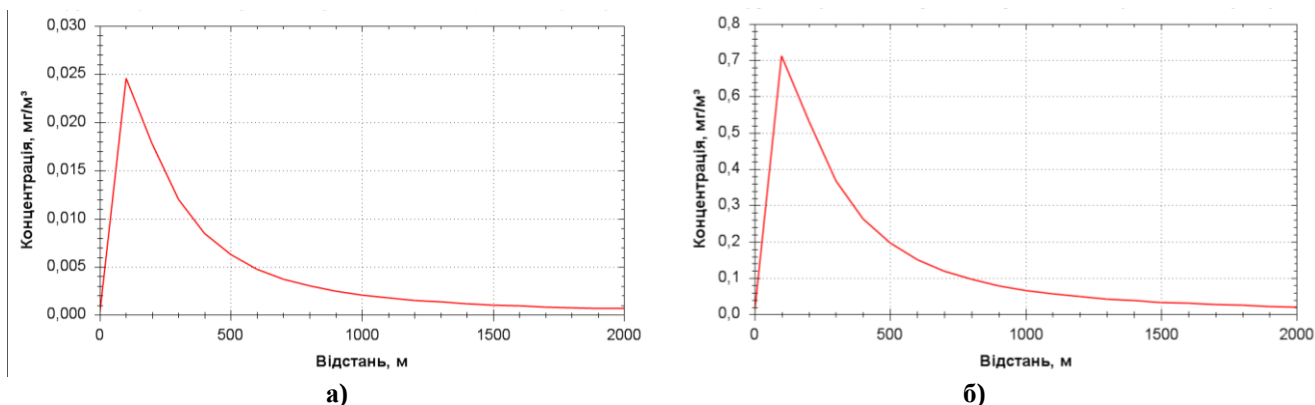


Рисунок 6 - Розподіл приземних концентрацій домішок від асфальтозмішувальної установки (Україна, м. Васильків)

Висновки

Розроблений в роботі програмний комплекс дозволяє проводити як теоретичне дослідження впливу різних зовнішніх даних на рівень забруднення приземного шару атмосфери, так і практичні розрахунки реальних об'єктів дорожньо-транспортного комплексу, що є невід'ємною частиною в управлінні їх екологічною діяльністю.

Література

1. Численные методы, используемые в атмосферных моделях/Перевод с англ. – Л.: Гидрометеиздат – 1982. – 360с
2. Численное моделирование распространения загрязнений в окружающей среде/М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К.: Наук. думка, 1997. – 368с.
1. 3 Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 448с.
3. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. – Л.:Гидрометеиздат, 1987. – 94 с.

Рецензенти

В.І. Братчун, д-р техн. наук, ДонНАБА (Краматорськ)

Є.Б. Угненко, д-р техн. наук, ХНАДУ (Харків)

Reviewers

V.I. Bratchun, Dr.Tech.Sci., DonNACEA (Kramatorsk)

Ye.B. Uhenko, Dr.Tech.Sci., KhNAHU (Kharkiv)

УДК 625.7/.8

Гамеляк І.П., д-р техн. наук, проф.

Райковський В.Ф., ДП “Укрдіпродор”

АНАЛІЗ ЗМІНИ КОЕФІЦІЄНТІВ ПРИРОСТУ ІНТЕНСИВНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В ЧАСІ ДЛЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ

Анотація. У роботі приведені матеріали аналізу зміни коефіцієнтів приросту інтенсивності для восьми основних груп транспортних засобів (легкові автомобілі, вантажні легкі, вантажні середні, вантажні важкі автомобілі, автобуси середні, автобуси важкі, вантажні автомобілі з причепом та напівприцепом), які визначались експериментально за даними візуальних обліків та автоматичних лічильників встановлених на автомобільних дорогах державного значення у період 2005-2014 рр. Підібрані параметри та функції зміни приросту інтенсивності для кожної з груп транспортних засобів.

Ключові слова: автомобільна дорога, транспортний засіб, коефіцієнт приведення.

Аннотация. В работе приведены материалы анализа изменения коэффициентов прироста интенсивности для восьми основных групп транспортных средств (легковые автомобили, грузовые легкие, грузовые средние, грузовые тяжелые автомобили, автобусы средние, автобусы тяжелые, грузовые автомобили с прицепом и полуприцепом), которые определялись экспериментально по данным визуальных учетов и автоматических счетчиков установленных на автомобильных дорогах государственного значения в период 2005-2014 гг. Подобраны параметры и функции изменения прироста интенсивности для каждой из групп транспортных средств.

Ключевые слова: автомобильная дорога, транспортное средство, коэффициент приведения.

Annotation. In the article work the materials analysis of change factors increase the intensity for eight major groups of vehicles (cars, trucks, light, spare, trucks, heavy vehicles, buses, medium buses, heavy trucks, lorries with trailers) which determined experimentally according to visual records and automatic meter installed on state highway during the 2005-2014 years. Individuals have options and features increase the intensity changes for each group of vehicles.

Keywords: road, vehicle, reduction factor.

Вступ

Аналіз стану справ. В Україні середньорічну добову інтенсивність руху визначався відповідно до рекомендацій ВСН 42-87 [1], та ДБН В.2.3-4. Відповідно з яким на автомобільних дорогах годинна інтенсивність визначається безпосередньо натурними спостереженнями або лічильниками автоматичного обліку руху. Для отримання середньорічної добової інтенсивності руху використовують коефіцієнти зміни інтенсивності руху протягом доби, по днях тижня та місяцях враховується відповідним коефіцієнтом нерівномірності руху, який визначається як відношення годинного обсягу руху до добового (K_t), добового об'єму до об'єму за тиждень (K_n), місячного обсягу руху до річного (K_r).

При визначенні інтенсивності руху по даному методу транспортний потік поділяють за типами автомобілів на легкові, вантажні та автобуси. Вантажні автомобілі по вантажопідйомності поділяють на автомобілі з вантажопідйомністю: до 2 тон; від 2 до 5 тон; від 5 до 8 тон; від 8 до 12 тон; понад 12 тон.

Однак, встановити досить точні єдині залежності зміни інтенсивності і складу руху транспортного потоку протягом року неможливо, так як кожна автомобільна дорога має свої особливості формування транспортного потоку. Тому основою для практичного визначення характеристик транспортного потоку для оцінки залишкового ресурсу дорожніх конструкцій є матеріали моніторингу.

На практиці ж часто виходить так, що проектні організації в роботі використовують інтенсивність руху транспортних засобів, визначену за 10-15 років, які передують початку робіт, збільшуючи їх на коефіцієнт приросту інтенсивності, не враховуючи, що відбулися зміни у складі транспортного потоку і параметрів руху автомобілів.

Основи аналізу транспортних потоків відображені в роботах вітчизняних вчених [3-4].

За радянських часів річний приріст інтенсивності руху не перевищував 3-5 % [5].

За результатами перевірки точності прогнозування сумарної інтенсивності руху в США за програмою SCHRP вказує, що різниця між проектним та фактичним значенням може відрізнятись в 2 рази, і це при наявності більше 600 ділянок, на яких проводиться щомісячне визначення параметрів транспортно – експлуатаційного стану і постійний контроль за транспортними потоками [8].

У Німеччині та Польщі для прогнозування зміни інтенсивності руху найчастіше використовують лінійну залежність з показником щорічного приросту 2 – 6% [9].

За даними візуального обліку інтенсивності руху транспортних засобів зібраних за період 2005-2014 рр. в роботах [10-11] виконано аналіз зміни склад транспортного потоку.

Транспортні засоби, які реєструються та аналізуються з пунктів візуального обліку в систему СУСП вносили до 9 груп: легкові автомобілі; автобуси середні; автобуси важкі; легкі вантажні автомобілі вантажопідйомністю до 2,0 т; середні вантажні автомобілі 2,1 - 8,0 т; важкі вантажні автомобілі понад 8 т; автопоїзди понад 8,0 т; сідельні тягачі понад 8,0 т; тролейбуси.

Для проектування конструкцій дорожнього одягу необхідно мати достовірні дані по інтенсивності та зміні складу транспортного потоку в процесі експлуатації автомобільної дороги та фактичні значень параметрів навантажень від сучасних транспортних засобів на покриття (навантаження на вісь, інтенсивність дії навантаження, діаметр відбитку, розрахункова швидкість). Одним із основних параметрів при проектуванні конструкцій дорожнього одягу є коефіцієнт приросту інтенсивності руху.

Для прикладу на наступний рік після введення в експлуатацію автомобільної дороги Київ – Одеса приріст інтенсивності руху замість прогнозованих 4 – 7 %, становив 21% [10-11].

На основі огляду досліджень проведених в нашій країні та закордоном необхідно виконати аналіз сучасних тенденцій зміни коефіцієнтів приросту інтенсивності з часом на перспективу на автомобільних дорогах України.

Отримані дані експериментальних досліджень потребують статистичної обробки та апроксимації з метою встановлення закономірностей зміни коефіцієнтів приросту для різних типів транспортних засобів, які рухаються автомобільними дорогами державного значення України. .

Мета роботи - встановлення параметрів зміни коефіцієнтів приросту для різних типів транспортних засобів, що рухаються автомобільними дорогами України. У даний час в Україні відсутній достовірний метод встановлення даного параметру для транспортного потоку з подальшими помилковими розрахунками які використовуються при проектуванні дорожніх одягів.

Постановка проблеми. За даними які використовуються у проектній справі ріст фактичної інтенсивності руху може бути апроксимований лінійною залежністю, геометричною прогресією та логістичною кривою (табл. 1). Для крупних населених пунктів (під'їзди до м. Києва, Одеси, Дніпропетровськ тощо) апроксимація здійснюється за геометричною прогресією з щорічним приростом інтенсивності руху $q = 4 - 12\%$. Для автодоріг, що проходять близько до обласних центрів, інтенсивність змінюється за лінійним законом з коефіцієнтом щорічного приросту інтенсивності руху $a = 3 - 5\%$ [10 - 11].

Таблиця 1 - Закономірності росту фактичної інтенсивності руху

Залежність	Перспективна середньодобова інтенсивність руху	Сумарна інтенсивність руху за термін служби
Лінійна	$N_{lin}(t) = N_0 (1 + a t)$	$N_{\Sigma}(t) = T_{\partial n} N_0 t (1 + a t/2)$
Геометрична прогресія	$N_t = N_0 (1 + q)^t$	$N_{\Sigma}(t) = T_{\partial n} \cdot N_0 \cdot \frac{(1 + q)^t - 1}{q}$
Логістична крива	$N_t = N_0 (1 + K / (1 + b \exp(-ct)))$	$N_{\Sigma}(t) = T_{\partial n} \cdot N_0 \cdot [t \cdot (1 + K) + \frac{K}{c} \cdot \ln(1 + b \cdot e^{-ct})]$

Основна частина

Методика дослідження. В даний час в Україні використовується автоматизована система обліку руху, вона включає 229 пунктів і систему збору, обробки, передачі та зберігання інформації про інтенсивність руху транспортних потоків на автомобільних дорогах державного значення України [12], однак з 2013 року дана система припинила своє функціонування із-за відсутності фінансування на її обслуговування .

Пункти обліку інтенсивності руху обладнуються технічними засобами, принцип дії яких заснований на різних методах детектування типів автотранспортних засобів. В даний час пункти автоматизованого обліку на автомобільних дорогах загального користування України обладнані технічними засобами, заснованими на електромагнітній індукції і радіолокаційному принципі детектування автотранспортних засобів.

Починаючи з 2006 року на постах автоматизованої системи обліку руху стали використовувати датчики, які поряд з вищенаведеною класифікацією можуть класифікувати транспортні засоби за класифікацією EURO 6:

- легкові;
- автобуси;
- вантажні та автопоїзди до 5 т;
- вантажні та автопоїзди 5 - 12 т;
- вантажні та автопоїзди 12-20 т ,
- вантажні та автопоїзди понад 20 т.

Дана класифікація найбільш прийнятна для аналізу складу руху транспортного потоку, так як вона дозволяє врахувати великовантажні транспортні засоби, які завдають найбільш руйнівного впливу на дорожні конструкції.

Однак, незважаючи на деякі вдосконалення, на постах автоматизованої системи обліку руху неможливо отримати дані про кількість осей багатовісних транспортних засобів, про завантаженість кожної з осей, які є одними з основних параметрів при визначенні навантажень від транспортних засобів на дорожній одяг.

Для порівняння даних отриманих ДП Укрдіпродор та НТУ виконано анкетне опитування дорожніх організацій в системі Укравтодору стосовно зміни інтенсивності транспортного потоку в останні роки.

За даними опитування виконано аналіз зміни складу транспортного потоку по основних типах транспортних засобі та зміни середньої інтенсивності транспортного потоку по роках за наступною методикою.

Склад транспортного потоку визначавсь за формулою

$$N_{тип_трансп} = \frac{N_i}{N_{поток}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де $N_{тип_трансп}$ - відсоток певного типу транспортних засобів в складі руху, %;

N_i - кількість і-тих транспортних засобів розрахункового типу (легкові, автобуси, вантажні ітд.) на розрахунковій ділянці, авт./добу;

$N_{поток}$ - загальна кількість транспортних засобів на розрахунковій ділянці, авт./добу.

Зміну складу транспортного потоку по роках визначалась за формулою

$$N_{прир_инт} = \frac{N_i \%}{N_{i-1} \%}, \quad (2)$$

де $N_{прир_инт}$ - коефіцієнти приросту по типу і-тих транспортних засобів по відношенню до попереднього року;

$N_i \%$ - кількість і-тих транспортних засобів розрахункового типу (легкові, автобуси, вантажні тощо) за розрахунковий рік, %;

$N_{i-1} \%$ - кількість і-тих транспортних засобів розрахункового типу (легкові, автобуси, вантажні тощо) за попередній рік, %.

1. Зміну складу транспортного потоку до початкового року спостереження роках визначалась по формулі

$$N_{прир_инт_поч} = \frac{N_i \%}{N_{баз_спост} \%}, \quad (3)$$

де $N_{прир_инт_поч}$ - коефіцієнти приросту по типу і-тих транспортних засобів по відношенню до базового (початкового) року;

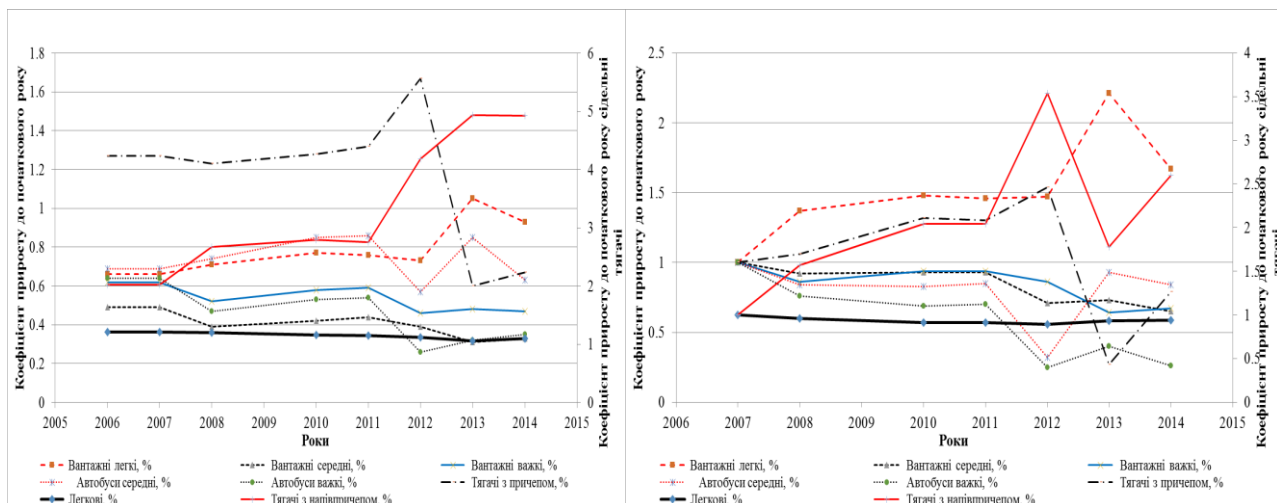
$N_i \%$ - кількість і-тих транспортних засобів розрахункового типу (легкові, автобуси, вантажні ітд.) за розрахунковий рік, %;

$N_{баз_спост}$ - кількість і-тих транспортних засобів розрахункового типу (легкові, автобуси, вантажні тощо) за базовий (початковий) рік, %.

За даними виконаного аналізу (табл. 1) наведено результати зміни приросту інтенсивності до попереднього року на автомобільних дорогах державного значення за період 2005-2015 років рис. 1.

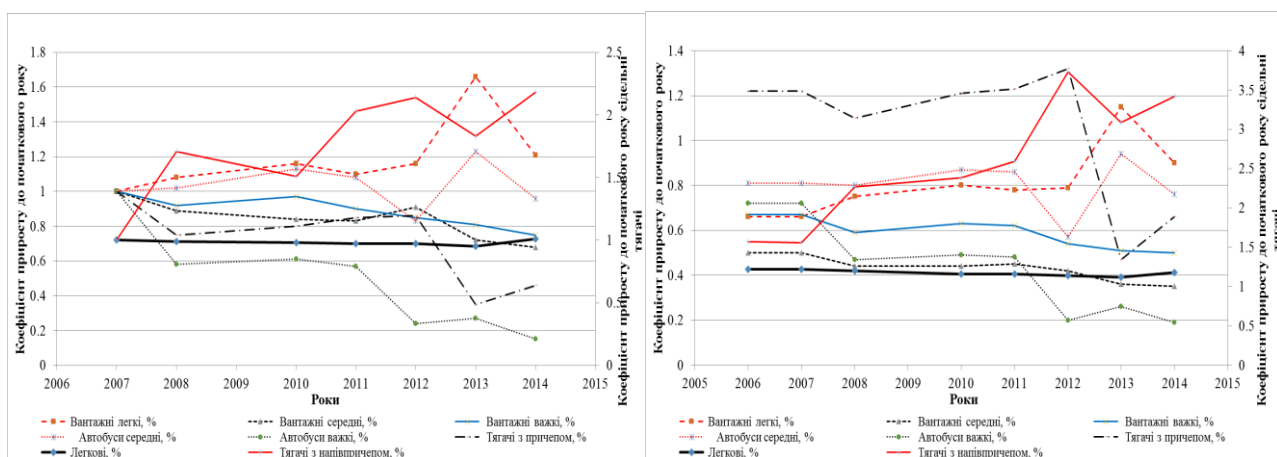
Таблиця 1 - Зміна складу транспортного потоку на автомобільних дорогах державного значення України (міжнародного, національного та регіонального значення) за даними обліку руху 2005-2014 років

Рік	Легкові, %	Вантажні легкі, %	Вантажні середні, %	Вантажні важкі, %	Автобуси середні, %	Автобуси важкі, %	Тягачі з напівпри- чепом, %	Тягачі з причепом , %
Міжнародні								
2005	54,38	14,65	10,36	8,75	3,30	2,56	2,81	3,41
2006	65,91	9,74	5,08	5,41	2,28	1,63	5,68	4,34
2007	65,91	9,74	5,08	5,41	2,28	1,63	5,68	4,34
2008	65,50	10,46	4,06	4,53	2,45	1,21	7,50	4,21
2010	62,86	11,34	4,35	5,07	2,80	1,35	7,84	4,37
2011	62,70	11,09	4,56	5,15	2,83	1,38	7,72	4,49
2012	61,11	10,73	4,07	4,03	1,88	0,66	11,74	5,68
2013	57,55	15,45	3,25	4,19	2,81	0,83	13,87	2,06
2014	59,67	13,66	3,43	4,14	2,09	0,90	13,84	2,27
Національні								
2006	68,90	8,08	5,03	6,28	3,37	1,74	3,16	3,43
2007	68,90	8,08	5,03	6,28	3,37	1,74	3,16	3,43
2008	66,11	11,07	4,65	5,41	2,83	1,33	4,96	3,63
2010	62,46	12,00	4,69	5,92	2,78	1,20	6,43	4,51
2011	62,60	11,84	4,67	5,92	2,86	1,22	6,44	4,45
2012	61,16	11,88	3,59	5,41	1,08	0,44	11,16	5,27
2013	64,10	17,82	3,69	4,00	3,13	0,70	5,63	0,93
2014	64,77	13,51	3,30	4,21	2,83	0,46	8,20	2,72
Регіональні								
2006	65,03	10,50	5,68	6,04	2,66	1,88	3,68	4,53
2007	65,11	10,48	5,66	6,03	2,65	1,88	3,67	4,52
2008	64,41	11,35	5,03	5,57	2,72	1,10	6,30	3,41
2010	63,86	12,20	4,76	5,83	3,01	1,14	5,54	3,61
2011	62,93	11,54	4,69	5,46	2,88	1,07	7,46	3,86
2012	63,07	12,22	5,15	5,15	2,21	0,46	7,87	3,87
2013	61,48	17,45	4,11	4,87	3,26	0,51	6,71	1,61
2014	65,88	12,75	3,88	4,55	2,56	0,28	8,03	2,06



а)

б)



в)

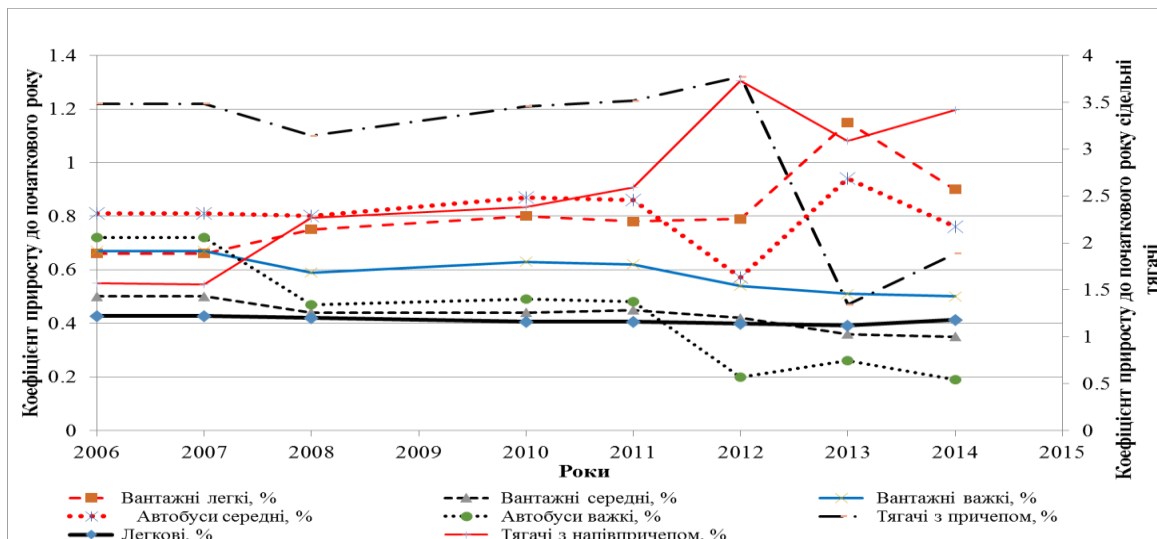
г)

Рисунок 1 - Зміна коефіцієнту транспортного потоку по типах транспортних засобів на автомобільних дорогах а) міжнародного значення, б) національного значення, в) регіонального значення г) загальна по дорогах за період 2005-2014 років

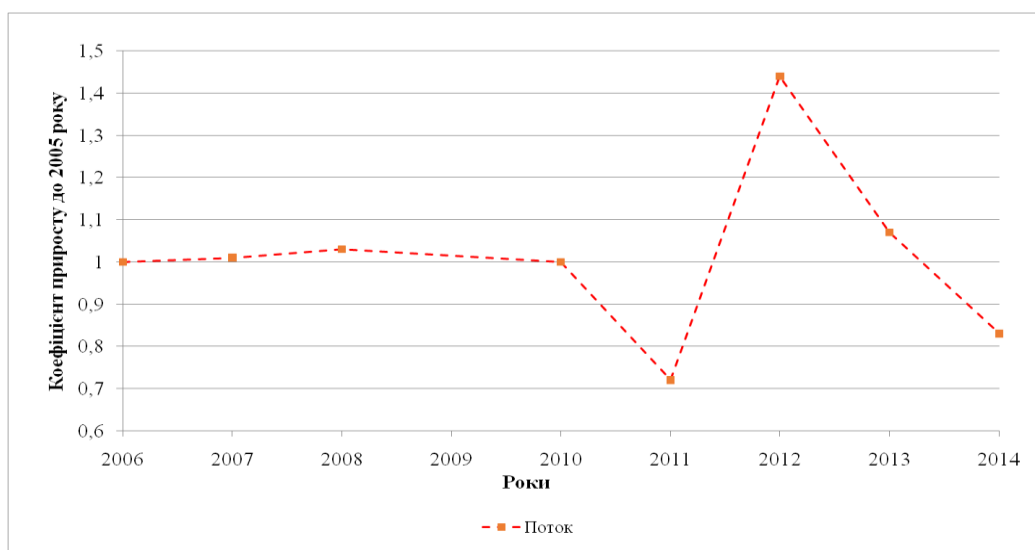
На рис. 2 наведені дані зміни коефіцієнта приросту інтенсивності до першого року спостереження.

Таблиця 2 - Коефіцієнти приросту транспортного потоку по типах транспортних засобів на автомобільних дорогах державного значення за період 2005-2014 років

Роки	Легкові, %	Вантажні легкі, %	Вантажні середні, %	Вантажні важкі, %	Автобуси середні, %	Автобуси важкі, %	Тягачі з напівприцепом, %	Тягачі з причепом, %
Міжнародного значення								
2006	1.21	0.66	0.49	0.62	0.69	0.64	2.02	1.27
2007	1.21	0.66	0.49	0.62	0.69	0.64	2.02	1.27
2008	1.2	0.71	0.39	0.52	0.74	0.47	2.67	1.23
2010	1.16	0.77	0.42	0.58	0.85	0.53	2.79	1.28
2011	1.15	0.76	0.44	0.59	0.86	0.54	2.75	1.32
2012	1.12	0.73	0.39	0.46	0.57	0.26	4.18	1.67
2013	1.06	1.05	0.31	0.48	0.85	0.32	4.94	0.6
2014	1.1	0.93	0.33	0.47	0.63	0.35	4.92	0.67
Національного значення								
2007	1	1	1	1	1	1	1	1
2008	0.96	1.37	0.92	0.86	0.84	0.76	1.57	1.06
2010	0.91	1.48	0.93	0.94	0.83	0.69	2.04	1.32
2011	0.91	1.46	0.93	0.94	0.85	0.7	2.04	1.3
2012	0.89	1.47	0.71	0.86	0.32	0.25	3.54	1.54
2013	0.93	2.21	0.73	0.64	0.93	0.4	1.78	0.27
2014	0.94	1.67	0.65	0.67	0.84	0.26	2.6	0.79
Регіонального значення								
2007	1	1	1	1	1	1	1	1
2008	0.99	1.08	0.89	0.92	1.02	0.58	1.71	0.75
2010	0.98	1.16	0.84	0.97	1.13	0.61	1.51	0.8
2011	0.97	1.1	0.83	0.9	1.08	0.57	2.03	0.85
2012	0.97	1.16	0.91	0.85	0.83	0.24	2.14	0.86
2013	0.95	1.66	0.72	0.81	1.23	0.27	1.83	0.35
2014	1.01	1.21	0.68	0.75	0.96	0.15	2.18	0.46
Загальна								
2006	1.22	0.66	0.5	0.67	0.81	0.72	1.57	1.22
2007	1.22	0.66	0.5	0.67	0.81	0.72	1.56	1.22
2008	1.2	0.75	0.44	0.59	0.8	0.47	2.27	1.1
2010	1.16	0.8	0.44	0.63	0.87	0.49	2.38	1.21
2011	1.16	0.78	0.45	0.62	0.86	0.48	2.59	1.23
2012	1.14	0.79	0.42	0.54	0.57	0.2	3.73	1.32
2013	1.12	1.15	0.36	0.51	0.94	0.26	3.09	0.47
2014	1.18	0.9	0.35	0.5	0.76	0.19	3.42	0.66



а)



б)

Рисунок 2 - Зміна приросту транспортного потоку по відношенню до 2005 року а) для всіх груп транспортних засобів, б) для загального транспортного потоку.

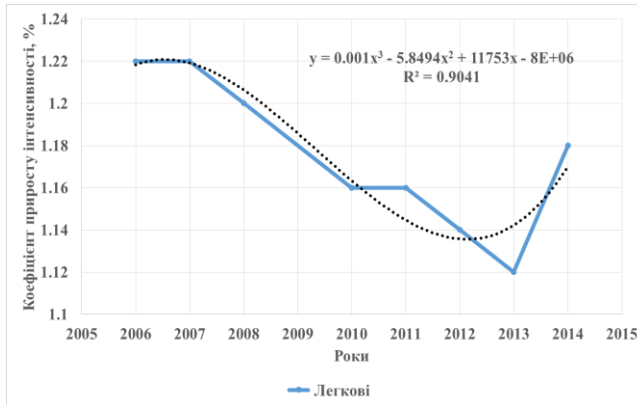
На рис. 3 наведено більш детальні дані зміни коефіцієнту приросту інтенсивності та закономірності їх зміни для різних типів транспортних засобів.

За даними аналізу обліку інтенсивності на автомобільних дорогах державного значення України встановлено, що зміна приросту інтенсивності руху не відповідає закону геометричної прогресії, як приймається на сьогоднішній день в проектних роботах.

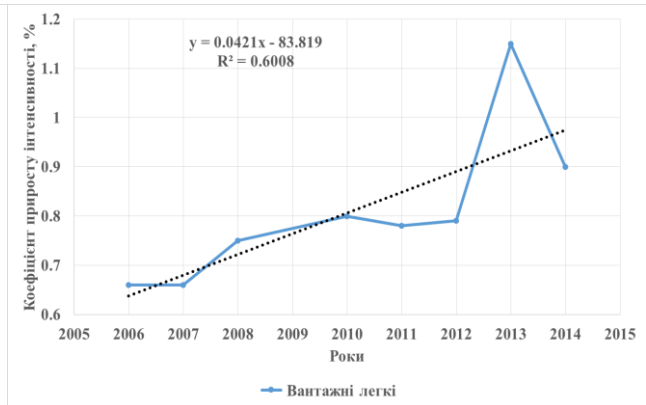
Так для легкових автомобілів коефіцієнт приросту постійна величина, коефіцієнт приросту для автобусів зменшився з 0,67 до 0,5 для середніх та з 0,81 до 0,67 для важких. Найбільш значимо спостерігається ріст коефіцієнту

приросту вантажних легких автомобілів з 0,66 до 1,15 (в 1,74 рази) та сидельних тягачів з напівпричепами з 1,57 до 3,73 тобто в 2,37 рази.

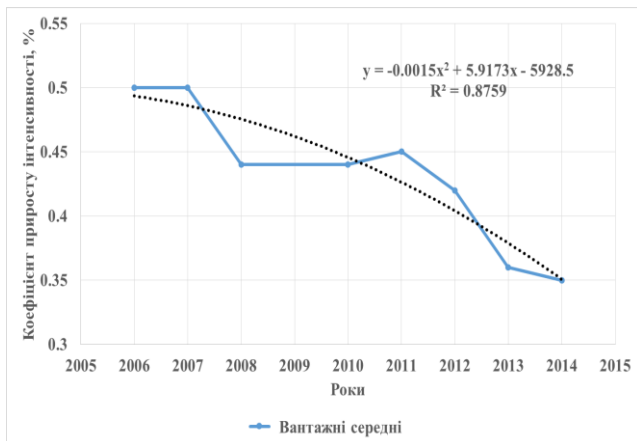
Для вантажних автомобілів з причепом до 2012 року коефіцієнт інтенсивності руху практично був постійним і рівним 1,2, а в останні роки зменшився більше як в 2 рази.



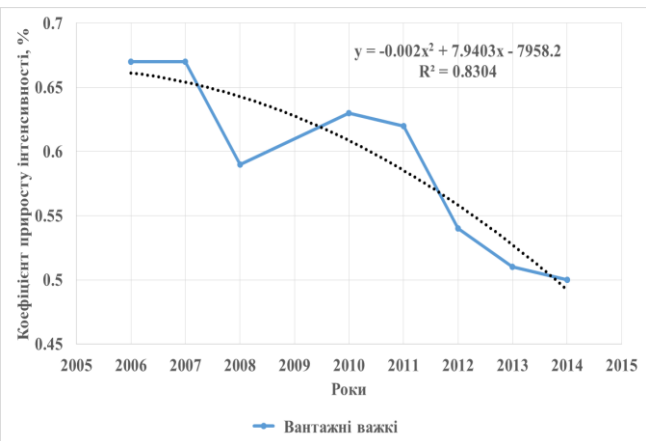
а)



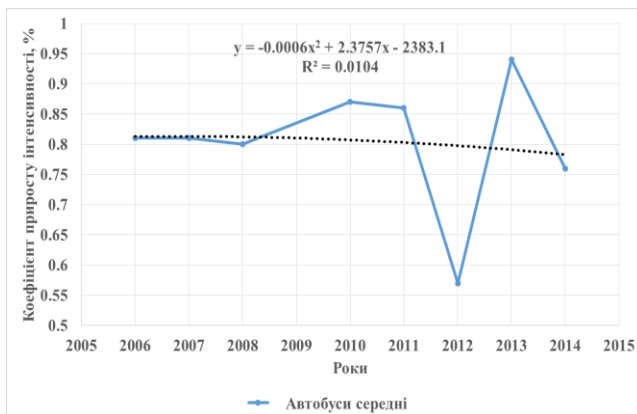
б)



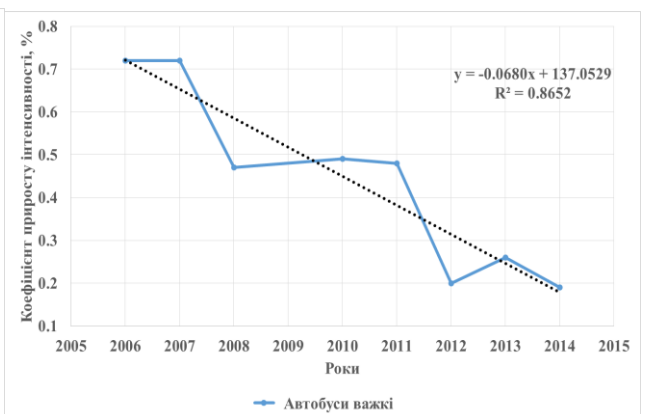
в)



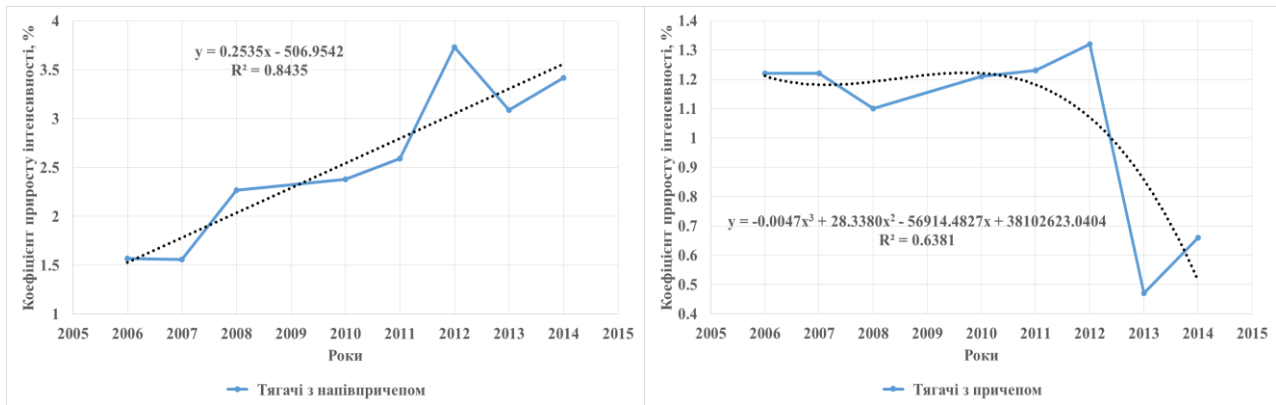
г)



д)



е)



ж)

з)

Рисунок 3 – Зміна приросту інтенсивності за період 2005-2014 роки: а) легкових автомобілів; б) вантажних легких; в) вантажних середніх; г) вантажних важких автомобілів; д) автобусів середніх (до 30 пасажирів); е) автобусів важких (понад 30 пасажирів); ж) вантажних автомобілів з напівприцепом (сідельний тягач); з) вантажних автомобілів з причепом

Для вантажних автомобілів з напівприцепом (сідельний тягач) спостерігається практично лінійна залежність зростання інтенсивності руху з коефіцієнтом щорічного приросту 0,2535 (коефіцієнт кореляції 0,84).

Висновки

У результаті роботи встановлено, що неможливо встановити математичні закономірності, які дають змогу прогнозувати зміну приросту інтенсивності та складу транспортного потоку із заданою ймовірністю, що необхідно при розрахунках конструкцій дорожнього одягу на динамічну дію навантаження.

Коефіцієнти зміни приросту інтенсивності не можуть бути апроксимовані єдиною залежністю протягом десятилітнього періоду. При нестабільній економіці їх неможливо прогнозувати із заданою надійністю. Похибка між проектними та фактичними значеннями може становити 400...600 %. Залишається шлях безпосереднього вимірювання і постійного спостереження для отримання достовірних даних.

На основі отриманих даних є можливість приведення фактичної інтенсивності руху до розрахункового нормативного навантаження, для цього необхідно розглянути марки конкретних транспортних засобів вітчизняного та закордонного виробництва, які найбільш часто рухаються автошляхами України та визначити сумарну інтенсивність руху розрахункових осей за весь строк служби, для чого необхідно продовжити збір даних про інтенсивності руху для отримання лагів протяжністю 10 – 15 років.

Отримані значення зміни приросту інтенсивності вантажних автомобілів необхідно використовувати при:

- проектуванні конструкцій дорожніх одягів жорсткого та нежорсткого типів;
- розрахунку мостів та труб;
- контролі на пунктах вагового контролю (стаціонарних та пересувних);
- розробці конструктивних схем автомобілів;
- розрахунку плати за проїзд та визначенні рівня фінансування дорожньої галузі;
- розробці нормативних документів, так як на даний момент в Україні відсутній стандарт, який регулює нормативні навантаження та габарити автотранспортних засобів, що рухаються автомобільними дорогами України.

Література

1. Инструкция по проведению экономических изысканий для проектирования автомобильных дорог // Москва, Минтрансстрой СССР, 1988. – 30 с.
2. ДБН 2.3 - 4 : 2007 Автомобільні дороги. К.: Мінрегіонбуд, 2007.
3. Системологія на транспорті. Організація дорожнього руху [Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. та ін.]; за ред. М. Ф. Дмитриченка. – К. : Знання України, 2007. – 452 с. – (5 кн./ Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. та ін.; кн. 4).
4. Поліщук В. П. Теорія транспортного потоку : методи та моделі організації дорожнього руху / В. П. Поліщук, О. П. Дзюба. – К. : Знання України, 2008. – 175 с.
5. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. М.: Транспорт. 1977. – 304 с.
6. Илиополов С. К., Конорев А.С. Расчет суммарного воздействия транспортных нагрузок современного потока грузовых автомобилей// «Строительство – 2010»: Междунар. науч.-практ. конф. Ростов-н/Д: РГСУ. 2010. С. 29 – 30.
7. Конорев А.С. Анализ характеристик транспортного потока для совершенствования методики учета нагрузок от транспортных средств при расчете дорожных конструкций //Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 22(41). С. 26-32.
8. Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave)'. The Product of the SHRP Asphalt Research Program // Highway Research Program National Research Council Washington, DC 1994.
9. Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen RStO 01 Ausgabe 2001 nur zur Bearbeitung des Belegs Straßenentwurf 1, 2001. – 71 p.
10. Гамеляк І.П. Надійність встановлення розрахункових параметрів навантаження на конструкції дорожніх одягів // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. - №76. - Київ, НТУ, 2009. - С. 3 - 13.
11. Гамеляк І.П, Райковський В.Ф Встановлення параметрів режиму руху транспортних засобів для проектування дорожнього одягу// Теорія і практика будівництва. - Львів.: Вісник НУ Львівська політехніка, № 662, 2010. – 116 - 125 с.
12. Лозниця В.В., Вортингтон Дж., Буланов О.К. Автоматизований облік транспортних потоків // Автошляховик України. - №3; 2000. - С. 46 - 47.

Рецензенти

Є.Б. Угненко, д-р техн. наук, ХНАДУ (Харків)
В.М. Нагайчук, канд. техн. наук, ДП “ДерждорНДІ” (Київ)

Reviewers

Ye.B. Uhenko, Dr.Tech.Sci., KhNAHU (Kharkiv)
V.M. Nahaychuk., Ph.D., “DerzhdorNDI” (Kyiv)