

РОЗВІДУВАННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ ДОРІГ ТА ПЕРЕХОДІВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ

УДК 625.7

Довгополюк Л.О.

ВПЛИВ ЧАСУ ОЧІКУВАННЯ НА ВИЗНАЧЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ВИТРАТ

Анотація: Дана робота полягає у визначенні впливу часу очікування на час проїзду та транспортні витрати відповідно. Проаналізовано випадки вливання транспортного потоку із з'їзду в транспортний потік на основній дорозі. Запропоновано модель визначення часу очікування при виконанні маневру влиття без наявності перехідно-швидкісної смуги.

Ключові слова: автомобільна дорога, дорожня розв'язка, швидкість руху, час проїзду, час очікування.

Аннотация: Данная работа заключается в определении влияния времени ожидания на время проезда и соответственно транспортные расходы. Проанализированы случаи вливания транспортного потока со съезда в транспортный поток на основной дороге. Предложена модель определения времени ожидания при выполнении манёвра вливания без наличия переходно-скоростной полосы.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожная развязка, скорость движения, время проезда, время ожидания.

Abstract: The present work is to determine the effect of waiting time on travel time and travel expenses, respectively. The cases of infusion traffic from the Congress in

the traffic on the main road. A model of determining the waiting time when the maneuver infusion without acceleration and deceleration lanes.

Keywords: highway, road junctions, speed, travel time, waiting time.

Вибір дорожньої розв'язки на різних рівнях базується на визначенні сумарних дорожньо-транспортних витрат. 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.

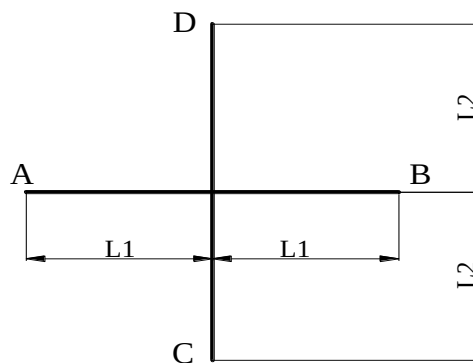


Рисунок 1 – Межі дорожньої розв'язки, на якій проводиться порівняння варіантів дорожньої розв'язки

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 дорожніх (капітальні витрати на будівництво дорожньої розв'язки – категорій доріг, з'їздів, перехідно-швидкісних смуг, кількості шляхопроводів) та транспортних витрат. Транспортні витрати – вартість часу використання 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:

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

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.

Швидкість руху розраховується на кожній ділянці автомобільної дороги в залежності від дорожніх умов. До дорожніх умов відносяться: категорія дороги (ширина проїзної частини); радіус горизонтальних кривих, м.; поздовжній похил; рівність покриття (за умови проведення реконструкції дорожньої розв'язки в одному рівні на дорожню розв'язку в різних рівнях). Для подальших розрахунків приймається мінімальне значення швидкості руху для даної ділянки автомобільної дороги з усіх можливих.

Врахування лише часу проїзду дорожньою розв'язкою при визначенні транспортних витрат справедливе лише, коли транспортний потік рухається вільно. Але ми живемо в епоху стрімкого підвищення рівня автомобілізації, коли з кожним роком кількість автомобільного транспорту на дорогах збільшується. Тенденція є сталою і має властивість лише до збільшення. 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. Особливу увагу приділимо випадку, коли перехідно-швидкісна смуга відсутня.

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, °;

$L_{\text{пов}}$ – 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 головній дорозі на крайній смузі, м/с;

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

a_p – середнє прискорення автомобіля при розгоні, м/с^2 .

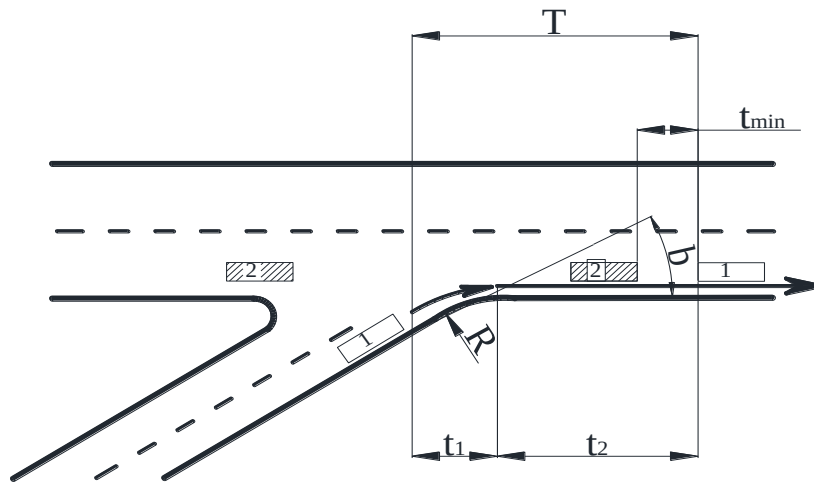


Рисунок 2 – В'їзд на головну дорогу із з'їзду без перехідно-швидкісної смуги:

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.

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:

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

де t_{min} – мінімальний безпечний інтервал між автомобілями, с:

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

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, $e = 2,718$;

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 долі;

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

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

T – загальний час виконання маневру;

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

Час затримки одного автомобіля – половина інтервалу T , тобто

$$t_{\text{затр}}^{\text{сер}} = p \cdot \frac{T}{2} = \frac{T^2 \cdot N_1 \cdot N_2}{7200} \quad (10)$$

Час витрачений на проїзд автомобільного транспорту за рік за напрямком дорожньої розв'язки з урахуванням часу очікування визначається:

$$T_{\text{річ}} = (T_{\text{пр}} + t_{\text{затр}}^{\text{сер}}) \cdot N_i \cdot F \cdot K, \quad (11)$$

де N_i – година інтенсивність на i -тій ділянці дороги, авт/год.;

F – кількість днів у році, днів;

K – коефіцієнт переходу від годинної пікової інтенсивності до добової інтенсивності.

Вартість транспортних витрат за напрямком руху знаходиться за формулою:

$$P = (T_{\text{річ}} + \sum T_{\text{річ}}^{\text{затр}}) \cdot U_i \quad (11)$$

де U_i – вартість 1 маш/год, у.о. або грн.

Отже, в результаті вище викладеного матеріалу, можна зробити висновок, що час очікування (затримки) мають значний вплив на час проїзду дорожньою розв'язкою. Врахування часу очікування в загальному часі проїзді дає можливість більш точно визначити транспортні витрати для дорожньої розв'язки.

Література

1. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Дрю Д.; перевод с англ. Е. Г. Коваленко. – М.: Транспорт, 1974. – С. 423.
2. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / Сильянов В.В. – М.: Транспорт, 1977. – С. 97 – 118, 276 – 282.
- Пальчик А.М. Транспортні потоки / Пальчик А.М. – К.: НТУ, 2010. – С.26 – 42, 44 – 47, 52 – 54, 87 – 102.

Вознюк А.Б., Гуков М.І., канд. техн. наук

МЕРЕЖА ДОРІГ УКРАЇНИ ТА СУЧАСНІ ТРАНСПОРТНІ ПОТОКИ

Анотація. Наведено результати дослідження розвитку мережі автомобільних доріг України та транспортних потоків на ній. Встановлено ряд критичних невідповідностей та напрямки їх подолання.

Ключові слова: автомобільна дорога, транспортні потоки, інтенсивність руху, швидкість, видимість, розвиток.

Аннотация. Приведены результаты исследования развития сети автомобильных дорог Украины и транспортных потоков на ней. Установлен ряд критических несоответствий и направления их преодоления.

Ключевые слова: автомобильная дорога, транспортные потоки, интенсивность движения, скорость, видимость, развитие.

Annotation. The results of evolution of Ukrainian road network and traffic flow are described. The paper contains a lot of critical nonconformities and directions to overcome them.

Keywords: roads, traffic, traffic volume, speed, visibility, development.

Вступ

Сучасна мережа автомобільних доріг загального користування України була сформована до 80 років ХХ сторіччя. Найбільш інтенсивними темпами будівництво та реконструкція доріг в Україні проводились у 60 – 70 роки. Ці дороги відповідали стандартам середини ХХ століття та потребам тогочасних транспортних засобів. Дотепер модернізація доріг в основному зводилася до підсилення дорожнього одягу та розширення проїжджої частини.

Разом з цим, починаючи з 90-х років ХХ століття, починає різко зростати

кількість транспортних засобів. Так за останні 22 роки автомобільний парк України виріс майже в 2,5 рази. Ця зміна мала не тільки кількісну, але й якісну складову. Динамічні можливості (а отже і потенційні швидкості руху) та нормативне навантаження транспортних засобів відомих світових виробників, які заповнили українські автошляхи, значно перевершували продукцію автопрому СРСР, технічні характеристики якої були закладені до нормативних документів з проектування автомобільних доріг.

Такі відмінності у темпах розвитку транспортних потоків відносно мережі доріг потребують ретельного аналізу отриманих, очевидно, негативних наслідків. Отже необхідна розробка відповідної методики та програмно-аналітичного апарату виявлення ділянок доріг, що не відповідають вимогам сучасних транспортних потоків. До такого аналізу мають бути залучені тривимірні цифрові моделі доріг, які є невід'ємною складовою їх паспортів.

1Мережа автомобільних доріг

Хоча архіви містять статистичні дані, датовані початком ХХ сторіччя і пізніше, відправною точкою у дослідженні розвитку мережі автомобільних доріг та транспортних потоків, а також їх взаємодії вважатимемо післявоєнні роки, а в окремих випадках 1964 рік, коли Україна набула своїх, близьких до сучасних, кордонів та адміністративно-територіального поділу.

Українська РСР, що відбудовувалась після Другої світової війни, в 1950 році налічувала 275 тис. км автомобільних доріг [1], з них – 33,5 тис. км з твердим покриттям (12,18% від загальної довжини).

У подальшому [1-3] частка автомобільних доріг з твердим покриттям постійно зростає (табл. 1). Зменшення загальної довжини доріг пояснюється раціональнішим розташуванням доріг з твердим покриттям, внаслідок чого ряд ґрунтових доріг втратив своє призначення.

В графічному вигляді динаміка розвитку мережі автомобільних доріг показана на рис. 1. Лінії тренду справедливі лише на проміжку 1940 – 2012 рр. Спроба продовжити їх на декілька періодів для прогнозування подальшого розвитку призводить до абсурду у вигляді стрімкого зростання довжини автомобільних доріг з твердим покриттям на фоні такого ж стрімкого падіння загальної довжини.

Характеристики мережі автомобільних доріг України за типами покриття та за технічними категоріями наведені в табл. 2 та табл. 3 відповідно.

Таблиця 1 – Динаміка розвитку мережі автомобільних доріг України

Рік	Довжина, км		
	загальна	у т.ч. з твердим покриттям	% з твердим покриттям
1940	270 700,00	29 300,00	10,82
1950	275 000,00	33 500,00	12,18
1956	268 200,00	38 400,00	14,32
1957	261 000,00	39 700,00	15,21
1958	235 900,00	41 500,00	17,59
1959	235 600,00	43 900,00	18,63
1960	236 200,00	47 400,00	20,07
1962	235 500,00	54 800,00	23,27
1963	235 700,00	58 900,00	24,99
1965	236 100,00	67 200,00	28,46
1968	225 500,00	79 800,00	35,39
1969	225 300,00	85 500,00	37,95
1970	223 500,00	90 800,00	40,63
1971	221 300,00	96 700,00	43,70
1972	209 700,00	102 000,00	48,64
1973	206 800,00	108 400,00	52,42
1974	193 200,00	112 800,00	58,39
1975	173 800,00	116 700,00	67,15
1977	165 300,00	124 400,00	75,26
1978	163 500,00	127 900,00	78,23
1979	163 600,00	131 300,00	80,26
1980	163 243,00	133 673,00	81,89
1981	162 775,00	136 090,00	83,61
1982	163 284,00	138 608,00	84,89
1983	163 560,00	141 560,00	86,55
1984	162 466,00	143 125,00	88,10
1985	162 335,00	145 236,00	89,47
1986	162 709,00	147 335,00	90,55
1987	163 208,00	149 463,00	91,58
1988	165 275,00	151 689,00	91,78
1989	166 767,00	154 724,00	92,78
1990	167 804,00	157 199,00	93,68
1991	168 979,00	159 118,00	94,16
1992	169 964,00	160 807,00	94,61
1993	170 518,00	161 784,00	94,88

Рік	Довжина, км		
	загальна	у т.ч. з твердим покриттям	% з твердим покриттям
1994	172 315,00	162 725,00	94,43
1995	172 257,00	163 255,00	94,77
1996	172 565,00	163 904,00	94,98
1997	172 378,00	164 097,00	95,20
1998	168 545,70	162 645,90	96,50
1999	168 674,20	162 957,20	96,61
2000	169 490,90	163 827,00	96,66
2001	169 629,90	164 089,00	96,73
2002	169 678,50	164 245,40	96,80
2003	169 738,90	164 633,40	96,99
2004	169 447,10	164 772,20	97,24
2005	169 322,80	164 956,70	97,42
2006	169 104,20	165 155,00	97,66
2007	169 421,60	165 611,20	97,75
2008	169 501,60	165 799,90	97,82
2009	169 494,90	165 820,00	97,83
2010	169 496,20	165 843,60	97,85
2011	169 636,80	166 024,60	97,87
2012	169 663,90	166 041,15	97,86

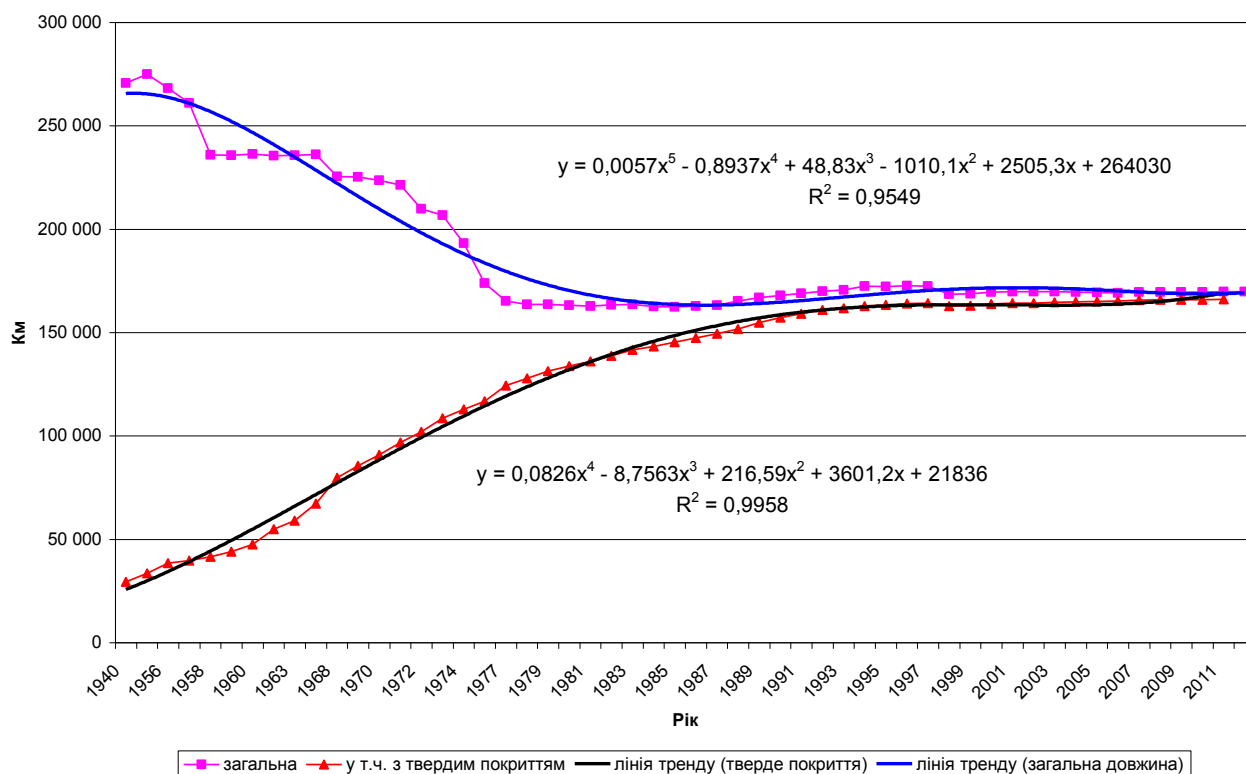


Рисунок 1 – Динаміка розвитку мережі автомобільних доріг України

Таблиця 2 – Мережа автомобільних доріг України (розподіл за типами покриття)

Рік	Довжина, км		в т.ч. за типами покриття					
	всього	з твердим покриттям	удосконалені покриття			перехідні покриття		грунтові
			ц/б	а/б	чорне шосе	біле шосе	бруківка	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1998	168 545,7	162 645,9	2 825,0	53 355,0	71 589,0	25 920,0	8 957,0	5 900,0
1999	168 674,2	162 957,2	2 834,0	53 864,0	71 550,0	25 882,0	8 828,0	5 717,0
2000	169 490,9	163 827,0	2 860,0	54 675,0	71 707,0	25 830,0	8 755,0	5 664,0
2001	169 629,9	164 089,0	2 850,0	54 993,0	71 642,0	25 890,0	8 714,0	5 541,0
2002	169 678,5	164 245,4	2 836,0	55 257,0	71 596,0	25 925,0	8 632,0	5 433,0
2003	169 738,9	164 633,4	2 857,0	55 643,0	71 659,0	25 934,0	8 540,0	5 106,0
2004	169 447,1	164 772,2	2 859,0	56 060,0	71 570,0	25 892,0	8 391,0	4 675,0
2005	169 322,8	164 956,7	2 829,0	56 588,0	71 462,0	25 873,0	8 205,0	4 366,0
2006	169 104,0	165 155,0	2 749,0	57 081,0	71 376,0	25 875,0	8 074,0	3 949,0
2007	169 422,0	165 612,0	2 705,0	57 802,0	71 526,0	25 584,0	7 995,0	3 810,0
2008	169 502,0	165 800,0	2 635,0	58 471,0	71 332,0	25 491,0	7 871,0	3 702,0
2009	169 495,0	165 820,0	2 542,0	58 806,0	71 246,0	25 417,0	7 809,0	3 675,0
2010	169 496,2	165 843,6	2 526,4	58 934,8	71 226,9	25 384,4	7 771,1	3 652,6
2011	169 636,8	166 024,6	2 186,1	59 673,8	71 096,6	25 324,8	7 743,3	3 612,2
2012	169 663,9	166 041,5	2 154,1	59 943,5	70 653,8	25 591,2	7 698,9	3 622,4

Примітка: Дані в колонках 4-9 за 1998-2009 роки округлені до цілого числа

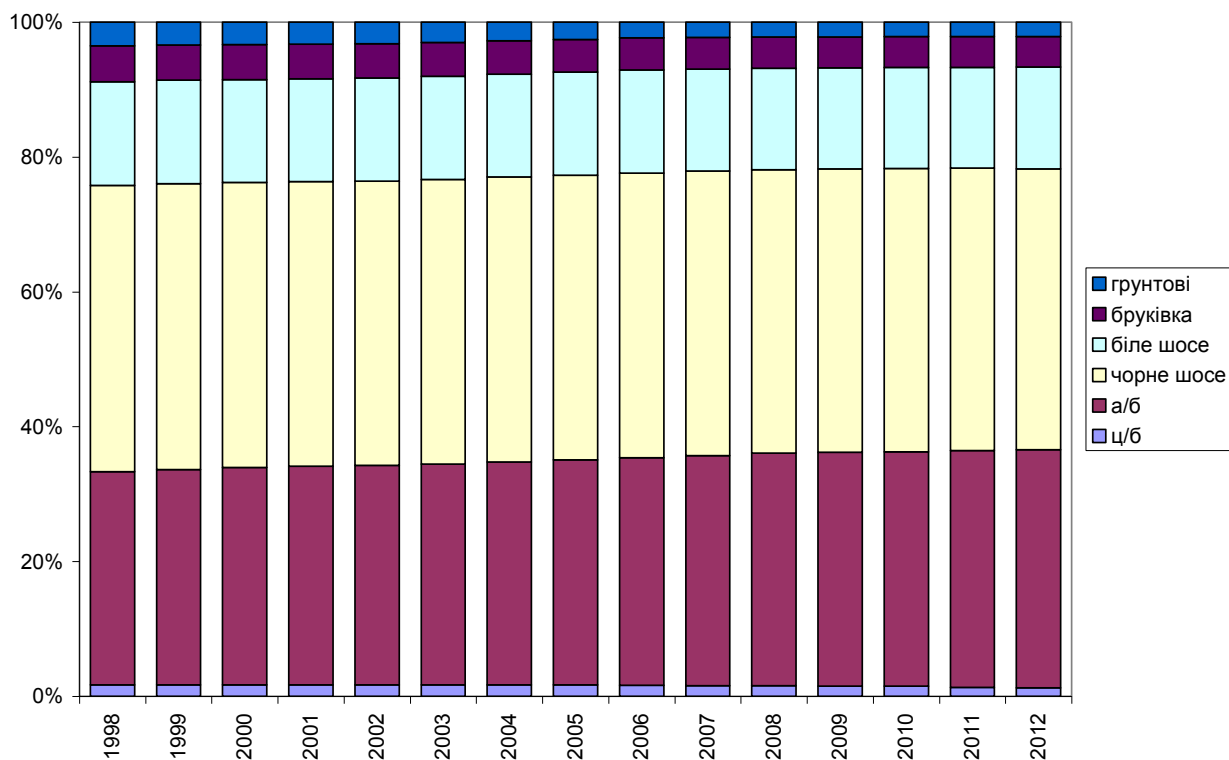


Рисунок 2 – Мережа автомобільних доріг України (розподіл за типами покриття)

Таблиця 3 – Мережа автомобільних доріг України (розподіл за категоріями)

Рік	Довжина, км		Ділянки доріг з твердим покриттям за категоріями					Середньозважене значення категорійності
	всього	з твердим покриттям						
			I	II	III	IV	V	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1998	168 545,7	162 645,9	2 055,0	12 915,0	26 987,0	107 309,0	13 380,0	3,72
1999	168 674,2	162 957,2	2 095,0	12 963,0	28 700,0	105 818,0	13 382,0	3,71
2000	169 490,9	163 827,0	2 137,0	12 845,0	29 075,0	107 526,0	12 244,0	3,70
2001	169 629,9	164 089,0	2 175,0	12 602,0	29 072,0	106 386,0	13 854,0	3,71
2002	169 678,5	164 245,4	2 192,0	12 547,0	29 113,0	106 584,0	13 810,0	3,71
2003	169 738,9	164 633,4	2 212,0	12 609,0	29 197,0	105 416,0	15 199,0	3,72
2004	169 447,1	164 772,2	2 254,0	12 668,0	28 862,0	105 712,0	15 276,0	3,72
2005	169 322,8	164 956,7	2 412,0	12 534,0	29 335,0	105 489,0	15 187,0	3,72
2006	169 104,0	165 155,0	2 496,0	12 591,0	29 436,0	105 603,0	15 029,0	3,71
2007	169 422,0	165 612,0	2 582,0	12 725,0	29 369,0	105 855,0	15 081,0	3,71
2008	169 502,0	165 800,0	2 602,0	12 891,0	29 269,0	105 886,0	15 152,0	3,71
2009	169 495,0	165 820,0	2 616,0	12 945,0	29 112,0	105 958,0	15 189,0	3,71
2010	169 496,2	165 843,6	2 637,9	13 012,1	29 044,8	105 949,2	15 199,6	3,71
2011	169 636,8	166 024,6	2 730,8	13 287,5	28 788,9	106 042,7	15 174,7	3,71
2012	169 663,9	166 041,5	2 770,3	12 956,5	27 593,1	107 878,7	14 848,5	3,72

Примітка: Дані в колонках 4-8 за 1998-2009 роки округлені до цілого числа

Таким чином, за останні 15 років спостерігається декілька тенденцій:

- поступове зменшення кількості доріг без покриття (грунтові) та з перехідними типами покриттів (бруківка, біле шосе) – на 63, 14 та 1 % відповідно;
- при будівництві та реконструкції доріг перевага надається а/б покриттям, про що свідчить зменшення доріг з ц/б покриттям на 24%;
- поступове збільшення кількості ділянок доріг I категорії – на 35%.

Аналіз нормативних документів [4-9] показав, що вимоги на проектування та будівництво нових та реконструкцію існуючих автомобільних доріг закладені ще у 1962 році і практично не змінились, наприклад:

- у 1972 році зросла розрахункова інтенсивність руху, а також введено поняття приведення інтенсивності до легкового автомобіля;
 - у 1985 році поділ на технічні категорії доповнений категоріями Ia та Ib;
 - у 1985 році зросли найменший радіус опуклої кривої (25000 м) для розрахункової швидкості 150 км/год та найменша відстань видимості для зупинки (зустрічного автомобіля);
 - у 2000 році збільшене навантаження на одинарну вісь для доріг I-IV категорій (зі 100 кН до 115 кН (110 кН для доріг місцевого значення));
- допустима повна вага автотранспортного засобу в 2000 році збільшена до 400 кН, а в 2007 році – до 440.

Якщо розглянути табл. 1.1 у розрізі періоду чинності нормативних документів [4-9], отримаємо наступні дані (табл. 1.4), з яких випливає, що більше, як 111 тис. км автомобільних доріг, запроектованих та побудованих (реконструйованих) до 1987 року, мають технічні рішення, що забезпечують:

- меншу на ~30% відстань видимості для зупинки;
- меншу на ~20% відстань видимості зустрічного автомобіля;
- меншу на ~12% розрахункову швидкість руху дорогами IV категорії (64,97% від мережі);
- меншу на ~33% розрахункову швидкість руху дорогами V категорії (8,94% від мережі).

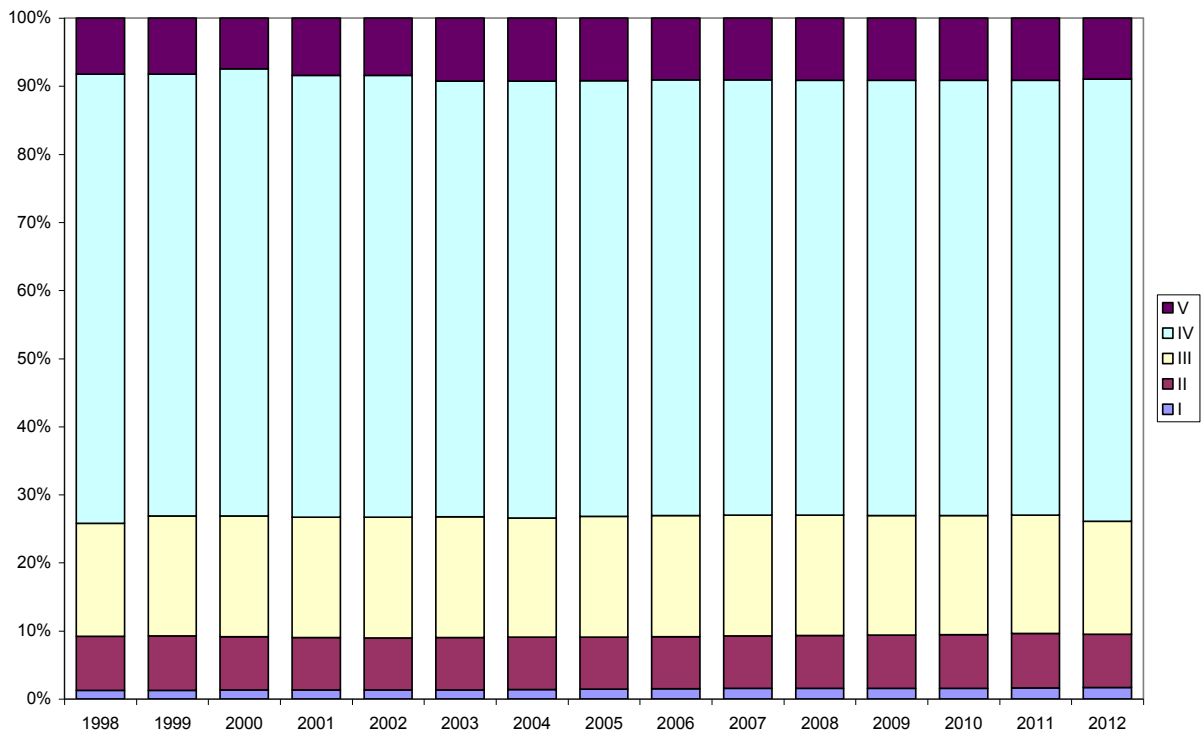


Рисунок 3 – Мережа автомобільних доріг України (розподіл за категоріями)

Таблиця 4 – Динаміка розвитку мережі автомобільних доріг України у розрізі чинних нормативних документів

Нормативний документ	Період чинності, роки		Довжина доріг з твердим покриттям, км, станом на		Динаміка, км
	з	до	рік набуття чинності	рік втрати чинності	
НиТУ 128-55	1956	1963	38 400,00	54 800,00	16 400,00
СНиП II-Д.5-62	1963	1973	54 800,00	108 400,00	53 600,00
СНиП II-Д.5-72	1973	1987	108 400,00	149 463,00	41 063,00
СНиП 2.05.02-85	1987	2000	149 463,00	163 827,00	14 364,00
ДБН В.2.3-4-2000	2000	2008	163 827,00	165 799,90	1 972,90
ДБН В.2.3-4:2007*	2008	чинний	165 799,90	166 041,15	241,25
*дані станом на 01.01.2013 року					

В якості прикладу можна привести автомобільну дорогу М-13 Кіровоград-Платонове (на Кишинів через Любашівку), проектна документація на яку була затверджена в 1959 році (Наказ Мінтрансу СРСР №581-П від 30.10.1959), а будівництво розпочалось в 1964 році. Таким чином, вже в 1973 році за такими елементами як поздовжній та поперечний профілі, типи примикань та конструкції земляного полотна автомобільна дорога М-13

перестала відповідати всім вимогам II технічної категорії, а за такими показниками, як поздовжній профіль на окремих ділянках не відповідає і III технічній категорії. Так, максимальний поздовжній похил на окремих ділянках сягає 60 ‰ замість 50 ‰, випуклі криві мають радіус від 1000 до 8000 м замість 10000 м, увігнуті криві – від 1000 до 2500 м замість 3000 м (рис. 4)



Рисунок 4 – Автомобільна дорога М-13 Кіровоград-Платонове, км 132

Станом на 01.01.2013 (табл. 3) за несучою здатністю лише автомобільні дороги I категорії (1,67% від загальної довжини доріг), побудовані, капітально відремонтовані або реконструйовані після 2000 року здатні витримувати навантаження 11,5 т на вісь; 24,42% автомобільних доріг (II категорії та III категорії, побудовані, капітально відремонтовані або реконструйовані після 1985 року) здатні витримувати навантаження на вісь 10 т; решта 73,91% розраховані на навантаження 6 т на вісь (рис. 5). В результаті спостерігається значний обсяг руйнувань, переважно спричинених великовантажними транспортними засобами (в т.ч. і транспортними засобами навантаженими понад встановлену норму).

Вертикальні сили, які діють на покриття складаються із статичного компонента (статичного навантаження від шини, завдяки масі транспортного засобу) і змінного компонента динамічного навантаження шини, викликаного вібрацією транспортного засобу у відповідь на нерівність покриття дороги. Динамічні навантаження зазвичай виникають в діапазоні частот від 1 Гц до 15 Гц, завдяки особливостям нерівності дороги з довжинами хвилі від 0,5 м до 15 м, залежно від швидкості руху. Вони є функцією нерівності дороги, швидкості транспортного засобу і динамічних характеристик підвіски та шин. Внаслідок коливань від коліс транспортного засобу, навантаження на дорогу не залишається постійним.

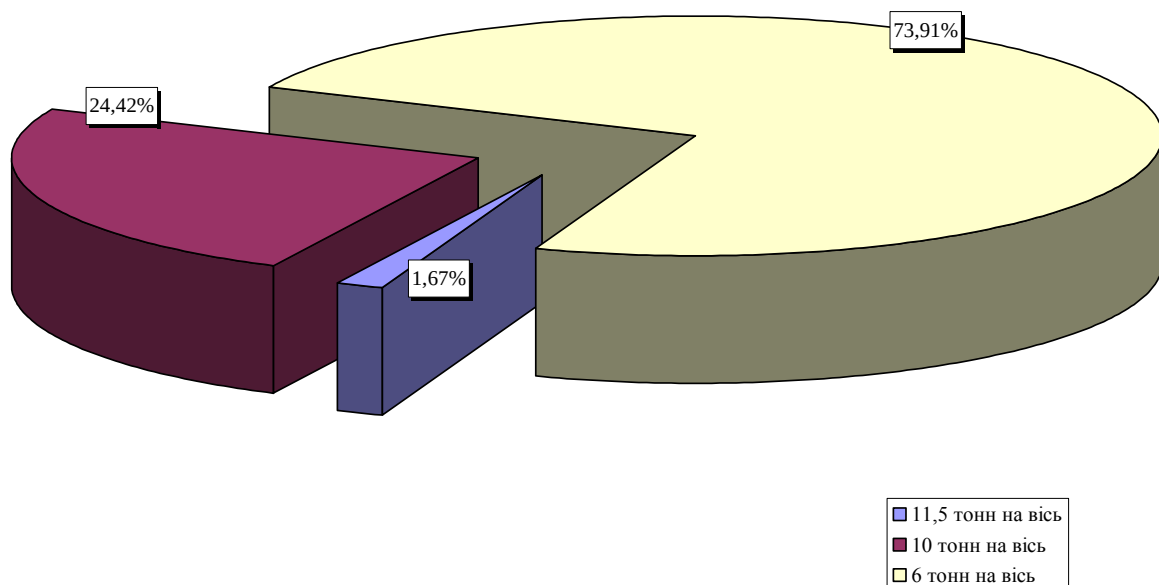


Рисунок 5 – Несуча здатність мережі автомобільних доріг України

На сьогоднішній день, дані вимірювань рівності покриття використовуються тільки для прийняття рішення про виконання ремонту, і фактично не впливають на розрахунок конструкції дорожнього одягу по міцності. Якщо дані для посилення дорожнього одягу не містять інформації про швидкість руху, стан покриття, то такого розрахунку виконати неможливо.

Критерії оцінки та результати аналізу транспортно-експлуатаційного стану мережі автомобільних доріг України, виконаного д.т.н. Гамеляком І.П. та Райковським В.Ф., станом на 2011 рік наведені в табл. 5-9

Таблиця 5 – Критерії оцінки транспортно-експлуатаційного стану

Індекс нерівностей (IRI), см/км	Оцінка рівності	Транспортно-експлуатаційний стан
< 95	дуже рівна	дуже добрий
95 ... 118	рівна	добрий
118 ... 166	незначно деформована	
166 ... 229	слабко деформована	
229 ... 300	деформована	задовільний
300 ... 500	сильно деформована	поганий
> 500	незадовільна	дуже поганий

Таблиця 6 – Загальний модуль пружності, МПа

Позначення	Загальне по Україні	Розподіл за адміністративно-територіальним значенням			Розподіл за категоріями			
		Міжнародні	Національні	Регіональні	I	II	III	IV
Мінімальне значення	109	144	131	109	144	131	142	109
Максимальне значення	632	632	486	600	488	600	632	334
Середнє значення	242	265	228	220	269	232	241	211
Розмах значень	523	488	355	491	344	469	490	225
Середньоквадратичне відхилення	74,34	89,36	40,79	59,57	65,41	52,19	106,40	47,13
Коефіцієнт варіації	0,31	0,34	0,18	0,27	0,24	0,22	0,44	0,22
Примітка: 01.01.2013 внесені зміни до переліку автомобільних доріг загального користування державного значення [11]								

Таблиця 7 – Коефіцієнт запасу міцності

Позначення	Загальне по Україні	Розподіл за адміністративно-територіальним значенням			Розподіл за категоріями			
		Міжнародні	Національні	Регіональні	I	II	III	IV
Мінімальне значення	0,41	0,41	0,44	0,42	0,41	0,44	0,48	0,42
Максимальне значення	3,01	3,01	1,69	2,59	1,76	2,33	3,01	1,09
Середнє значення	0,86	0,89	0,82	0,85	0,88	0,82	0,94	0,77
Розмах значень	2,60	2,60	1,25	2,17	1,35	1,90	2,52	0,68
Середньоквадратичне відхилення	0,30	0,36	0,17	0,27	0,22	0,21	0,45	0,17
Коефіцієнт варіації	0,34	0,41	0,20	0,31	0,25	0,25	0,48	0,22
Примітка: 01.01.2013 внесені зміни до переліку автомобільних доріг загального користування державного значення [11]								

Таблиця 8 – Рівність покриття за IRI

Позначення	Загальне по Україні	Розподіл за адміністративно-територіальним значенням			Розподіл за категоріями			
		Міжнародні	Національні	Регіональні	I	II	III	IV
Мінімальне значення	23	23	52	32	23	26	39	92,5
Максимальне значення	417	363	290	417	313	304	363	417
Середнє значення	135	121	138	151	101	132	161	214
Розмах значень	394	340	238	385	290	278	324	324,5
Середньоквадратичне відхилення	54,82	59,54	41,56	51,40	46,13	47,18	53,79	67,54
Коефіцієнт варіації	0,41	0,49	0,30	0,34	0,46	0,36	0,33	0,32
Примітка: 01.01.2013 внесені зміни до переліку автомобільних доріг загального користування державного значення [11]								

Таблиця 9 – Коефіцієнт запасу рівності покриття

Позначення	Загальне по Україні	Розподіл за адміністративно-територіальним значенням			Розподіл за категоріями			
		Міжнародні	Національні	Регіональні	I	II	III	IV
Мінімальне значення	0,24	0,24	0,43	0,29	0,26	0,24	0,26	0,42
Максимальне значення	3,48	3,48	2,35	2,76	3,48	2,76	2,42	1,90
Середнє значення	1,14	1,10	1,23	1,15	1,12	1,19	1,08	0,97
Розмах значень	3,24	3,24	1,93	2,47	3,22	2,53	2,16	1,48
Середньоквадратичне відхилення	0,43	0,49	0,38	0,37	0,51	0,42	0,36	0,31
Коефіцієнт варіації	0,38	0,44	0,31	0,32	0,46	0,36	0,33	0,32
Примітка: 01.01.2013 внесені зміни до переліку автомобільних доріг загального користування державного значення [11]								

2 Транспортні потоки

Основним видом транспорту в середині XX ст. був залізничний [2, с. 353]. В той же час, частка автомобільного транспорту у перевезеннях вантажів та пасажирів постійно зростала завдяки спеціалізації рухомого складу, поповнення парку (в т.ч. автомобілями великої вантажопідйомності), поліпшенню організації перевезень і розширенню мережі автомобільних доріг з твердим покриттям. В період з 1950 р. до 1964 р. автопарк Української РСР зріс більше, ніж втричі [2, с. 357]. Значно зросла кількість великовантажних

автомобілів, спеціального рухомого складу, тягачів з причепами, комфортабельних швидкісних машин, у т.ч. міжміських автобусів та мікроавтобусів.

Склад та структура рухомого парку СРСР [1] в період з 1970 р. до 1988 р. наведена в табл. 10.

Склад та структура рухомого парку України в період з 1990 р. до 2012 р. з урахуванням [10, табл. 3.1] та даних АІС "НБД "Автомобіль" наведена в табл.11.

Таблиця 10 – Склад та структура автомобільного парку СРСР, од.

Рік	Вантажні автомобілі		Автобуси	Легкові автомобілі			Спеціальні автомобілі	ВСЬОГО
	загального користування	приватні		таксі	службові	приватні		
1970	627 446		177 643	90 348	463 625	1 395	691	1 361 148
1980	710 267	7	276 623	135 264	536 520	8 218	1 464	1 668 363
1985	741 477	2	309 800	128 455	405 697	12 444	1 800	1 599 675
1986	740 425	2	316 020	130 919	406 718	13 309	1 849	1 609 242
1987	736 026	2	318 521	132 783	416 824	14 194	1 881	1 620 231
1988	726 765	6	317 776	132 716	415 041	15 084	1 831	1 609 219

Таким чином, з 2006 до 2012 року спостерігається різкий стрибок – загальна кількість транспортних засобів зросла в 1,71 рази. Кількість вантажних автомобілів зростала більш швидкими темпами (в 2,36 рази), ніж легкових (в 1,6 раз). Найбільш швидкими темпами зростала кількість напівпричепів – в 2,65 раз (75 118 од. в 2006 році та 199 319 од. в 2012 році).

На основі аналізу інтенсивності руху на мережі доріг України за останні роки д.т.н. Гамеляком І.П. та Райковським В.Ф. встановлено склад транспортного потоку у відсотках (табл. 12), абсолютних одиницях (табл. 13), а також встановлена кількість транспортних засобів за групами автомобілів (табл. 14).

Таблиця 11 – Склад та структура автомобільного парку України, од.

Рік	Вантажні автомобілі	Легкові автомобілі	Автобуси	Спеціальні автомобілі	ВСЬОГО
1990	919 000	3 362 700	132 800	294 200	4 708 700
1995	950 900	4 603 100	136 200	281 900	5 972 100
1996	924 500	4 872 300	134 400	278 700	6 209 900
1997	918 200	5 024 000	136 900	264 400	6 343 500
1998	900 300	5 127 300	141 800	249 500	6 418 900
1999	880 400	5 210 800	144 300	242 500	6 478 000
2000	837 500	5 250 100	140 200	225 200	6 453 000
2001	808 600	5 312 600	143 500	207 600	6 472 300
2003	886 200	5 524 500	174 100	171 300	6 756 100
2004	867 300	5 590 000	174 800	153 600	6 785 700
2006	589 369	5 603 629	180 010	488 342*	6 861 350
2012	2 105 455	8 838 198	365 310	39 589	11 348 552

Примітки:

1. В даних за 2006 рік разом зі спеціальними автомобілями враховані "інші автомобілі" у кількості 167 548 одиниць.
2. З урахуванням причепів, напівпричепів та мототранспорту автопарк України у 2006 та 2012 роках налічував 8 382 893 та 14 339 404 одиниць відповідно.
3. Дані за 2012 рік станом на 20.11.2012.

Таблиця 12 – Склад транспортного потоку у відсотках, од

Позначення	Розподіл за адміністративно-територіальним значенням*			Розподіл за категоріями			
	Міжнародні	Національні	Регіональні	I	II	III	IV
легкові	63,6	66,1	65,1	63,7	63,9	66,3	71,0
вантажні легкі	10,4	10,9	11,2	10,5	11,3	10,4	8,5
вантажні середні	4,4	4,7	5,0	4,6	4,6	4,9	4,2
вантажні важкі	4,4	5,5	5,5	5,0	5,0	5,2	4,2
автобуси важкі	3,3	4,2	3,7	3,4	3,7	3,8	2,7
автопоїзди	12,5	8,4	9,5	12,4	10,7	9,0	9,2
Всього	98,7	100,0	99,9	99,5	99,1	99,6	99,9
Вантажні понад 12 т	21,3	18,7	19,9	21,9	20,3	19,1	17,6
Всього, авто/добу	3 505 747	1 267 466	1 107 868	1 929 966	3 049 469	803 243	81 125

Примітка: 01.01.2013 внесені зміни до переліку автомобільних доріг загального користування державного значення [11].

Дані про зміну приросту інтенсивності з 2002 до 2011 року наведені в табл. 15 та на рис. 6.

Таблиця 13 – Склад транспортного потоку у кількості автомобілів, од

Позначення	Розподіл за адміністративно-територіальним значенням*			Розподіл за категоріями			
	Міжнародні	Національні	Регіональні	I	II	III	IV
легкові	2 229 761	838 201	721 548	1 229 535	1 948 010	532 431	57 628
вантажні легкі	364 590	138 482	124 255	202 332	344 007	83 378	6 933
вантажні середні	154 223	60 131	54 870	87 976	140 470	39 634	3 368
вантажні важкі	154 732	69 884	60 388	96 104	151 735	41 872	3 387
автобуси важкі	117 312	53 607	40 597	66 282	112 747	30 877	2 200
автопоїзди	438 814	106 988	104 838	238 924	326 444	72 230	7 498
Всього	3 459 432	1 267 294	1 106 495	1 921 153	3 023 413	800 422	81 015
Вантажні понад 12 т	747 769	655 540	696 472	423 004	618 649	153 736	14 253
Примітка: 01.01.2013 внесені зміни до переліку автомобільних доріг загального користування державного значення [11].							

Таблиця 14 – Кількість транспортних засобів за групами автомобілів у 2012 році

Позначення	Загальна середньодобова інтенсивність руху по Україні
Автомобілі легкові	3 789 510
Автомобілі вантажні легкі	627 327
Автомобілі вантажні середні	269 224
Автомобілі вантажні важкі	285 005
Автобуси важкі	211 516
Автопоїзди	650 639
Всього	5 833 221

За даними лічильників автоматичного обліку руху, встановлених на автомобільних дорогах державного значення України встановлено, що зміна приросту інтенсивності руху має певну залежність. Дана особливість приросту інтенсивності залежить від багатьох факторів: як економічних взагалі, так і

стану самих доріг та ремонтних робіт, що проводяться на них.

Таблиця 15 – Коефіцієнти приросту інтенсивності за даними лічильників автоматичного обліку транспортних засобів

Рік \ Коефіцієнти	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Мінімальний	-9,77	1,99	-1,71	-57,57	-6,18	-6,38	-13,56	-41,66	-12,50	-10,47
Максимальний	20,79	17,71	9,11	15,83	99,62	55,91	65,96	14,56	20,87	39,81
Середній	11,66	6,93	3,24	-6,82	35,31	12,68	5,49	-3,05	1,66	1,32

На пікове значення середнього приросту інтенсивності у 2006 році вплинув той факт, що завершилися роботи з капітального ремонту автомобільної дороги М-06 Київ-Чоп у Закарпатській та Львівській областях.

В останні 2 роки (2010-2012 рр.) спостерігається невеликий спад інтенсивності у зв'язку з підвищенням ціни на паливо-мастильні матеріали.

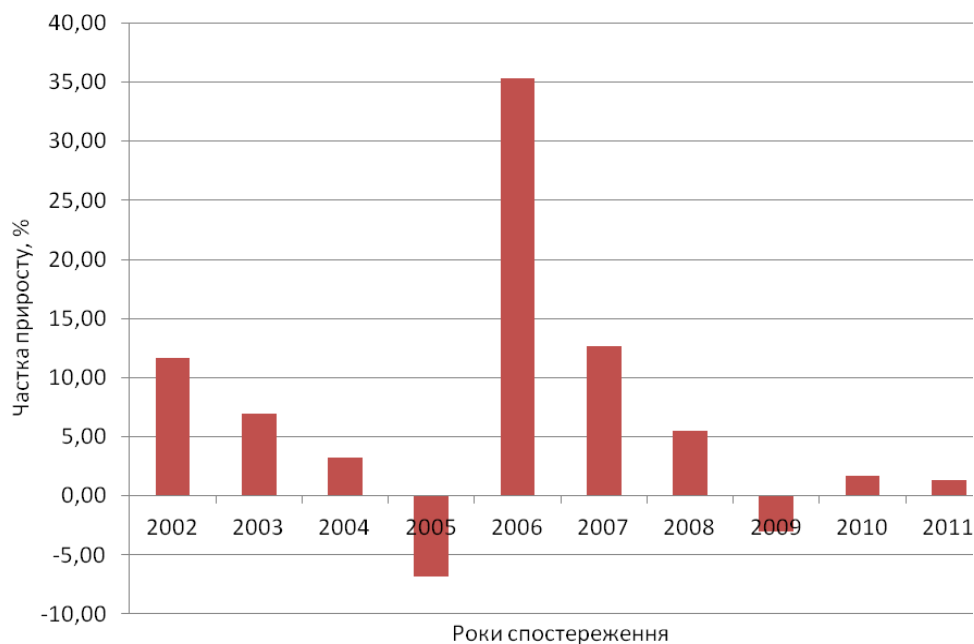


Рисунок 6 – Зміна середнього приросту інтенсивності руху на автомобільних дорогах державного значення

У зв'язку з підготовкою до Євро-2012 та роботами з капітального ремонту на деяких автомобільних дорогах спостерігається коливання приросту інтенсивності то в одну, то в іншу сторону. Максимальний приріст

інтенсивності припадає на Миколаївську область на ділянку автомобільної дороги Р-06 Ульяновка – Миколаїв (через Вознесенськ) в районі населеного пункту Нова Одеса (39,8%), тому що на неї перекинуто транзит транспорту з автомобільної дороги Н-14 Олександрівка – Кіровоград – Миколаїв, яка перебуває в екстра аварійному стані. Мінімальний приріст інтенсивності руху (-10,47%) теж знаходиться в Миколаївській області на автомобільній дорозі М-13 Кіровоград-Платонове (на Кишинів через Любашівку) викликаний відсутністю проведення робіт з експлуатаційного утримання та ремонтних робіт на цементобетонному покритті.

Обробка даних про рух транспорту [12] показала, що значення середньої швидкості руху транспортних засобів на ділянках доріг з добрим станом покриття достатньо високі: від 55 до 70 км/год. Коефіцієнт варіації швидкості змінюється в межах від 15-17 % для легкових автомобілів і автобусів та 10-12 % для вантажних автомобілів. Мінімальна швидкість складає 25 км/год для автобусів та 45 км/год для легкових автомобілів іноземного виробництва. Але для ділянок з переважним рухом легкового транспорту на відремонтованих покриттях спостерігаються закономірні відхилення від нормального закону розподілу (рис. 7).

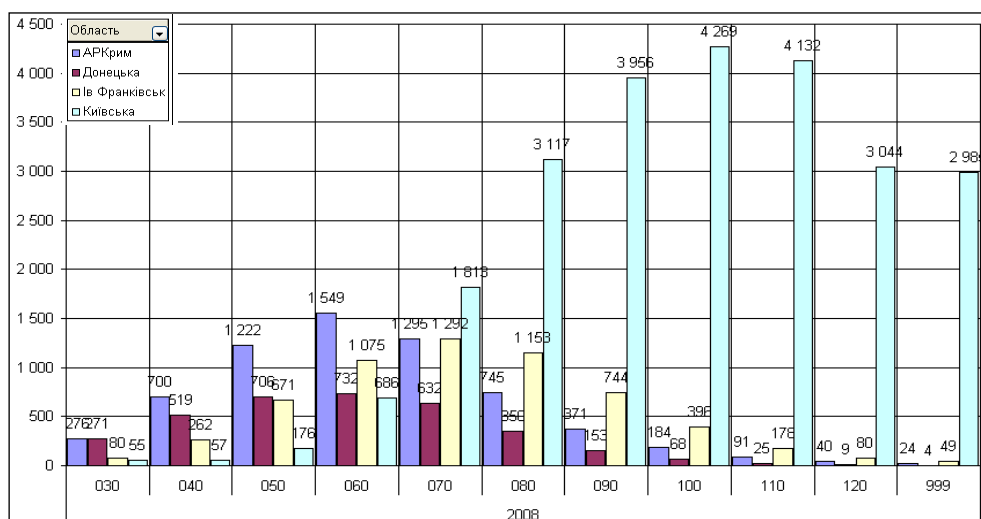


Рисунок 7 – Середні швидкості руху транспортних засобів в різних регіонах України за 2008 рік

Висновки

Ключову роль в реалізації транспортної стратегії держави відіграє

розвиток транспортної інфраструктури, найважливішою складовою якої є мережа автомобільних доріг. Відповідність автомобільних доріг вимогам сучасних транспортних потоків визначає не тільки ефективність роботи промисловості та сільського господарства, а й забезпечення належного життєвого рівня людей та обороноздатності країни.

Геометричні параметри та транспортно-експлуатаційний стан автомобільних доріг загального користування України не відповідають динамічним можливостям та навантаженню сучасних транспортних потоків.

Аспект реалізації водіями високих динамічних характеристик сучасних транспортних засобів (незважаючи на загальні та місцеві обмеження швидкості руху) призводить до збільшення аварійності та підвищення тяжкості наслідків ДТП.

Існує потреба в виявленні на мережі доріг ділянок, що не відповідають вимогам сучасних транспортних потоків та розробки комплексу заходів, що усувають виявлені причини невідповідності. Такий аналіз має відбуватися на етапах проектування нових доріг, реконструкції та утримання існуючих доріг.

Очевидна і необхідність створення/адаптації програмно-аналітичних комплексів, які, базуючись на тривимірних цифрових моделях [13] конкретних доріг, дозволять не тільки виявити причини невідповідності та їх місце розташування, але й обґрунтувати конкретні рекомендації з їх усунення.

Література

1. Народное хозяйство СССР в 1956, 1958, 1959, 1963, 1969, 1973, 1974, 1975, 1977, 1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1984, 1987, 1988, 1989, 1990 г, Москва, Статистика.
 2. Українська радянська енциклопедія, АН УРСР, Київ, 1965.
 3. Транспорт і зв'язок. Статистична інформація. 1980 – 2013 рр., Держстат України.
 4. НТУ 128-55 Нормы и технические условия проектирования автомобильных дорог.
 5. СНиП II-Д.5-62 Автомобильные дороги общей сети СССР. Нормы проектирования.
 6. СНиП II-Д.5-72 Автомобильные дороги. Нормы проектирования.
 7. СНиП 2.05.02-85 Автомобильные дороги.
 8. ДБН В.2.3-4-2000 Споруди транспорту. Автомобільні дороги.
 9. ДБН В.2.3-4:2007 Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина I Проектування. Частина II Будівництво.
 10. Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку. Монографія. За заг. ред. А.М. Редзюка. – К.: ДП "ДержавтотрансНДІпроект", 2005. – 400.
 11. Постанова Кабінету Міністрів України "Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення" від 18.04.2012 № 301.
 12. Гамеяк І.П., Райковський В.Ф. Встановлення параметрів режиму руху транспортних засобів для проектування дорожнього одягу // Вісник / Національний університет "Львівська політехніка"; № 662 – С. 118-125.
- СОУ 45.2-00018112-038:2009 Паспорт автомобільної дороги.

Мусієнко І.В., канд. техн. наук

АВТОМАТИЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК НЕЖОРСТКИХ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ ЗА УКРАЇНСЬКИМИ НОРМАТИВАМИ

Анотація. Розглянуто проблему автоматизації проектування дорожніх одягів за українськими нормативами. Запропоновано підходи вирішення даної проблеми. Описана реалізація програми УКРРДО 14.

Ключові слова: автоматизація проектування дорожніх одягів, алгоритмізація розрахунку дорожніх одягів нежорсткого типу, програмна реалізація розрахунку дорожніх одягів.

Аннотация. Рассмотрена проблема автоматизации проектирования дорожных одежд по украинским нормативам. Предложены подходы решения данной проблемы. Описана реализация программы УКРРДО 14.

Ключевые слова: автоматизация проектирования дорожных одежд, алгоритмизация расчёта дорожных одежд нежёсткого типа, программная реализация расчёта дорожных одежд.

Annotation. The problem of pavements designing automatization by Ukrainian standards has been considered. The approaches of solving this problem have been suggested. The realization of the program UKRRDO 14 has been described.

Keywords: road pavements designing automatization, nonrigid road pavements calculation algorithmization, road pavements calculation software implementation.

Сучасні технології проектування дорожніх одягів передбачають їх автоматизований розрахунок. Серед сертифікованих програм в Україні використовували для автоматизованого розрахунку нежорстких дорожніх одягів програму Радон компанії «Кредо-Діалог» [1]. На даний момент часу Радон не підтримується для українських користувачів (рис. 1).

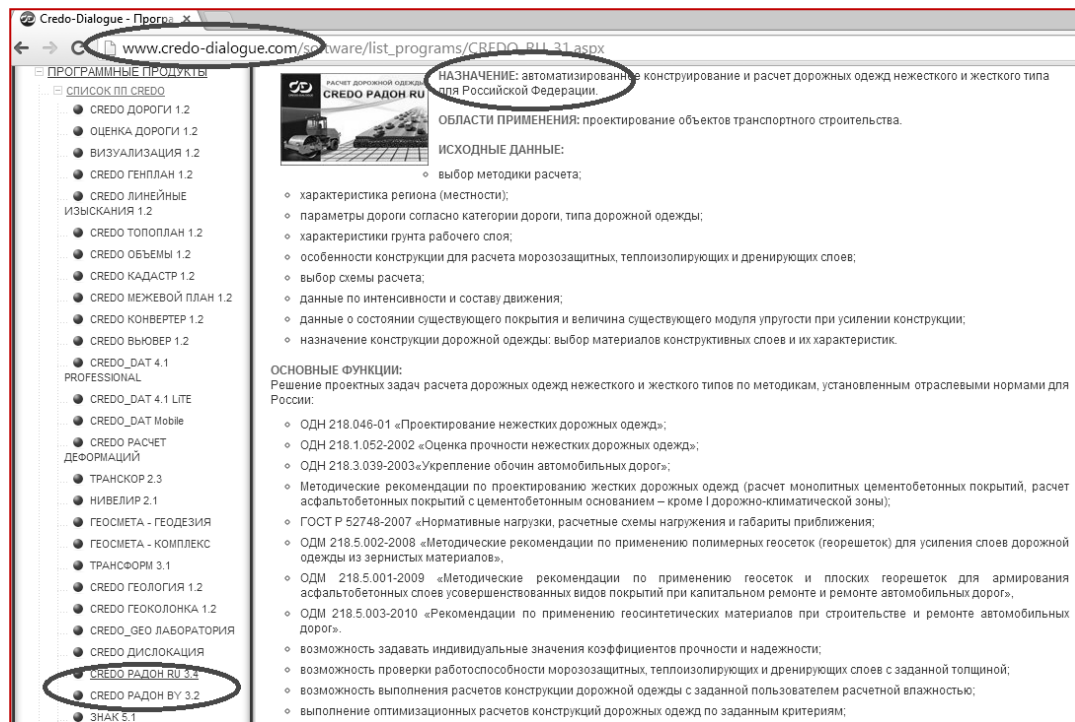


Рисунок 1 – Сторінка компанії «Кредо-Діалог» з програмними продуктами (скріншот від 1.10.2014 р.)

Останній факт обумовлює актуальність автоматизованого розрахунку нежорстких дорожніх одягів за українськими нормативами. У зв'язку з цим на кафедрі вишукувань та проектування доріг і аеродромів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету було розроблено першу експериментальну версію програми для розрахунку нежорстких дорожніх одягів УКРРДО 14. Програму було написано на мові C#, з застосуванням технологій Windows Form.

Для розробки програми автоматизованого розрахунку нежорстких дорожніх одягів потрібно було вирішити наступні задачі:

- 1) створити базу даних для матеріалів;
- 2) алгоритмізувати та запрограмувати усі розрахунки, формули та номограми;
- 3) об'єднати бази даних, номограми та розрахунки єдиним зручним інтерфейсом.

Для вирішення першої задачі була створена база даних Do. У якості сервера баз даних застосовано Microsoft SQL Server 2008. Для зв'язку бази даних з програмою використовувалася технологія ADO.NET.

Задача опису номограм вирішувалася двома методами:

- 1) з застосуванням вихідних рівнянь;
- 2) методом дигіталізації номограм, надрукованих у нормативних документах (у тих випадках, коли бракувало вихідних рівнянь).

Дигіталізація номограм проводилась у наступному порядку:

- 1) по кожній кривій номограми знімались координати X та Y. Для цього зображення номограми підвантажувалося у програму GetData Graph Digitizer [2], у якій автоматизовано знімалися координати по кожній кривій (рис. 2);

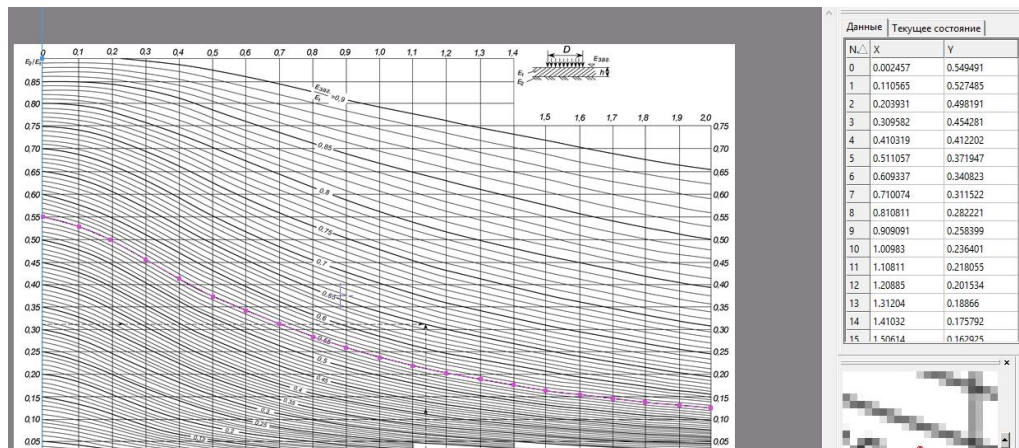


Рисунок 2 – Приклад знаходження координат однієї з кривих номограми у програмі GetData Graph Digitizer

- 2) координати кожної кривої номограми апроксимувалися поліномом шостого ступеня (рис. 3).

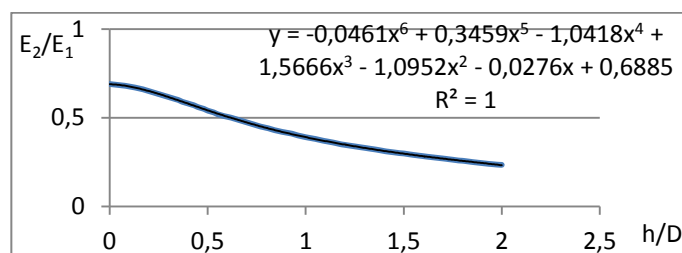


Рисунок 3 – Приклад кривої $E_{2ag}/E_1 = 0,69$ отриманий в MS Excel

Алгоритмізація розрахунків проводилася за окремими граничними станами [3]. Підалгоритм реалізації розрахунку за пружним прогином мав наступні пункти:

- 1) перевірка приналежності вихідних даних до допустимого діапазону

дійсних чисел (рис. 4а);

2) встановлення області, обмеженої трьома лініями нерівності, у яку попадає і-та точка (рис. 4);

3) більш точне знаходження тієї функції $E_{заг}/E_1$, яка проходить через вихідну точку методом лінійної інтерполяції (рис. 4).

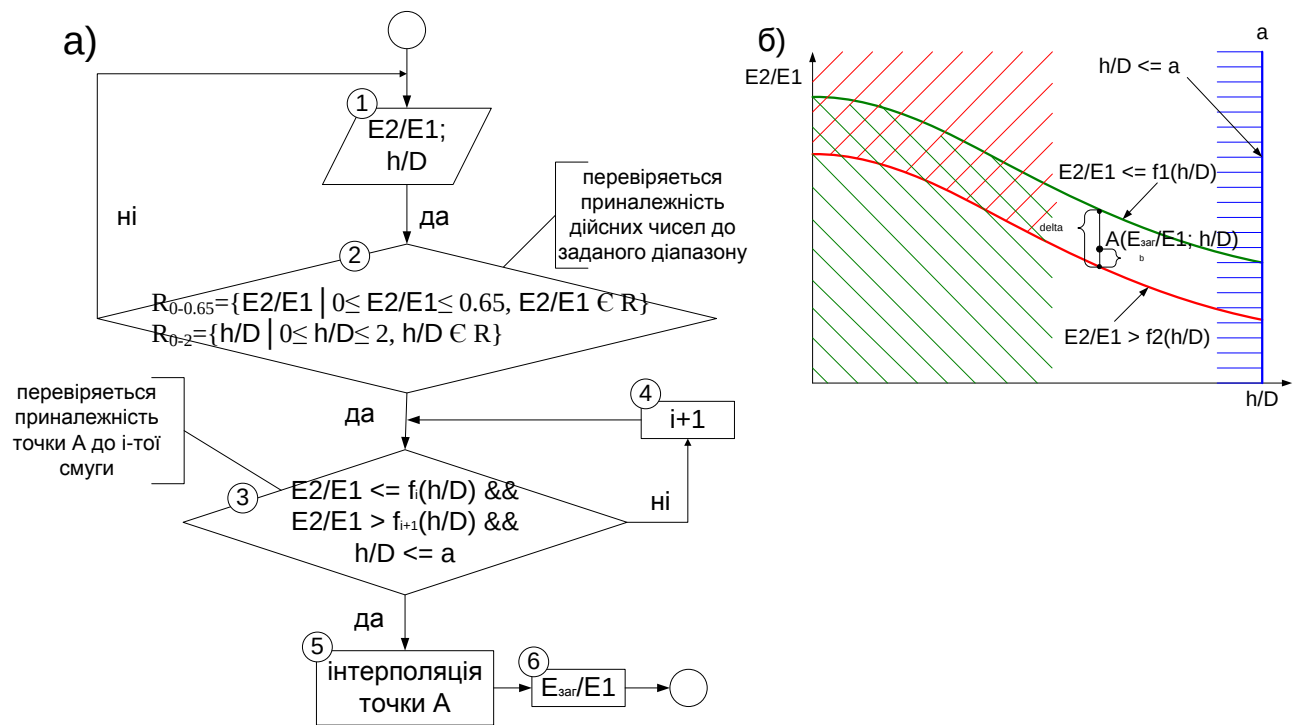


Рисунок 4 – Знаходження $E_{заг}/E_1$: схема алгоритму знаходження $E_{заг}/E_1$ (а); схема встановлення області, обмеженої трьома лініями нерівності, у яку попадає і-та точка (б)

Підалгоритм реалізації розрахунку міцності за умовою зсувостійкості земляного полотна та шарів із мало зв'язних матеріалів мав наступні пункти:

1) перевірка приналежності вихідних даних до допустимого діапазону дійсних чисел (рис. 5а);

2) встановлення області, обмеженої трьома лініями нерівності, у яку попадає і-та точка (рис. 5);

3) більш точне знаходження тієї функції $E_{заг}/E_1$, яка проходить через вихідну точку методом лінійної інтерполяції (рис. 5).

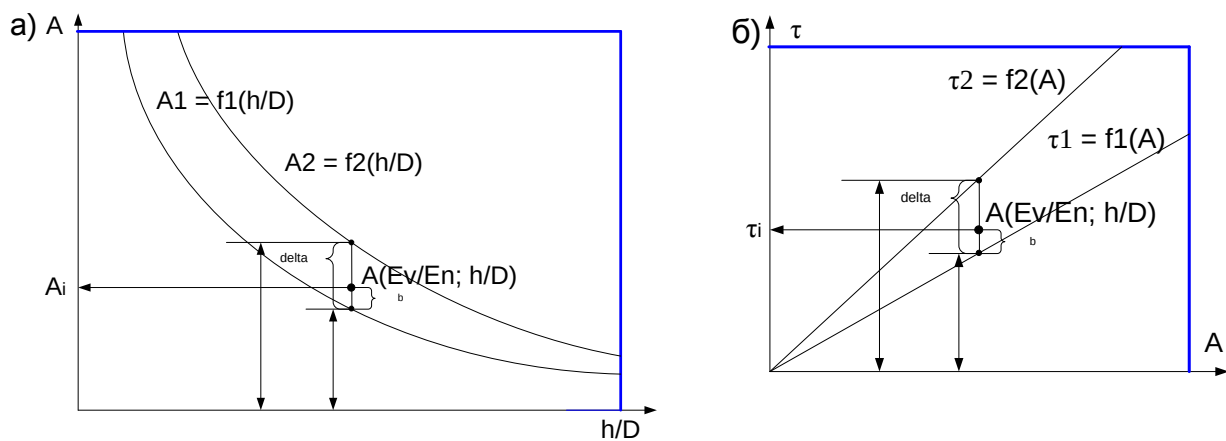


Рисунок 5 – Знаходження E_{zz}/E_1 : схема знаходження координати A_i (а); заміна вісі координат A на вісь абсцис τ (б)

Після алгоритмізації окремих розрахунків по кожному з них було створено підпрограми.

1. За результатами техніко-економічних вишукувань

1) Найменування дороги: Харків - Полтава 2) N20, автод. 6508 3) коеф. q 1,04

4) склад руху відсоток

Легкі вантажні автомобілі	Автомобілі з причепами
1 34 Легкові автомобілі Усього: 100	14 5 MAZ 533702-2120 + MAZ 8926-02
2 4 FIAT Ducato 14 2,8 D (S = 3,25 т)	15 2 ЗИЛ 130 + ГКБ 8328-01 (S = 17,53)
3 6 FORD Transit FT 150 2,5 D (S = 3,2)	16 4 SCANIA R114 4x2 340 + KRONE AD
4 4 IVECO Daily 35 S 12 V (S = 3,5 т)	17 KAMA3 5320 + ГКБ 8350 (S = 26,8)
5 5 ГАЗ 2705 "Газель" (S = 3,5 т)	
Середні вантажні автомобілі	Автомобілі з напівпричепами
6 6 DAF LF FA 45. 130-06 (S = 6,2 т)	18 2 MAZ 54323-028 + ППЦ 17 (S = 26,1)
7 4 MERCEDES-BENZ Vario 500-600 (S = 6,2 т)	19 3 MERCEDES-BENZ Actros 1840 + Ko
8 ЗИЛ 130 (S = 9,525 т)	20 2 KAMA3 5410 + СЗАП 9370-01 (S = 26,8)
9 ЗИЛ 130 (S = 9,525 т)	21 MAZ 504B + MAZ 5205A (S = 32,35)
Важкі вантажні автомобілі	Автобуси
10 3 MAN L2000 8.163 (S = 8 т)	22 3 БОГДАН А091 (S = 8,1 т)
11 3 VOLVO FL 616 (S = 16,5 т)	23 4 ЛАЗ 695 (S = 11,61 т)
12 4 ЗИЛ 133ГЯ (S = 17,84 т)	24 2 NEOPLAN N 117 Spaceliner (S = 18,5 т)
13 КрАЗ 6510 (S = 24,88 т)	25 ЛАЗ 699 (S = 13 т)

3. Для формування характеристик дорожнього одягу

1) категорія дороги: Iа, Iб, II, III, IV, V 2) навантаження: 115 кН (A1), 100 кН (A2), 60 кН (B) 3) колеса: один балон, спарені балони 4) тип дор. одягу: Капітальний (I - IV категорій) 5) строк служби дор. одягу (Тсл, роки) 12 6) коефіцієнт смуги (fсмуги) 0,55

2. Для формування характеристик ґрунту земполотна

1) дорожньо-кліматичний район: V III 2) номер дорожнього району: 9 3) тип місцевості за зволоженням: 2 4) ґрунт земполотна: Супинок легкий піщанистий 5) нижній шар конструкції дорожнього одягу: щільний, пористий 6) коефіцієнт КД: 1,5

4. Дорожній одяг

1) покриття

h, см	прогин, МПа	зсув, МПа	розтяг, МПа
1 5	3200	1800	4500
2 10	2000	1200	3600
3 8	2000	600	2800
4			

Рябд, МПа, км, кТ, м, кпр: 8, 0,75, 0,8, 4,3, 8,2

2) основа

h, см	прогин, МПа	зсув, МПа	розтяг, МПа
1 20	420	300	
2 20	120	180	
3 0	0	0	
4 0	0	0	
5 0	0	0	
6			
7			

Усього: 63 База даних Обновити

Рисунок 5 – Інтерфейс програми УКРРДО 14 (блок вихідних даних)

При вирішенні третьої задачі – об'єднання підпрограм зручним інтерфейсом, було поставлено мету – увесь розрахунок мати перед очима. Інтерфейс програми складається з блоку вихідних даних (вміщує 4 підблоки) (рис. 6), кнопки «Прикласти навантаження» та блоку результатів розрахунку

(також вміщує 4 підблоки). По кожному розрахунку є індикатор «задовільно» або «не задовільно» (рис. 7).

Прикласти навантаження

Результати розрахунків

1. Загальні результати	2. Пружний прогин
Розр. вологість $W_t = 0,6$	$E_{zag1} = 92,19 \text{ МПа}$
Прив. інтенсивність $N_p = 1753$	$E_{zag2} = 167,68 \text{ МПа}$
Кільк. розр. діб $Tr_{др} = 130$	$E_{zag3} = 244,49 \text{ МПа}$
Коефіцієнт $K_l = 1,38$	$E_{zag4} = 375,4 \text{ МПа}$
Коефіцієнт суми $K_c = 15,03$	$E_{zag5} = 0$
Сум. кільк. проїздів $\Sigma N_p = 2149288$	$E_{zag} = 452,03 \text{ МПа}$
Коефіцієнт $k_{NC} = 0,346150666$	$E_{потр} = 274$
Коефіцієнт $k_{Nф} = 0,267841066$	$E_{zag}/E_{потр} = 1,65$
Тиск у камерах, МПа $p = 0,6$	$K_{мц_прогин} = 1,33$
Діаметр штамп, см $D_D = 37$	задовільно
Модуль ґрунту, МПа $= 77$	
Кут внут. тертя, град $\varphi = 23$	
Коеф. зчеплення, МПа $C = 0,024$	

3. Опір зсуву	4. Опір розтягу
$E_v = 561,90476$	$h_v = 23$
$h/D = 1,7027$	$E_v = 3517,39$
$E_v/E_{гр} = 7,29746$	$E_n = 167,68$
$\phi N = 6,16034$	$h/D = 0,62162$
$\tau = 0,02579$	$E_v/E_{гр} = 20,9768$
$T = 0,01547$	$\sigma_{номогр} = 1,33$
$CN = 0,00831$	$\sigma = 0,8$
$T_{гр} = 0,02049$	$k_{kl} = 0,27618$
$T_{гр}/T = 1,32$	$R_p = 1,32566$
$K_{мц_зсув} = 1,4$	$R_p/\sigma = 1,657$
не задовільно	$K_{мц_розтяг} = 1,29$
	задовільно

Рисунок 5 – Інтерфейс програми УКРРДО 14 (блок результати розрахунків)

Література

1. <http://www.credo-dialogue.com/>
2. <http://www.getdata-graph-digitizer.com/ru/>
3. ВБН В.2.3-218-186-2004 Відомчі будівельні норми України. Дорожній одяг нежорсткого типу. – Чинний від 01.01.2004.

ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

УДК 666.972.16

Гамеляк І.П., д-р техн. наук, Шургая А.Г., Якименко Я.М., канд. техн. наук,
Чиженко Н.П., Карпюк О.А.

ПОРІВНЯННЯ СУЧАСНИХ ДОБАВОК ДЛЯ ВИСОКОМІЦНОГО ДОРОЖНЬОГО БЕТОНУ

Анотація. Стаття присвячена питанню отримання високоміцного дорожнього бетону за рахунок застосування комплексних добавок, які направлено впливають на його структуру і властивості. Наведено результати дослідження впливу комплексних добавок вітчизняного і зарубіжного виробництва на міцнісні і деформативні властивості високоміцного дорожнього бетону.

Об'єкт дослідження – високоміцний дорожній бетон.

Мета роботи – дослідити і провести порівняння комплексних добавок зарубіжного і вітчизняного виробництва на міцнісні і деформативні властивості дорожнього високоміцного бетону.

Метод дослідження: статистичний аналіз наукових видань, технічної та нормативної літератури.

Отримання дорожніх бетонів класів В40 і вище забезпечується при використанні вітчизняних матеріалів, за рахунок зниження водоцементного відношення до величини 0,28 – 0,35 і використанні комплексних хімічних добавок. Для вдосконалення конструкції цементобетонних покриттів пріоритетним є зниження товщини покриття за рахунок використання бетонів з більш високими показниками міцності – високоміцних дорожніх бетонів, при збереженні показників морозостійкості і одночасної економії цементу. Наведено результати експериментальних досліджень впливу комплексних добавок на границю міцності при стиску кубів, призм, модуль пружності, модуль деформації та границю міцності на розтяг при згині дорожнього бетону.

Ключові слова: високоміцний дорожній бетон, комплексні добавки, міцність, деформативність.

Аннотация. Стаття посвящена вопросу получению высокопрочного дорожного бетона за счет применения комплексных добавок, которые направленно воздействуют на его структуру и свойства. Приведены результаты исследования влияния комплексных добавок отечественного и зарубежного производства на прочностные и деформативные свойства высокопрочного дорожного бетона.

Объект исследования - высокопрочный дорожный бетон.

Цель работы - исследовать и провести сравнение комплексных добавок зарубежного и отечественного производства на прочностные и деформативные свойства дорожного высокопрочного бетона.

Метод исследования: статистический анализ научных изданий, технической и нормативной литературы.

Получение дорожных бетонов классов В40 и выше обеспечивается при использовании отечественных материалов, за счет снижения водоцементного отношения к величине 0,28 - 0,35 и использовании комплексных химических добавок для совершенствования конструкции цементобетонных покрытий приоритетным является снижение толщины покрытия за счет использования бетонов с более высокими показателями прочности - высокопрочных дорожных бетонов, при сохранении показателей морозостойкости и одновременной экономии цемента. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния комплексных добавок на предел прочности при сжатии кубов, призм, модуль упругости, модуль деформации и предел прочности на растяжение при изгибе дорожного бетона.

Ключевые слова: высокопрочный дорожной бетон, комплексные добавки, прочность, деформативность.

Annotation. The article is devoted to obtaining high concrete road through the use of complex additives directed influence its structure and properties. The results of the

study of the effect of additives complex domestic and foreign production on strength and deformation properties of high-strength concrete road.

The object of study - high concrete road. Purpose - to investigate and to compare complex additives foreign and domestic production on strength and deformation properties of high-strength concrete road. Method: statistical analysis of scientific publications, technical and normative literature. Receive road concrete class B40 and above is provided using local materials by reducing the water-cement ratio to a value of 0.28 - 0.35 and complex use of chemical additives for improving the design of cement coatings priority is to reduce the thickness of the coating by the use of concrete with higher rates strength - high strength concrete road, while maintaining performance and simultaneous frost saving cement. The results of experimental studies of the effect of additives on integrated border compressive strength of cubes, prisms, modulus of elasticity, deformation modulus and tensile strength limit of flexural concrete road.

Keywords: high road concretes, complex additives, strength, deformability

Постановка проблеми

В останні роки за кордоном почали частіше застосовувати високоміцні бетони (клас по міцності на стиск не нижче B50). При одній і тій же товщині плити застосування високоміцних бетонів дозволить суттєво підвищити строк служби цементобетонного покриття [1 – 3].

Одним із досягнень останніх років в технології дорожніх бетонів в Україні є використання бетонів класу B40 [2].

Високоміцний дорожній бетон – це бетон, міцність якого на розтяг при згині більше 5,5 МПа (клас по міцності на розтяг при згині більше ніж B_{btb} 4,4) [1, 2].

Для отримання таких бетонів слід використовувати високоактивні за міцністю на розтяг при згині портландцементи. Мезо- і макроструктура повинні характеризуватися оптимальним коефіцієнтом розсунення зерен.

Проектування складу високоміцного дорожнього бетону виконується відповідно [3].

Значення В/Ц для високоміцних бетонів при активності цементу на розтяг при згині $\geq 6,0$ МПа (М500) має бути $\leq 0,33$. А це в свою чергу призводить до того, що при звичайній водопотребі бетонна суміш високоміцного бетону відрізняється значно вищим вмістом цементу (більше 400 кг/м^3). До того ж такий вміст цементу порушує закономірності постійності водопотреби бетонної суміші, водопотреба бетонної суміші з низьким В/Ц збільшується, збільшуючи відповідно вміст цементу. Тому, для одержання високоміцних дорожніх бетонів слід застосовувати ефективні комплекси суперпластифікаторів з повітрявтягуючими або газоутворюючими добавками з водоредукуючим ефектом більше 25 %, що дозволяє значно зменшити витрату цементу та В/Ц і призводить до зменшення капілярної пористості та підвищення морозостійкості і довговічності цементобетону.

Правильно поєднуючи типи і кількісні співвідношення добавок можна направлено регулювати структуру та фізико-механічні властивості цементного каменю і бетону.

Мета роботи. Провести порівняння комплексних добавок зарубіжного та вітчизняного виробництва на міцнісні і деформативні властивості дорожнього високоміцного бетону (В50 Р1 F200 W10).

Об'єкт досліджень. Склад цементобетону з комплексною добавкою. Під час проведення досліджень використовували наступні матеріали: портландцемент Кам'янець-Подільський – ПЦ І – 500 Р-Н (350 кг); пісок річковий – $M_{кр} = 1,4$, насипна щільність – 1551 кг/м^3 (730 кг); щебінь гранітний фракції 5-10 мм – насипна щільність 1430 кг/м^3 , середня щільність 2583 кг/м^3 , пустотність – 44,5%, (360 кг); та фракції 10-20 мм – насипна щільність 1380 кг/м^3 , середня щільність 2571 кг/м^3 , пустотність – 46,3%, (840 кг).

Основна частина

Отримання дорожніх бетонів класів В40 і вище забезпечується при застосуванні вітчизняних матеріалів, за рахунок зниження В/Ц до величини 0,28 – 0,35 і використанні комплексних хімічних добавок (повітрявтягуючих і пластифікуючих) [10]. На базі лабораторії «Мостозагону №112», ПП «АЛІОНІ» розроблено комплексну добавку для дорожнього бетону Д2. До складу комплексної добавки входять: суперпластифікатор, пластифікатор,

гідрофобізатор, піногасник і аерант. Застосування аеранта обумовлено тим, що обсяг залученого повітря в цементобетонній суміші для одношарових та верхнього шару двошарових покриттів повинен забезпечуватися на рівні 5-7%, для нижнього шару двошарових покриттів 3-5% [7]. Завдяки направленому підбору компонентів і їх співвідношенню комплексна добавка забезпечує рухомість бетонної суміші не менше 120 хв, а також суттєве зростання показників міцності, водонепроникливості та морозостійкості.

Проведено порівняння даної добавки із комплексною добавкою, яка складається із суперпластифікатора і аеранта зарубіжного виробництва Д1.

Підбір складу цементобетону виконували згідно з методикою наведеною в роботі [4].

Осідання конуса в обох випадках склало 4,5 см, вміст залученого повітря біля 4 %.

Виконувалися дослідження по впливу даних добавок на фізико-механічні показники цементобетону. Визначалися наступні показники: середня щільність, міцність на стиск, призмova міцність, модуль пружності, модуль деформації, міцність на розтяг при згині, водонепроникливість, морозостійкість.

Функція розподілу середньої щільності бетонних зразків найкраще описується законом Пірсона типу I такого виду (рис. 1) [9].

$$\tilde{n}_j = \tilde{n}_0 \left(1 + \frac{x}{l_1}\right)^{q_1} \left(1 + \frac{x}{l_2}\right)^{q_2}, \quad (1)$$

де q_1, q_2 – показники форми; l_1, l_2 – параметри масштабу; $\tilde{n}_0$ – частота.

де $q_1 = 14,57$; $q_2 = 7,48$; $l_1 = 13,28$; $l_2 = 6,82$.

Середнє значення щільності бетону на різних добавках практично співпадає 2,387 г/см³ з добавкою Д1 та 2,393 г/см³ з добавкою Д2.

Результати випробування цементобетонних зразків кубів 100х100х100 на стиск згідно з [5] наведено на рис. 2. Швидкість навантаження прийнята 0,6 МПа/с.

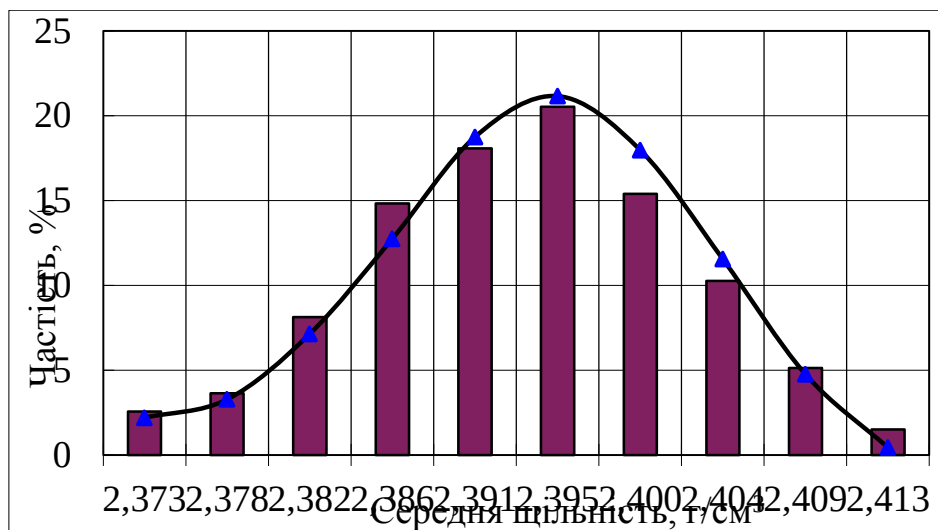


Рисунок 1 – Розподіл середньої щільності за результатами гідростатичного зважування

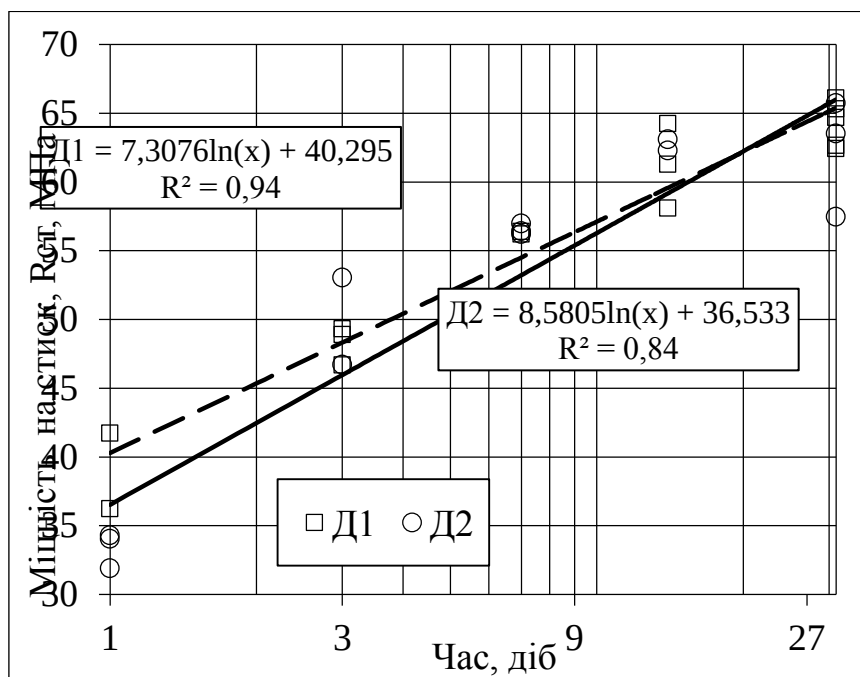


Рисунок 2 – Порівняння результатів випробування на стиск з різними добавками

За результатами випробування на стиск міцність зразків з використанням добавки Д1 мають на 1 добу твердіння дещо більшу міцність, але на 3-28 добу практично однакова і становить 64,24 та 64,18 МПа відповідно. Коефіцієнт варіації має такі значення: 2,53% для добавки Д1 та 8,15% для добавки Д2;

На рис.3 наведена діаграма “напруження відносна деформація” при випробуванні зразків – кубів на стиск в процесі тверднення. Зміна модуля деформації наведена на рис. 4.

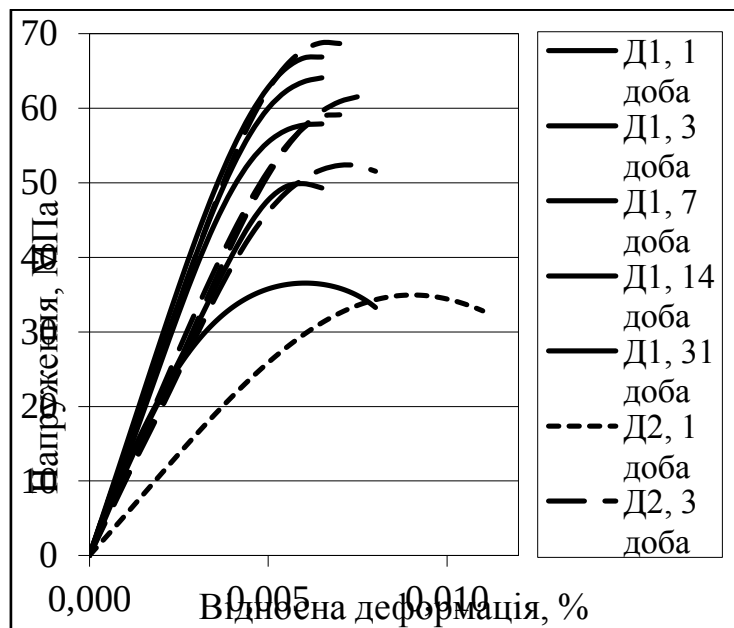


Рисунок 3 – Діаграма “напруження відносна деформація” зразків – кубів з різним часом твердіння

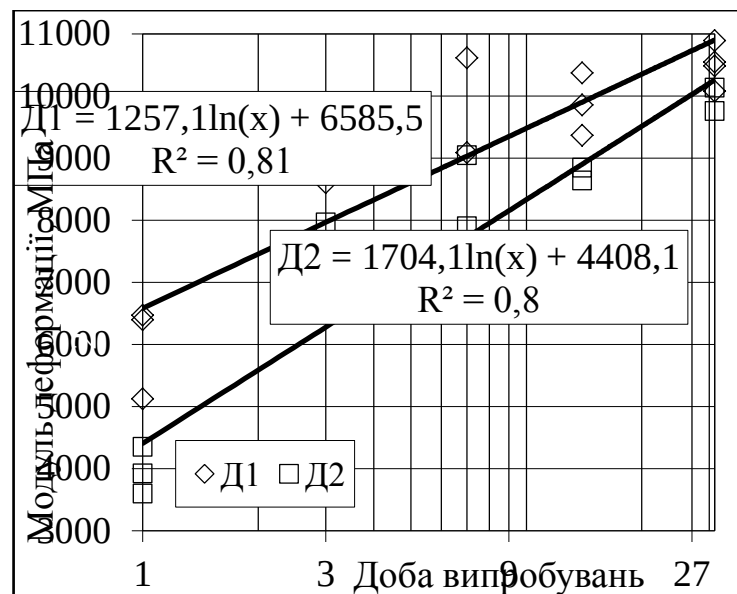


Рисунок 4 – Результати визначення модуля деформації

Аналіз рис. 3 та 4 підтверджує логарифмічну залежність зміни міцності та модуля деформації в процесі тверднення.

На рис. 5 наведено результати випробувань зразків призм на стиск згідно з [6]. Зразки – призми при випробуванні на стиск руйнуються під кутом 70° – 80° (рис. 6), по площині максимальних дотичних напружень.

Для розрахунку конструкцій дорожнього одягу жорсткого типу необхідно мати достовірні дані про розрахункові характеристики цементобетону: міцність на розтяг при згині, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона та показник витривалості [7].

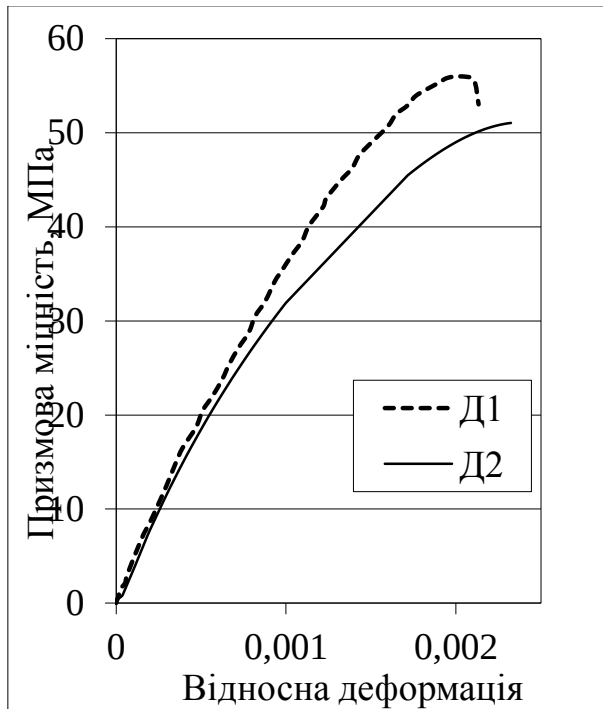


Рисунок 5 – Діаграма “напруження відносна деформація” при випробуванні зразків призми



Рисунок 6 – Характерне руйнування зразка – призми

Міцність і деформативність дорожнього бетону на розтяг при згині – це властивості, які визначають їх тріщиностійкість, витривалість та довговічність. Модуль деформації залежить від фізико-механічних властивостей заповнювачів та їх кількісного вмісту в суміші.

За результатами розрахунків, наведених в [8], збільшення міцності бетону призводить до значного зменшення товщини плити і дозволяє відмовитися від армування.

Випробування на розтяг при згині виконувалося згідно з [5]. Швидкість навантаження – 0,04 МПа/с.

Для вимірювання величини прогину використовувалась рамка, на якій кріпиться індикатор годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм. Рамка встановлюється по середині зразка (на нейтральній осі) відносно вертикальної площини і закріплюється над опорами (рис. 7).

За результатами, отриманими при випробуванні, були осереднені дані деформації та напруження (рис. 8) для визначення модуля пружності і модуля деформації (рис. 9).

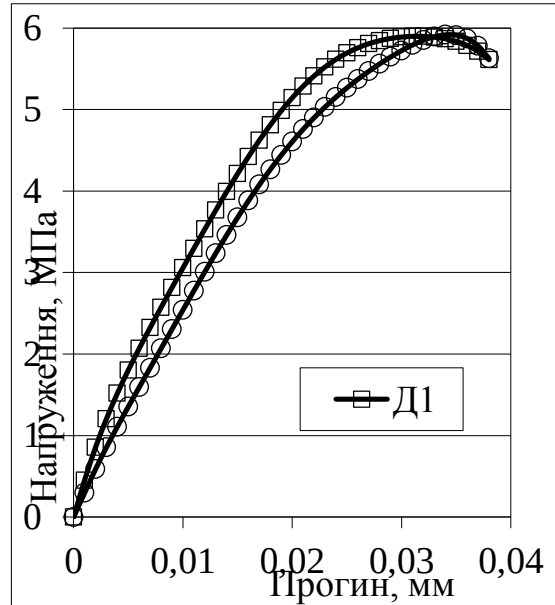


Рисунок 7 – Загальний вигляд при випробуванні цементобетонної призми на розтяг при згині

Рисунок 8 – Діаграма “напруження деформація”

За результатами випробування на стиск зразків призм: міцність, модуль пружності та модуль деформації відповідно складають для Д1: 56,06 МПа, 42147 МПа та 27675 МПа, для Д2: 50,86 МПа, 38975 МПа та 21615 МПа;

Розрахункове значення міцності на розтяг при згині становить:

$$B_{btb} = R_{cp} \cdot (1 - 1,64 \cdot C_v / 100), \quad (2)$$

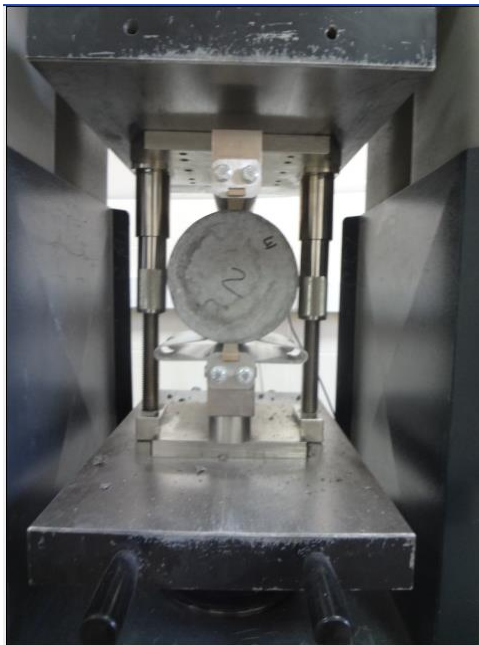
де R_{cp} - середнє значення міцності на розтяг при згині,

C_v - коефіцієнт варіації міцності на розтяг при згині.

За даними випробувань отримується:

$$B_{btb} = 5,90 \cdot (1 - 1,64 \cdot 6,98 / 100) = 5,22 \text{ МПа. (Д1);}$$

$$B_{btb} = 5,99 \cdot (1 - 1,64 \cdot 7,84 / 100) = 5,22 \text{ МПа. (Д2).}$$



а)



б)

Рисунок 9 – Загальний вигляд обладнання при випробуванні на: а) розтяг при розколі та б) визначенні модуля пружності

Модуль пружності цементобетону при випробуванні на розтяг при згині з добавкою Д1 більший і складає 41054 МПа, а модуль пружності цементобетону з добавкою Д2 дещо менший і складає 39189 МПа, модуль деформації відповідно 27858 МПа та 26206 МПа, тобто слід очікувати, що цементобетон з вітчизняною добавкою Д2 має більшу тріщиностійкість;

За результатами випробування на розтяг при згині бетонних балок міцність зразків з використанням добавок Д1 та Д2 практично однакова і становить 5,95 та 5,99 МПа відповідно. Коефіцієнт варіації також має близькі значення: 6,87 % для добавки Д1 та 7,84% для добавки Д2, тому клас міцності бетону становить B_{btb} 5,2.

Результати випробування цементобетону на різних добавках та порівняння з наступними залежностями [11 – 13], зведені в табл. 1.

$$R_{p.u.} = 0,08 \cdot (10 \cdot R_{сж})^{2/3}, \quad (3)$$

$$R_{p.p.} = 0,055 \cdot (10 \cdot R_{сж})^{2/3}, \quad (4)$$

$$R_{np.} = 0,783 \cdot R_{сж}, \quad (5)$$

$$E = \frac{52000 \cdot R_{сж}}{23 + R_{сж}}, \quad (6)$$

де: $R_{сж}$ – міцність на стиск бетону;

$R_{р.и.}$ – міцність на розтяг при згині бетону;

$R_{р.р.}$ – міцність на розтяг при розколі бетону;

$R_{пр.}$ – призмova міцність бетону;

E – початковий модуль пружності бетону.

Таблиця 1 – Порівняння результатів випробувань

Характеристика		Добавки	
		Д1	Д2
Середня густина, г/см ³		2,387	2,393
Міцність на стиск, МПа	1 доба	36,64	33,23
	3 доба	48,30	48,39
	7 доба	56,21	57,25
	14 доба	60,66	60,20
	31 доба	63,60	63,98
	1 доба	36,64	33,23
Міцність на стиск призми, МПа		56,06 (49,80*)	50,86 (50,10*)
Міцність на розтяг при згині (31 доба), МПа		5,90 (5,92*)	5,99 (5,94*)
Міцність на розтяг при розколі (31 доба), МПа		4,16 (4,07*)	4,22 (4,08*)
Модуль пружності МПа, визначений	при стиску призм	41298 (38189*)	39189 (38249*)
	при згині	41054	38484
Модуль деформації визначений при стиску кубів, МПа	1 доба	5994	3956
	3 доба	8503	7254
	7 доба	9848	8120
	14 доба	9861	8208
	31 доба	10634	10364
Модуль деформації визначений, МПа	при стиску призм	30669	28790
	при згині	27858	26206
Примітка: * Значення показників пораховані за формулами 3 – 6.			

Висновки

Використання високоміцних бетонів дозволяє збільшити строк експлуатації конструкцій цементобетонних покриттів або досягти значної економії матеріалів за рахунок меншої товщини плити.

Отримано дорожній високоміцний бетон B50 B_{btb}5,2 P1 F200 при витраті цементу 350 кг/м³, добавки 1,1 % від маси цементу, за рахунок направленої, поліфункціональної дії комплексних добавок на властивості і структуру бетону, коли вплив комплексної добавки перевищує вплив окремих складових добавки.

За результатами випробування при порівнянні впливу комплексних добавок Д1 та Д2 на міцнісні і деформативні властивості дорожнього бетону встановлено, що обидві добавки показали практично однакові результати за щільністю, міцністю на стиск та міцністю на розтяг при згині, призмовою міцністю, міцність на розтяг при розколі, початковий модуль пружності та модуль деформації.

Література

1. Файнер М.Ш. Высокопрочный бетон. – Черновцы.: Рута 2007. – 124 с.
2. Шейнин А.М. Цементобетон для дорожных и аэродромных покрытий. – М.: Транспорт, 1991. С. – 151.
3. ГОСТ 27006-86 Бетоны. Правила подбора состава.
4. Сканделидзе А.А. Новый способ рационального проектирования высокопрочных бетонов марок 500-1000. – Тбилиси, 1978.
5. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.
6. ДСТУ Б В.2.7-217:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення призмової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона.
7. ВБН В.2.3.-218-008-97 Проектування і будівництво жорстких та з жорсткими прошарками дорожніх одягів. – К.: Укравтодор, 1997. – 218 с.
8. Гамеляк І.П. Про ефективність використання високоміцного цементобетону для будівництва жорстких покриттів // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К.: НТУ, 2011. – Вип. 81. – С. 30.
9. ДСТУ Б В.2.7-170 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності.
10. Чистяков В.В. Модифицированные цементобетоны для покрытия дорог / А.Г. Шургая, Ю.М Дорошенко, Н.П. Чиженко Н.П. // Строительные материалы, изделия и санитарная техника. – 2012. – Вып. № 43. – С. 212.
11. Пунагин В.Н. Основы проектирования состава бетона // Ташкент: Узбекистан, 1983.– 152 с.
12. Дворкин О.Л., Дворкин Л.И., Горячих М.В. и др. Проектирование и анализ эффективности составов бетона. – Ровно.: – 2008. – 177 с.
13. Высокопрочный бетон. – Под ред., д.т.н. Берга А.Я. – М.: Стойиздат, 1971. – 209 с.

Мустяца О.Н., канд. хім. наук, Лисін В.І., канд. хім. наук,
Коваленко І.В., канд. хім. наук

ОЧИСТКА ПРИРОДНЫХ ГРАФИТОВ ДЛЯ ОДЕРЖАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ДОРОЖНО-БУДИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Анотація. Розроблена методика хімічної очистки природних графітів з різною мінералізацією домішок в них. Були застосовані два варіанти методу очистки: чисто кислотний в суміші концентрованих нітратної, хлоридної і фторидної кислот і кислотно-лужний з послідовною обробкою графіту кислотою і лугом. Величина зольності очищеного графіту коливається в межах 0,01 – 0,03%. Показана перспективність хімічного методу очистки графіту і його застосування як електропровідної добавки при створенні композиційних дорожньо-будівельних матеріалів.

Ключові слова: графіт, хімічна очистка, зольність, композитні матеріали.

Аннотация. Разработана методика химической очистки природных графитов с различной минерализацией примесей в них. Были применены два варианта метода очистки: чисто кислотный в смеси концентрированных нитратной, хлоридной и фторидной кислот и кислотнo-щелочной с последовательной обработкой графита кислотой и щелочью. Величина зольности очищенного графита колеблется в пределах 0,01 – 0,03%. Показана перспективность химического метода очистки графита и его применения как электропроводной добавки при создании композиционных дорожно-строительных материалов.

Ключевые слова: графит, химическая очистка, зольность, композитные материалы.

Annotation. The chemical method of natural graphite with different mineralization of impurities in it was developed. Two variants of purification were applied: acidic in mixture of concentrated nitric, chloride and fluoride acids and acid-alkaline with

consequent graphite treatment by acid and alkali. The ash of purified graphite is in limits 0,01 – 0,03%. The perspectivity of chemical method for graphite purification and its implementation as electroconductive additive in creation of composite highway-constructive materials was shown.

Key words: graphite, chemical purification, ash, composite materials.

Вступ

Унікальні властивості графіту і його сполук привертають увагу широкого кола науковців і інженерів – хіміків, фізиків, матеріалознавців. Зацікавленість обумовлена високою хімічною, електрохімічною і термічною стійкістю цих матеріалів, можливістю одержання їх в дисперсній і компактній формі, доступністю і низькою вартістю вихідної сировини.

На сьогоднішній день вирішені певні проблеми хімії поверхні завдяки чому графіт знаходить все більш широке застосування, зокрема при створенні нових композиційних матеріалів, що мають унікальні властивості.

В багатьох розвинутих країнах останнім часом графіт знаходить своє використання як електропровідна домішка в непровідних дорожньо-будівельних матеріалах. Пропускаючи невеликий електричний струм через подібні композитні системи, добиваються підвищення температури дорожніх покриттів з метою видалення надлишкової вологи з них. В зимовий період це дозволяє уникнути використання сольово-піщаних сумішей, які є дуже корозійно небезпечними для автомобільного транспорту.

Застосування графіту як компонента в дорожньо-будівельних композитах є актуальним для України, яка займає перше місце по покладах природних графітів в Європі (Заваллівське родовище Кіровоградської області).

Однією з проблем одержання високочистих (а, отже, з низьким питомим опором) графітів є розробка простих і дешевих методів їх очистки.

В США подібну проблему розв'язують випаленням домішок графітів при температурах 3000 – 3500 °С в інертному середовищі аргону. Така технологія є дуже енергоємною і тому високовартісною.

В зв'язку з викладеним вище актуальною є розробка хімічних низькотемпературних методів очистки природного графіту.

Результати досліджень та їх обговорення

Дослідженнями стійкості графітів в кислих середовищах встановлено наступне:

- з підвищенням ступеню графітизації, підвищенням густини і дрібно зернистого графітового матеріалу міцнісні властивості його значно понижуються при дії 93% сульфатної кислоти з домішкою окиснювача (HNO_3);
- високою стійкістю в концентрованій H_2SO_4 при температурах до $125\text{ }^\circ\text{C}$ відрізняються графіти з густиною нижче $1,85\text{ г/см}^3$, які не мають високого ступеню графітизації і містять великозернистий вуглецевий наповнювач;
- графітові матеріали з упорядкованою кристалічною структурою і густиною більше $1,85\text{ г/см}^3$ розтріскуються під дією 93% сульфатної кислоти при $125\text{ }^\circ\text{C}$;
- вуглеграфітові матеріали на основі термореактивних полімерних наповнювачів і зв'язуючого відрізняються високою стійкістю до суміші сульфатної і нітратної кислот [1].

Корозійна стійкість графітів зменшується в ряду пірографіт, скловуглець, вуглеситал, графіт МПГ – 6, графіт ПГ – 50.

Основними домішками в природних графітах, як показали дослідження, проведені в даній роботі, складають сполуки кремнію, алюмінію, магнію, кальцію, заліза та інших важких металів. З метою їх вилучення в роботі здійснювались два підходи: 1) чисто кислотна обробка природних графітів з використанням суміші концентрованих кислот – 1 об. HNO_3 : 3 об. HF ; 1 об. HNO_3 : 1,5 об. HF : 1,5 об. HCl ; 2) послідовна кислотно-лужна обробка з використанням на першій стадії очистки концентрованої HCl , на другій – NaOH , на третій – 40% розчин HNO_3 .

Кислотно-лужний метод очищення проводився з графітом марки ГЛ – 1, що мав початкову зольність приблизно 10%. Методами оптичної мікроскопії (в проникаючому та відбитому світлі), скануючої електронної мікроскопії та рентгенівського аналізу проводилось дослідження структури мінеральних домішок на різних стадіях очистки графіту з використанням гідроксиду натрію. Обробка графіту гідроксидом натрію здійснювалась в 20% розчині NaOH і при

спіканні графіту з лугом (500 °C) після попередньої обробки зразків концентрованою хлоридною кислотою. Використання NaOH для очистки графіту обумовлене тим, що луг добре розчиняє діоксид кремнію, вилучення якого можна ще здійснювати лише фторидною кислотою, що суттєво погіршує екологію процесу.

Крім зразків графіту ГЛ – 1 аналогічним шляхом були очищені графіти марок ГП – 1, ГАК – 1 Заваллівського родовища.

Дані структурного аналізу неочищеного графіту дозволили зробити ряд висновків: 1) розмір частинок забруднювача знаходиться в діапазоні від часток мікрметра до сотень мікрметрів. Форма їх різноманітна (від трьохмірної до тонких пластин); 2) поверхня мінеральних частинок може бути як частково або повністю відкрита, так і закритою шарами графіту.

Дослідження графітів після кислотно-лужної обробки, а також дослідження їх зольних залишків показали: 1) у вивчених режимах обробки не вдається повністю перевести в розчинний стан великі мінеральні частинки домішок; 2) в зольному залишку присутні тонкі мінеральні пластинки, які, на наш погляд, знаходились між графітовими шарами і були недоступні для реагентів (кислоти, лугу); 3) в деяких випадках зольного залишку спостерігались дрібні кристали і частинки силікатів сферичної форми. Тому для зменшення зольності очищених графітів було здійснено попередній прогрів графіту (до 300 °C) перед кожною стадією обробки миючим реагентом. У випадку закапсульованої в графіті домішки за рахунок різного коефіцієнту термічного розширення домішки і графіту-капсули при різкому охолодженні після прогріву графіту відбувається розтріскування зерен і полегшується проникнення до забруднюючої домішки реагентів очистки. Крім того, для інтенсифікації процесу очистки перед кожною стадією здійснювалось вакуумування суспензії графіту в розчинах реагентів, що покращувало проникнення розчинів кислот і лугів в пори графітової матриці.

Чистота фільтрату після відмивки графіту від кислот і лугу контролювалась кондуктометрично.

Одержана зольність зразків коливалась від 0,01 до 0,03%, що суттєво менше зольності (0,05%), одержаної з використанням високотемпературного випалювання графіту в середовищі аргону.

Приблизний економічний розрахунок показав, що вартість очищеного хімічним шляхом графіту на порядок нижча вартості графіту, очищеного при високих температурах.

Попередні обнадійливі результати по хімічній очистці вітчизняних природних графітів привели до думки використати хімічну технологію очистки для графітів інших родовищ. З цією метою була проведена кислотна очистка графітів канадських родовищ, в яких присутня інша мінералізація домішок.

Як агресивне середовище для очистки була обрана суміш концентрованих нітратної і фторидної, а також суміш нітратної, хлоридної та фторидної кислот. Результати аналізу неочищеного та очищеного графітів наведені в табл. 1 і 2.

Таблиця 1 -Результати аналізу неочищеного графіту

Забруднюючий елемент	Неочищений графіт		
	Марка “Drill composite + 48 mesh” (ppm)	Марка “Bulk composite + 48 mesh” (ppm)	Марка “Bulk composite - 200 mesh” (ppm)
Si	2200	2850	3800
Al	1150	1550	2100
K	500	550	850
Mg	700	850	910
Ca	650	800	1150
Ti	35	40	70
V	55	65	120
Cr	5	10	10
Mn	20	25	45
Fe	1650	2750	5450
Ni	10	5	10
Cu	80	75	160
Zn	60	70	155
Mo	550	500	550
W	5	10	10

Результати досліджень оформлені трьома патентами України на винахід [2-4].

Таблиця 2 - Результати аналізу очищеного графіту

Очищений графіт		Марка “Bulk composite + 48 mesh” оброблений двома кислотами	Марка “Drill composite + 48 mesh” оброблений двома кислотами	Марка “Bulk composite + 48 mesh” оброблений трьома кислотами	Марка “Bulk composite - 200 mesh” оброблений трьома кислотами
Графіт, %		99,97	99,94	99,98	99,91
Зольний залишок, %		0,03	0,06	0,02	0,09
Забруднюючий елемент, %	Si	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
	Al	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
	K	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
	Mg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
	Ca	3,73	4,22	4,31	1,41
	Ti	0,26	0,36	0,42	0,14
	V	0,12	0,12	0,31	0,12
	Cr	0,47	0,37	0,10	0,10
	Mn	0,06	0,08	0,03	0,03
	Fe	86,31	84,12	26,01	12,62
	Ni	0,15	0,18	0,05	0,04
	Cu	0,10	0,10	0,06	0,07
	Zn	0,45	0,47	0,75	0,51
	Mo	7,94	9,15	65,01	81,39
	W	0,24	0,13	1,71	1,88

Висновки

1. Доведена перспективність хімічного методу очистки природних графітів.
2. Якість очистки не залежить від розміру зерна графіту і мінералізації домішок.
3. Очищені графіти можуть бути використані при створенні композиційних матеріалів в дорожньому будівництві як електропровідна домішка.

Література

1. Черныш И.Г. Физико-химические свойства графита и его соединений / Черныш И.Г., Карпов И.И., Приходько Г.П., Шай В.М. – К.: Наукова думка, 1990. – 200 с.
2. Патент 56888 Україна. Спосіб хімічної очистки графіту. Від 25.01.2011 р.
3. Патент 96846 Україна. Спосіб хімічної очистки графіту. Від 12.12.2011 р.
4. Патент 98691 Україна. Спосіб хімічної очистки графіту. Від 11.06.2012 р.

Онищенко А.М., канд. техн. наук, Невінгловський В.Ф., Різніченко О.С.,
Аксёнов С.Ю.

МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЛІНІЙНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ДЕФОРМУВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Анотація. У статті наведено методику та результати визначення коефіцієнта лінійного температурного деформування асфальтобетону

Ключові слова: асфальтобетон, лінійне температурне деформування, граничні напруження.

Аннотация. В статье приведена методика и результаты определения коэффициента линейного температурного деформирования асфальтобетона

Ключевые слова: асфальтобетон, линейное температурное деформирование, предельные напряжения.

Annotation. The article presents the methodology and results of the determination of the coefficient of linear thermal deformation of asphalt

Keywords: asphalt concrete, linear temperature deformation, strain limits.

Вступ

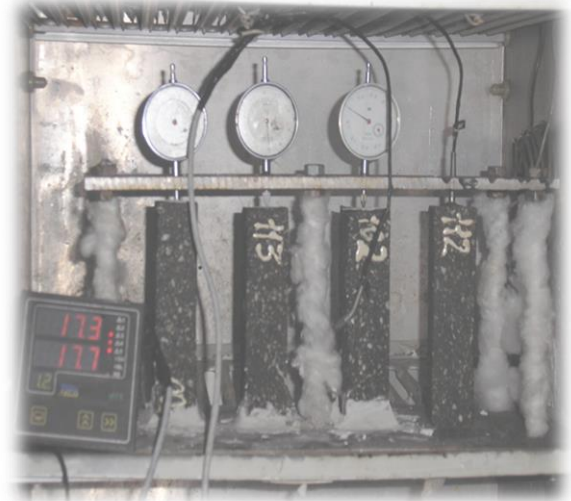
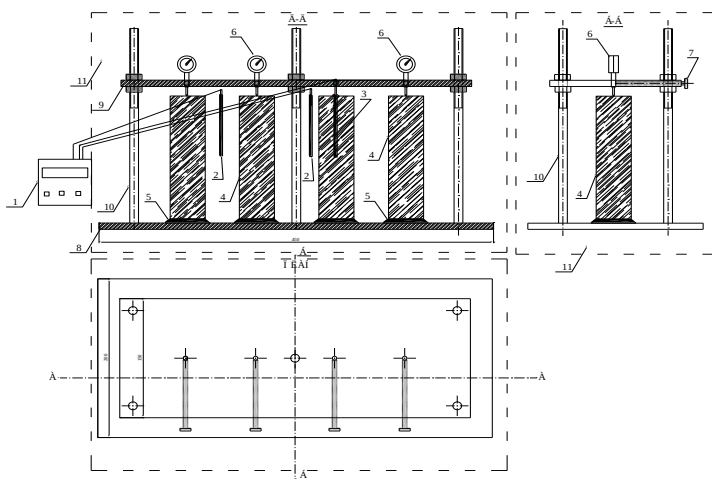
Температурні тріщини часто спричиняють виникнення інших руйнувань. Внаслідок появи різних деформувань відбувається передчасний ремонт асфальтобетонного покриття і зменшується його загальний термін служби. Однією з основних характеристик, яка дозволяє оцінювати тріщиностійкість асфальтобетону є коефіцієнт лінійного деформування асфальтобетону [1-4].

Визначення коефіцієнта лінійного температурного деформування

Коефіцієнт лінійного температурного деформування визначали на пристрої, показаному на рис. 1, згідно з методикою Г.К. Сюньї і Ю.Є.Нікольського [1, 2].

Суть цієї методики полягає в тому, що зразок 4 кріпили до нижньої плити 8 за допомогою алебастру 5, на верхній плиті 9 закріплювали індикатор годинникового типу 6 для вимірювання лінійної деформації зразка. Для фіксування температури охолодження і нагріву асфальтобетонного зразка, через 24 години після формовки у його торці висвердлювали отвір діаметром 4 мм, в отвір занурювали кінець термопари на глибину 60 мм. Другий кінець термопари кріпили поруч із зразками для фіксування температури в морозильній камері.

Зразки з приладом розміщували в термокамері і охолоджували до температури -20°C . Встановлювали початкову температуру і брали початковий відлік за індикатором.



1 - п'яти-канальний вимірювач температури; 2 - термоперетворювач опору; 3 - термоперетворювач опору в зразку; 4 - зразок; 5 - алебастр; 6 - індикатор годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм; 7 - гвинт; 8 - нижня плита прибору; 9 - верхня плита прибору; 10 - стійка; 11 - морозильна камера

Рисунок 1 - Прилад для визначення коефіцієнта лінійного температурного деформування α

Коли температура зразка досягла -20°C , заморожування припиняли і нагрівали зразок до температури $+20^{\circ}\text{C}$. При кожній заданій температурі зразки термостатували 15 хвилин, після цього брали відлік за індикатором. При обчисленні коефіцієнта лінійного температурного деформування використовували відому формулу (1) [1-4], враховуючи температурне деформування вертикальних стійок приладу:

$$\alpha = \frac{(n_1 - n_2)}{l(T_1 - T_2)} + \alpha_{CT}, \quad (1)$$

де n_1 та n_2 – відліки по індикатору (мм) відповідно при температурах T_1 і T_2 ;

l – довжина зразка (мм);

α_{CT} - коефіцієнт температурного деформування стійки штатива [1, 2].

Розтягуючі температурні напруження в асфальтобетоні визначали за наступною формулою:

$$\sigma_T = \alpha_{a\bar{b}} \cdot \Delta T_{a\bar{b}} \cdot E_{a\bar{b}}, \quad (2)$$

де $\alpha_{a\bar{b}}$ – коефіцієнт лінійного деформування асфальтобетону,

$\Delta T_{a\bar{b}}$ – приріст температури, °C;

$E_{a\bar{b}}$ – модуль пружності асфальтобетону при часі дії навантаження 0,1 с, МПа.

Результати визначення коефіцієнта лінійного температурного деформування

Для дослідження використовувались асфальтобетони типів Б-10, Б-20, Г, які відповідали вимогам [5] та ЩМА-10, ЩМА-20, які відповідали вимогам [6]. Асфальтобетонні суміші готували на бітумі марки БНД 60/90, а також на бітумі модифікованому катіонним полімерним латексом Butonal NX4190 з різною його кількістю (2, 4 і 6 %) від маси бітуму.

Коефіцієнт лінійного температурного деформування визначався за методикою, що описана вище. Під час проведення випробувань використовувався прилад показаний на рис. 1. Результати досліджень обраховувались за залежністю (1). Результати обрахунків для досліджуваних асфальтобетонів наведені в таблиці 1. Для наведених асфальтобетонів визначався модуль пружності (табл. 2) та розтягуючі температурні напруження за формулою (2).

Таблиця 1 – Результати визначення коефіцієнта лінійного розширення досліджуваних асфальтобетонів

Шифр асфальтобетону	Коефіцієнт лінійного розширення ($\alpha_t \cdot 10^{-5}$) в інтервалі температур, $^{\circ}\text{C}^{-1}$				
	20	10	0	-10	-20
Г-7,5%	3,3	3,35	3,45	3,6	3,32
Г-8,0% - 60/90+2%	2,75	2,82	2,88	3,02	2,8
Г-8,0% - 60/90+4%	2,32	2,38	2,48	2,55	2,35
Г-8,0% - 60/90+6%	1,7	1,73	1,78	1,82	1,75
Г-7,7% - 60/90+3% сум.	2,52	2,6	2,67	2,74	2,58
Г-7,7% - 60/90+6% сум.	1,9	1,98	2,07	2,12	1,96
Б10-6,0%	3,20	3,25	3,35	3,49	3,22
Б10-6,2% - 60/90 +2%	2,67	2,74	2,79	2,93	2,72
Б10-6,2% - 60/90 +4%	2,25	2,31	2,41	2,47	2,28
Б10-6,2% - 60/90 +6%	1,65	1,68	1,73	1,77	1,70
Б10-6,1% - 60/90 +3% сум.	2,44	2,52	2,59	2,66	2,50
Б10-6,1% - 60/90 +6% сум.	1,84	1,92	2,01	2,06	1,90
Б20-6,0%	3,14	3,18	3,28	3,42	3,16
Б20-6,3% - 60/90 +2%	2,61	2,68	2,74	2,87	2,66
Б20-6,3% - 60/90 +4%	2,21	2,26	2,36	2,42	2,23
Б20-6,3% - 60/90 +6%	1,62	1,64	1,69	1,73	1,66
Б20-6,2% - 60/90 +3% сум.	2,40	2,47	2,54	2,60	2,45
Б20-6,2% - 60/90 +6% сум.	1,81	1,88	1,97	2,02	1,86
Щ10-6,5%	2,95	2,99	3,08	3,22	2,97
Щ10-6,8% - 60/90 +2%	2,46	2,52	2,57	2,70	2,50
Щ10-6,8% - 60/90 +4%	2,07	2,13	2,17	2,23	2,08
Щ10-6,8% - 60/90 +6%	1,52	1,55	1,59	1,63	1,56
Щ10-6,7% - 60/90 +3% сум.	2,25	2,35	2,41	2,50	2,32
Щ10-6,7% - 60/90 +6% сум.	1,70	1,77	1,85	1,89	1,78
Щ20-6,0%	2,86	2,90	2,99	3,12	2,88
Щ20-6,2% - 60/90 +2%	2,38	2,42	2,50	2,62	2,43
Щ20-6,2% - 60/90 +4%	2,01	2,04	2,10	2,16	2,02
Щ20-6,2% - 60/90 +6%	1,47	1,45	1,54	1,58	1,52
Щ20-6,1% - 60/90 +3% сум.	2,21	2,25	2,33	2,43	2,25
Щ20-6,1% - 60/90 +6% сум.	1,65	1,71	1,80	1,84	1,73

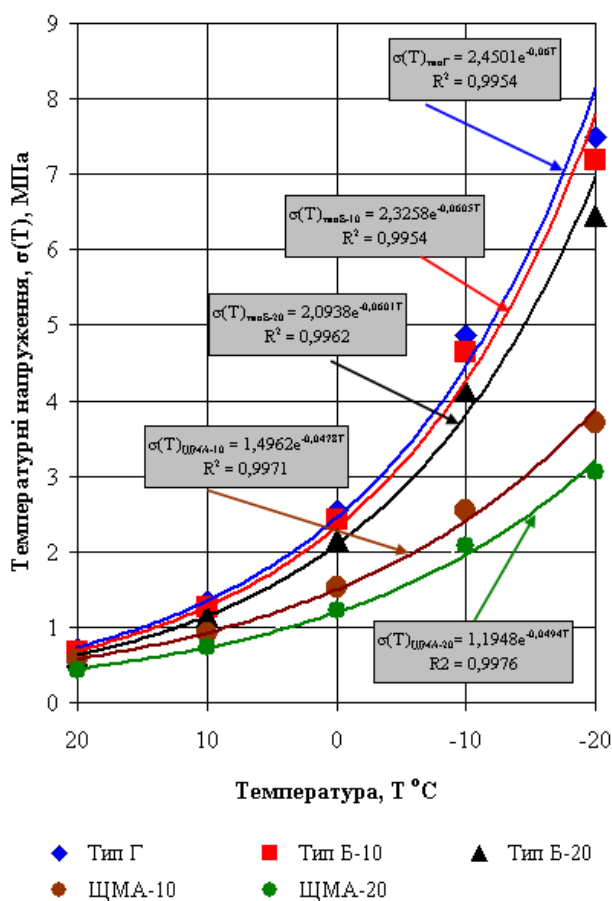
Таблиця 2 Результати визначення модуля пружності досліджуваних асфальтобетонів

Шифр асфальтобетону	Модуль пружності асфальтобетону (МПа), при відповідній температурі, °С				
	20	10	0	-10	-20
Г-7,5%	2157	3987	7385	13500	22590
Г-8,0% - 60/90+2%	2460	4583	8555	15670	25230
Г-8,0% - 60/90+4%	2628	4930	9262	17000	26720
Г-8,0% - 60/90+6%	2737	5491	11020	21020	30410
Г-7,7% - 60/90+3% сум.	2581	4785	8886	16180	25730
Г-7,7% - 60/90+6% сум.	2650	5183	10150	19130	28780
Б10-6,0%	2091	3881	7223	13288	22320
Б10-6,2% - 60/90 +2%	2334	4317	8004	14610	23920
Б10-6,2% - 60/90 +4%	2556	4746	8831	16110	25670
Б10-6,2% - 60/90 +6%	2701	5282	10340	19500	29320
Б10-6,1% - 60/90 +3% сум.	2489	4616	8577	15650	25100
Б10-6,1% - 60/90 +6% сум.	2522	4972	9818	18700	28560
Б20-6,0%	1945	3580	6608	12070	20480
Б20-6,3% - 60/90 +2%	2148	3989	7428	13650	22740
Б20-6,3% - 60/90 +4%	2336	4325	8027	14680	24070
Б20-6,3% - 60/90 +6%	2501	4853	9437	17810	27620
Б20-6,2% - 60/90 +3% сум.	2252	4224	7946	14710	24190
Б20-6,2% - 60/90 +6% сум.	2447	4769	9310	17630	27310
Щ10-6,5%	1914	3075	4949	7943	12480
Щ10-6,8% - 60/90 +2%	2099	3423	5591	9097	14410
Щ10-6,8% - 60/90 +4%	2363	3922	6520	10780	17230
Щ10-6,8% - 60/90 +6%	2689	4555	7724	13010	20950
Щ10-6,7% - 60/90 +3% сум.	2187	3598	5929	9726	15480
Щ10-6,7% - 60/90 +6% сум.	2464	4136	6953	11620	18660
Щ20-6,0%	1530	2491	4066	6627	10630
Щ20-6,2% - 60/90 +2%	1662	2749	4557	7538	12220
Щ20-6,2% - 60/90 +4%	1872	3136	5267	8816	14410
Щ20-6,2% - 60/90 +6%	2139	3651	6245	10640	17570
Щ20-6,1% - 60/90 +3% сум.	1737	2892	4826	8031	13070
Щ20-6,1% - 60/90 +6% сум.	1977	3343	5665	9565	15720

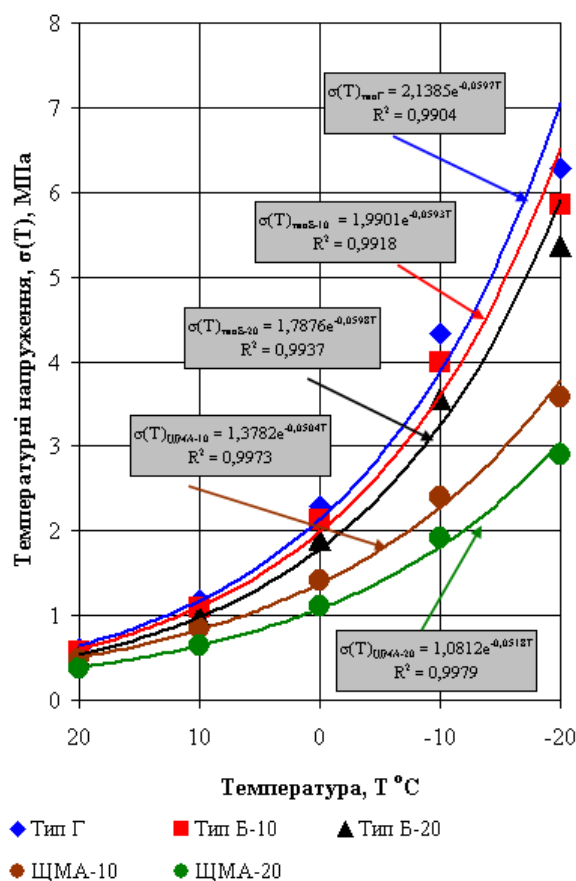
З таблиці 1 видно, що із збільшення кількості полімеру в БМП та в суміші, показник лінійного температурного деформування знижувався, що свідчить про підвищення температурної тріщиностійкості досліджуваних асфальтобетонів.

При 4 % полімеру в БМП та 3 % полімеру в асфальтобетонній суміші, показник коефіцієнта лінійного розширення для досліджуваних асфальтобетонів в середньому знизився на 30 % та 24 % відповідно.

Результати залежності коефіцієнта лінійного температурного деформування від температури та кількості полімеру показали, що ЩМА має нижчі показники в порівнянні з іншими типами асфальтобетонів. Це говорить про те, що він має вищу температурну тріщиностійкість серед досліджуваних асфальтобетонів.



а)



б)

Рисунок 2 - Залежність температурних напружень асфальтобетону від зміни температури: а) досліджувані асфальтобетони на чистому бітумі; б) досліджувані асфальтобетони на основі БМП із 4 % полімеру

На основі результатів, що наведені в таблиці 1, за залежністю (2) отримано температурні напруження, за якими побудовано графіки залежностей температурних напружень $\sigma(T)$, що виникають в асфальтобетоні при зміні температури (рис. 2, 3). Згідно з даними, представленими на рис. 2, видно, що температурні напруження для асфальтобетону типу ЩМА-10 при прирості температури з -20 до 20 °С знижуються в 6,6 разів, а при використанні бітуму з 4 % полімеру – в 7,3 разів. Напруження, які виникають в асфальтобетоні типу Б-10 при температурі 10 °С в 1,15 разів більші за напруження, що виникають при використанні асфальтобетону типу Б-10 з БМП із 4 % полімеру, при тій же температурі.

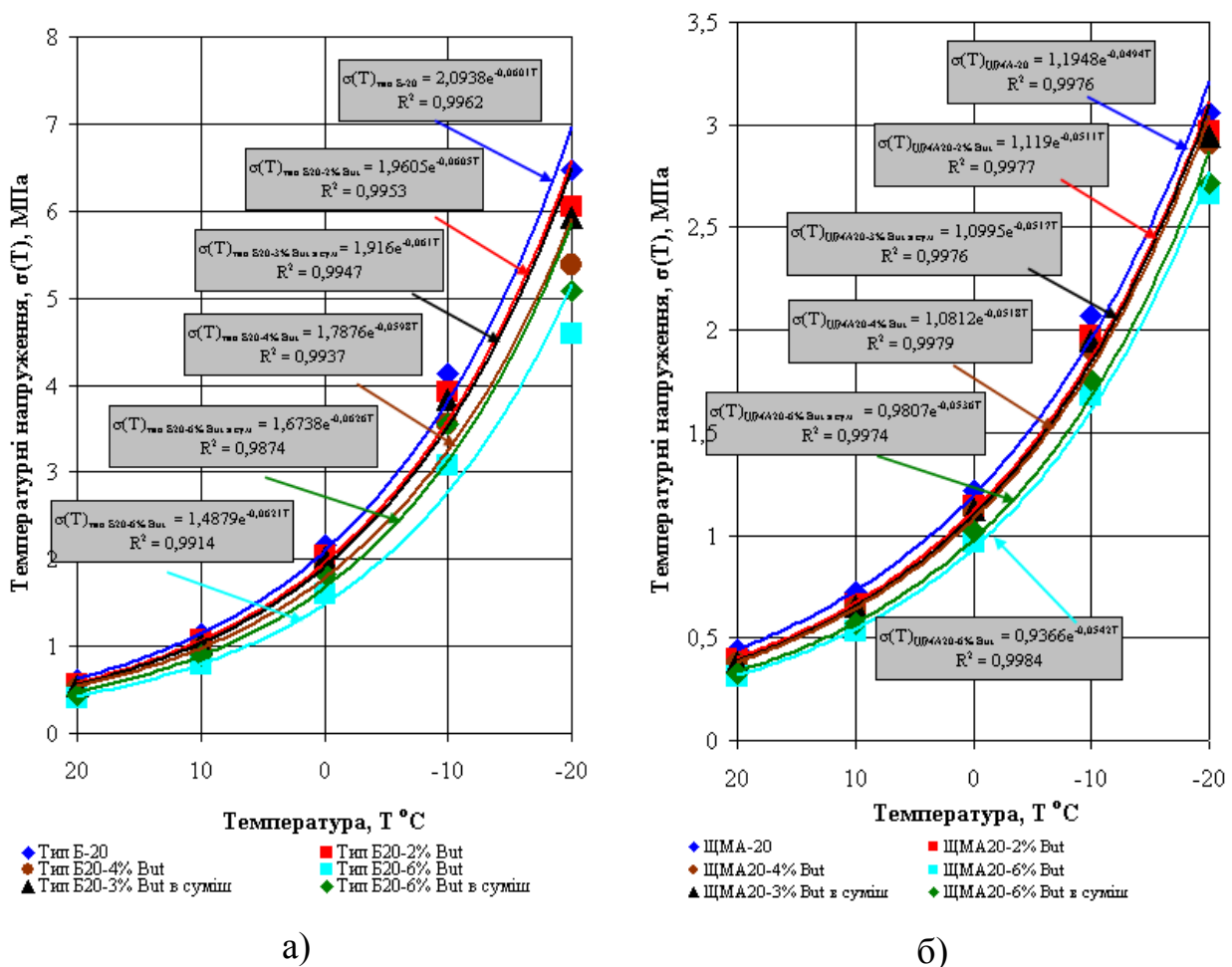


Рисунок 3- Залежність температурних напружень асфальтобетону від зміни температури та кількості полімеру: а) асфальтобетон типу Б-20; б) ЩМА-20

На рис. 2 та 3 спостерігається зниження температурних напружень в асфальтобетонах при введенні та збільшенні кількості полімерного латексу

Butonal NX4190, що в свою чергу свідчить про збільшення строку служби таких асфальтобетонів та їхнього залишкового ресурсу. Згідно з рис. 3 температурні напруження в асфальтобетоні типу Б-20 при температурі $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 10,6 разів більші ніж при температурі $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, для асфальтобетону типу Б-20 з 6 % Butonal NX4190 температурні напруження при температурі $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ складають 3,08 МПа, що 1,34 рази менше ніж для звичайного асфальтобетону типу Б-20 при тій самій температурі. Температурні напруження, що виникають в ЩМА-20 з 2% Butonal NX419 при температурі $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 1,6 разів нижче ніж для асфальтобетону типу Б-20 при однаковому вмісті полімеру і температурі випробування.

Висновок

У відповідності до вище наведеної методики були визначені показники лінійного температурного деформування асфальтобетонів, що дає змогу оцінити температурні напруження, які виникають в асфальтобетонному покритті і вже на стадії проектування вибирати відповідні типи асфальтобетонів з підвищеною тріщиностійкістю.

Література

1. Никольский Ю.Е. Исследование свойств битумоминеральных материалов при отрицательных температурах для дорожных покрытий в зоне вечной мерзлоты. - Дис. ... канд. техн. наук. - Омск, 1971. - 171 с.
2. Сюньи Г.К. Исследование трещинообразования в асфальтобетонных покрытиях под влиянием температурных напряжений. – Дис. ... канд. техн. наук. - Харьков, 1940. - 128 с.
3. Мозговой В.В. Оценка температурной трещиностойкости асфальтобетонных и дегтебетонных слоев в покрытиях автомобильных дорог: Дис. канд. техн. наук: 05.23.05. – К. - 1986. – С. 330.
4. Мозговой В.В., Бесараб О.М., Жуков О.О., Онищенко А. М. Підвищення тріщиностійкості асфальтобетонних шарів міських дорожніх одягів./ Мозговой В.В., Бесараб О.М., Жуков О.О., Онищенко А. М. // Сучасне промислове та цивільне будівництво. Макіївка. - 2006. - Том 3. - №2. - С. 82-88.
4. Онищенко А. М. Підвищення довговічності асфальтобетонних шарів за рахунок використання полімерних латексів Дис. канд. техн. наук: 05.22.11. – К., 2008. – С. 157.
5. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови.
6. ДСТУ Б В.2.7-127:2006. Будівельні матеріали. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови.

Усиченко О.Ю., канд. техн. наук, Миколаєнко О.А.

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОСИНТЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ

Анотація. В статті узагальнені види геосинтетичних матеріалів, які використовують в дорожньому будівництві, їх переваги та недоліки. Проаналізовані проблеми розробки методів розрахунку дорожніх конструкцій з використанням геосинтетичних матеріалів та їх підбору в певних умовах використання.

Ключові слова: геосинтетичний матеріал, георешітки, автомобільні дороги.

Аннотация. В статье обобщены виды геосинтетических материалов, которые используют в дорожном строительстве, их преимущества и недостатки. Проанализированы проблемы разработки методов расчета дорожных конструкций с использованием геосинтетических материалов и их подбора в определенных условиях использования.

Ключевые слова: геосинтетический материал, георешетки, деформации, нагрузки, прочность.

Annotation. This article summarizes the types of geosynthetic materials used in road construction, their advantages and disadvantages. Analyzed the problems of the development the methods of calculation of road structures using geosynthetic materials and their selection in concernig terms of use.

Keywords: geosynthetic material, geogrids, strain, load, strength.

Постановка проблеми

З розвитком науково-технічного прогресу з'являються нові матеріали для будівництва та реконструкції доріг. Геосинтетичні матеріали виконують 6 основних функцій, які можуть забезпечити конструкцію земляного полотна та

дорожнього одягу для оптимального функціонування. На жаль, у вітчизняній практиці дорожнього будівництва, не розроблено відповідних методів розрахунку дорожніх одягів з використанням геосіток для боротьби з тріщинами або підвищення несної здатності, включаючи збільшення міжремонтних термінів тому це питання залишається відкритим. Але є і інші проблеми такі як: не достатньою проінформаністю будівельників, не бажанням витратити «зайві» гроші на геосинтетичний матеріал, і не бажанням відходити від «радянських» звичок в будівництві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемами широкого використання геосинтетичних матеріалів займаються С.К.Головко, Ю.М.Львович, Є.Д.Бондарєва, О.С.Голубєва, Піпа С.М., Корольков Р.О., С.І.Ф.Р. Jones [3,4]. Аналіз різновидів геосинтетичних матеріалів та їх класифікація наведені в багатьох роботах, але найбільш повна класифікація в [2].

Проведений аналіз публікацій і досліджень показав, що немає розроблених методів розрахунку дорожніх одягів з використанням геосіток для покращення дорожньої конструкції.

Мета статті. Дослідження та аналіз використання геосинтетичних матеріалів а дорожній галузі України.

Основні положення

У нашій країні розширюється будівництво енергетичних , промислових і транспортних об'єктів у різних регіонах з одночасним будівництвом автомобільних доріг і залізничних колій. Дорожньо-транспортна інфраструктура включає в себе автодорожню індустрію, автомобільні дороги та споруди на них, а також транспортні засоби. Автомобільна дорога - це лінійний комплекс інженерних споруд, що призначений для безперервного та зручного руху транспортних засобів. Однак нормальна експлуатація доріг ускладнюється рядом несприятливих гідрометеорологічних впливів і в тому

числі від розмиву річковими і селевими паводками з урахуванням кліматичних, рельєфних і гідрогеологічних особливостей місцевості.

При проектуванні автомобільних доріг застосовують науково обґрунтовані параметри земляного полотна та проїзної частини. Велику увагу приділяють питанням стійкості земляного полотна, яка забезпечується наданням ґрунтовому насипу полотна необхідних розмірів і форми. Ґрунтовий масив зазвичай обмежується бічними укосами, крутизну яких призначають з урахуванням механічних властивостей ґрунту і висоти насипу.

Укоси автомобільних доріг дуже часто піддаються розмивам у наслідок руйнівної дії стоку по них дощових і талих вод, а також річкових і селевих потоків.

Практика показує, що в тих випадках, коли питанням забезпечення стійкості укосів та їх захисту від розмиву не приділяється належної уваги, виникають деформації земляного полотна і укосозахисних споруд, на усунення яких потрібні чималі витрати. Тому захисні покриття для зміцнення укосів і низу насипів повинні бути стійкими, довговічними і економічними в будівництві та експлуатації. Крім того, конструкції захисних покриттів для зміцнення укосів слід так " вписувати " в навколишнє середовище, щоб за зовнішнім виглядом ці споруди добре поєднувалися з ним і не порушували екологічну рівновагу.

Різноманіття конструкцій споруд для захисту укосів дає можливість проектувальникам і будівельникам в широкому діапазоні варіювати їх типами, створювати окремі комплекси відповідно до регіональних умов території.

Вибираючи необхідну конструкцію інженери враховують крутизну ухилу укосу, показники фізико-механічних властивостей ґрунтів, швидкість течії потоку, а також гідрологічний режим підтоплення.

Всі конструкції укріплення укосів залежно від різновиду матеріалів, тривалості експлуатації, маси і особливості регіону поділені на шість груп: біологічні та камененакидні; збірно-монолітні залізобетонні; збірно-залізобетонні; цементогрунтові; збірно-монолітні асфальтобетонні і з синтетичних матеріалів і автомобільних покриттів.[1]

Названі вище конструкції мають свої переваги і недоліки, але за останні декілька років широкого використання набули геосинтетичні матеріали.

Геосинтетичні матеріали - загальна класифікаційна термінологія для всіх видів синтетичних матеріалів, які використовуються в різних галузях будівництва, в тому числі і в дорожній. Цей термін включає: геотекстильні матеріали, георешітки, геосітки, геомембрани і геокомпозити.

При використанні «продуктів» синтетичної сировини можна домогтися їх високої довговічності за рахунок досягнення стійкості до старіння. Для цього необхідно контролювати процес укладання матеріалів без механічних дефектів, які можуть погіршити їх вихідні характеристики. Важливим аспектом є захист матеріалу від світла (ультрафіолетових променів). Це стосується насамперед поліпропілену. [7]Слід також приймати до уваги чутливість полієфіру до сильних лужних впливів, що безумовно обмежує їх застосування в конструкціях з бетонними або залізобетонними елементами або вимагає проектування спеціальних захисних заходів. Враховуючи кліматичні особливості України необхідно пам'ятати, що поліамід і геосинтетичні матеріали з нього не морозостійкі і не можуть бути покладені в зонах нижче глибини промерзання. Але зниження гідравлічних і фільтраційних характеристик, а, отже, і відповідних функцій геосинтетичних матеріалів в цьому напрямку, можна попередити шляхом ретельного підбору та відповідності показників їх фільтраційних властивостей складу прилеглого ґрунту (або навпаки).

Дуже важливою є реакція геосинтетичних матеріалів на вплив тривалого навантаження (повзучість). Роль цього чинника набуває першорядне значення при використанні так званих «силових» геосинтетичних матеріалів з метою забезпечення або підвищення надійності ґрунтових споруд.

Існує класифікація створена на основі наявної практики, аналізу та узагальнення виділених геосинтетичних матеріалів, показників їх фізико-механічних властивостей і областей використання в дорожньому будівництві. Подібна класифікація має істотне значення для вибору того чи іншого геосинтетичного матеріалу в плані розробки раціональних типів дорожніх

конструкції стосовно до конкретних інженерно-геологічних, ґрунтових і кліматичних умов будівництва та реконструкції, але крім загальної класифікації доцільно розглядати диференціацію геосинтетичних матеріалів за ступенем їх стійкості до зовнішніх силових факторів.[5-6]

Стійкість до впливів силових факторів, що виникають при укладанні геосинтетичних матеріалів для виконання тих або інших функцій, передбачених проектом, необхідно враховувати як з точки зору застосовуваних насипних матеріалів, так і в плані інтенсивності і складу руху транспорту який використовується для будівництва.

Георешітки широко використовують для укріплення схилів, укосів доріг, кюветів. Вони оберігають верхній шар укосу від обвалів, зсувів і розмиву ґрунтовими та атмосферними водами. Для цієї мети переважно застосовують георешітки з синтетичних нетканих матеріалів, які забезпечують дренаж ґрунтових вод завдяки своїй водопроникності. Крім того, нетканий матеріал краще утримується в ґрунті, маючи більший коефіцієнт тертя при зсуві. В нетканий матеріал добре проростає корінням рослин, при цьому георешітка стає невід'ємною складовою дернового шару ґрунту, ще більше посилюючи захист укосу від ерозії.

Застосування георешіток дозволяє зменшити обсяг застосування привізних матеріалів або замінювати їх більш дешевими місцевими матеріалами. Для укладання та засипки георешіток не потрібно спеціальної техніки, використовуються звичайні в дорожньому будівництві екскаватори, бульдозери, навантажувачі. Модулі георешітки компактні і легкі, не викликають ускладнень при ручному перенесенні та укладанні. Зміцнення укосів і схилів георешітками більш технологічне і менш трудомістке, ніж іншими методами, наприклад дерев'яними латами або бетонними плитами, і більш ефективне. Висока термічна і хімічна стійкість геосинтетики гарантує багаторічний термін служби георешітки. На схилах, укріплених георешітками, влаштовують рослинний шар з посівом трав, що надає дорозі привабливий зовнішній вигляд. Звичайно, не у всіх випадках георешітка може замінити інші методи зміцнення укосів і шарів дорожніх одягів. Застосування георешіток

повинно обґрунтовуватися попереднім техніко-економічним розрахунком. Але як показує практика, завдяки своїй універсальності георешітка займає свою гідну нішу в дорожньому будівництві, область її застосування розширюється, зростає кількість виробників, обсяг випуску та кількість різновидів цього популярного будівельного матеріалу.

Досить корисним є використання геосинтетиків для ремонту і реконструкції асфальтобетонних покриттів, для цих цілей в дослідному порядку застосовуються різні геосинтетичні матеріали: неткані голкопробивні, неткані термос кріплення, полімерні сітки, сітки зі скловолокна, базальтові сітки, композити у вигляді полімерних сіток з підкладкою з тонкого нетканого матеріалу. У деяких випадках при сильно пошкодженому покритті або жорсткій основі, яка досить часто має місце біля світлофорів, переїздів та при інших обмеженнях руху транспортного потоку, використовують спеціальні металеві сітки, що покриваються антикорозійними розчинами, сумісними з адгезійним властивостям з асфальтобетонами. Але, останнім часом у великих обсягах стали використовувати геосітки з полімерів і мінеральної сировини або композити на основі тих же геосіток та підкладок з тонкого термоскріпленого нетканого матеріалу. Можна назвати такі завдання, що ставляться проектувальниками і будівельниками при застосуванні геосинтетичних матеріалів для армування:

- боротьба з тріщинами;
- стикування нових смуг асфальтобетонного покриття з існуючими (закріплення поздовжнього шва);
- укладання геосинтетичного матеріалу над комунікаціями;
- армування одного з шарів асфальтобетонного покриття для підвищення несної здатності при новому будівництві.

Вибір армуючого матеріалу здійснюється за такими параметрами: тип геосітки (полімерна або мінеральна); розмір комірки; міцність на розтяг (у поздовжньому і поперечному напрямках); відносна деформація при міцності на розтяг; модуль пружності при малих відносних деформацій (2-3 %); ширина сітки; кількість метрів в рулоні; адгезія з асфальтобетоном.. Крім того арматура знаходиться в зоні промерзання, у зв'язку з чим необхідно враховувати

зазначений фактор і при визначенні розрахункової міцності і адгезії різних геосіток на розтяг оцінювати можливу втрату міцності і адгезійної здатності після впливу циклів замерзання-відтавання. Особливо це стосується геосіток зі скловолокна.[8]

На жаль, практиці дорожнього будівництва, як в закордонній, так і у вітчизняній, не розроблено відповідних методів розрахунку дорожніх одягів з використанням геосіток для боротьби з тріщинами або підвищення несної здатності, включаючи збільшення міжремонтних термінів. У більшості випадків застосовуються емпіричні методи, засновані на оцінці роботи вже побудованих ділянок з різними типами геосіток, або результати стендових досліджень, коли формуються різні типи дорожніх одягів армованих, і прикладаються розрахункові цикли рухомого навантаження. Оцінка ефективності здійснюється за часом і характером проростання тріщин, їх щільності на одиницю поверхні або утворення колії з відповідними параметрами.

В дорожній галузі за допомогою геосинтетичних матеріалів успішно вирішуються наступні завдання:

- влаштування розділяючих прошарків між різними за властивостями та призначенням конструктивними елементами дорожньої конструкції, особливо в різних середовищах (за складом або станом);
- армування елементів земляного полотна і дорожнього одягу та захист монолітних шарів від тріщин ;
- укріплення конусів шляхопроводів і мостів, укосів, схилів від водної, вітрової ерозії та інших форм порушення місцевої стійкості;
- влаштування дренажів (траншейних, пластових, укісних) підвищеної надійності та довговічності;
- застосування гідроізолюючих і теплоізолюючих прошарків;
- будівництво тимчасових під'їзних доріг з використанням геосинтетики і геопластики як технологічних прошарків, особливо при наявності слабких основ.

Висновки

Використання геосинтетиків і геопластів в дорожньому будівництві диктує прогресивні зміни традиційних дорожніх конструкцій, забезпечує їх підвищення надійності, зниження матеріаломісткості, технологічність будівництва, а також ремонтпридатність практично всіх конструктивних елементів. Аналізуючи вітчизняний і зарубіжний досвід використання цього матеріалу можна вважати, що він активно використовується для зміцнення укосів конусів, схилів для захисту від водної та вітрової ерозії; забезпечення загальної стійкості укосів підвищеної крутизни; будівництва армованих насипів і ґрунтових підпірних стін з урахуванням статистичних і динамічних впливів; будівництва дренажів нового покоління з мінімальним застосуванням природних інертних матеріалів; гідроізоляції, теплоізоляції, сепарації (розділення) конструктивних шарів та елементів дорожніх споруд; армування монолітних шарів дорожніх одягів і захисту від тріщин.

Література

1. Автомобильные дороги. Геосинтетические и геопластиковые материалы в дорожном строительстве. Обзорная информация. Выпуск 7. Москва 2002.
 2. Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві: ВБН В.2.3-218-544:2008. - К.: Укравтодор, 2008. - 126 с.
 3. Материалы доклада на I Российском форуме взаимодействия полимерной и строительной индустрий, 19-20 февраля 2008, Москва.
 4. Developments and Innovations in Geosynthetic Material Technology [[C.J.F.P. Jones](#)] - School of Civil Engineering and Geosciences, University of Newcastle upon Tyne, Newcastle upon Tyne, United Kingdom.
 5. ДСТУ EN 14030:2006 Геотекстиль та віднесені до геотекстилю вироби. Методи їх бракувального випробування для визначення стійкості до дії кислотних та лужних рідин.
 6. EN 12224 Геотекстиль та віднесені до геотекстилю вироби. Визначення стійкості до погодно-кліматичних чинників.
 7. Verge G.C., Reid I.B. Reinforced earth retaining walls in Highways // Austral. Road Res. - 1976. - Vol.6. - N 3.
- Методические рекомендации по выбору решетчатых конструкций для укрепления конусов и откосов земляного полотна автомобильных дорог.

Єгоров Е., Стьошка В., Копинець А., Грицай А., Лук'янець А.

АНАЛІЗ ДОСВІДУ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ РОБІТ З ПОТОЧНОГО ДРІБНОГО РЕМОНТУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО УТРИМАННЯ ДОРІГ З МЕТОЮ ПІДГОТОВКИ ДО ВЕСНЯНОГО СЕЗОНУ 2015 РОКУ

Анотація. У статті проаналізовано досвід проведення обстежень експлуатаційного стану доріг, зроблено огляд сучасних засобів проведення обстежень; узагальнено інформацію з метою її врахування при виконанні робіт з експлуатаційного утримання.

Ключові слова: водно-тепловий режим, експлуатаційний стан, обстеження, якість.

Аннотация. В статье проанализирован опыт проведения обследований эксплуатационного состояния дорог, сделан обзор современных средств проведения обследований; обобщена информация с целью ее учета при выполнении работ по эксплуатационному содержанию.

Ключевые слова: водно-тепловой режим, эксплуатационное состояние, обследования, качество.

Abstract. In the article analyzes the experience of surveys operational status of roads, overview of modern surveys; summarized information for its consideration in the performance of operating maintenance.

Keywords: water-heat mode, operational status, inspection, quality.

З підвищенням середньодобової температури повітря, розтаванням та осушенням дорожньої конструкції, тобто з настанням сприятливих для виконання дорожніх робіт погодних умов та водно-теплого режиму, розпочинається активне виконання поточного дрібного ремонту покриттів автомобільних доріг загального користування та весняне утримання.

На їх якісне виконання впливає ціла низка факторів: властивості матеріалів, технічне забезпечення бригад, дотримання технології виконання робіт та ін. І не останню роль відіграє врахування досвіду минулих років, аналіз допущених недоліків з метою їх мінімізації.

Отже, як уже не раз зазначалося, останні роки основна увага на автомобільних дорогах загального користування приділяється роботам з експлуатаційного утримання, спрямованим на підтримання стану мережі доріг у безпечному для руху користувачів стані, профілактику розвитку критичних руйнувань та деформацій елементів дороги [1].

Ні для кого не є новиною той факт, що на сьогоднішній день дорожники мають обмежені фінансові ресурси на придбання ремонтних матеріалів та палива. У таких умовах якість виконання робіт є тим фактором, який у великій мірі впливає на економію та ефективне використання коштів, і при цьому залежить від відповідальності виконавців, знань вимог діючих нормативних документів, досвіду, дисциплінованості та вміння правильно організувати виробничий процес, тобто чинників, які не носять фінансового характеру.

Важливість забезпечення якості робіт з експлуатаційного утримання та поточного дрібного ремонту доріг розуміють як безпосередні виконавці робіт, так і керівники дорожніх підприємств. Тому, з метою підготовки матеріалів до засідань Колегії Укравтодору, для перевірки дотримання нормативних вимог при виконанні робіт з поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування фахівцями ДП «Дорцентр» проводилися систематичні перевірки. Окремо для прикладу липень 2014 року та виконаємо аналіз результатів перевірок, виконаних протягом цього місяця.

Так, у липні 2014 року було виконано перевірки у 19 областях. При проведенні обстежень використовувались як традиційні методи контролю (фіксування недоліків фотоапаратом, визначення температури ремонтного матеріалу контактним термометром, відбір проб матеріалів для подальшого визначення їх фізико-механічних показників у випробувальній лабораторії), так і прогресивні розробки вітчизняних науковців, які дають змогу максимально спростити процес обстеження, оформлення результатів і, головне, забезпечують оперативну передачу даних з метою максимально швидкого їх врахування у роботі.

Йдеться, насамперед, про інформаційно-аналітичну систему, яка встановлюється на планшет і натиском відповідної кнопки на сенсорному дисплеї дозволяє вводити типові недоліки, виявлені у процесі перевірки (розробник – НТУ) [2-5].

Інформаційно-аналітична система, яка призначення для використання при проведенні обстежень експлуатаційного стану доріг та перевірях якості і ходу виконання робіт з експлуатаційного утримання, дає змогу автоматизувати даний процес (рис. 1), тим самим спростивши та прискоривши роботу учасників обстежень. Дає можливість типізувати акти та фотоматеріали за встановленою формою та скоротити час на підготовку фахівців до участі у виконанні подібного роду робіт. Оперативність передачі даних забезпечується з використання бездротового доступу до мережі Internet. Вирішено питання підписання акту обстеження учасниками комісії (коли в комісії присутні представники з різних підприємств та регіонів), оскільки акт можна сформувати і роздрукувати за допомогою переносного принтера за декілька хвилин навіть на об'єкті, який обстежується.

Ще однією прогресивною розробкою, яка дає змогу удосконалити процес обстеження дорожнього покриття, є система «ОКО» (розробник – ХНАДУ). Вона призначена для оцінки стану покриттів автомобільних доріг. Основним компонентом системи є промислова лінійна відеокамера (рис. 2). Принцип дії системи аналогічний процесу сканування документів в копіювальних апаратах і комп'ютерних сканерах.

Що ж стосується самих результатів обстежень, то приємно відзначити, що переважна більшість виконавців робіт відносяться до своїх обов'язків відповідально та працюють, чітко дотримуючись діючих нормативних вимог.

Проте, можна відзначити і ряд недоліків та порушень, проаналізувавши які, можна зменшити їх кількість в подальшому.

Отже, обстеження було проведено на 28 дорогах загального користування державного та місцевого значення, з яких:

- міжнародні – 4;
- національні – 6;
- регіональні – 11;
- територіальні – 5;
- місцеві – 2.

У ході проведення перевірок було виявлено 38 організованих бригад дорожніх організацій, задіяних в експлуатаційному утриманні. З них:

- 34 бригади виконували роботи з ліквідації ямковості, а саме;
 - 20 бригад виконували ремонтні роботи сумішшю гарячою асфальтобетонною;
 - 7 бригад виконували ремонтні роботи пневмоструменевим методом (рис. 3);
 - 3 бригади виконували ремонтні роботи чорним щебенем;
 - 1 бригада виконувала ремонтні роботи методом просочення;
- 2 бригади виконували роботи з покошу узбіч (рис. 5);

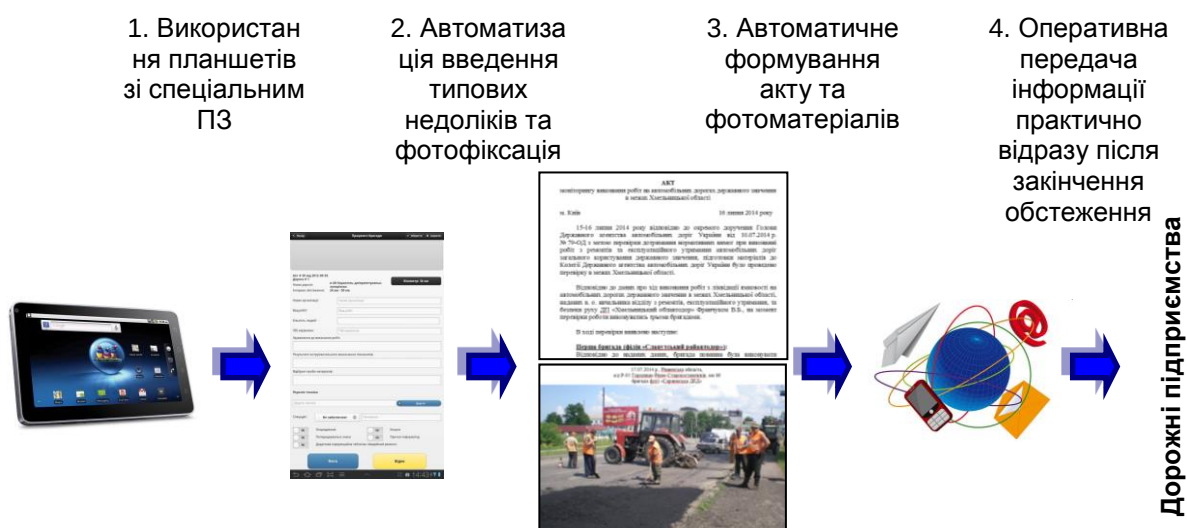


Рисунок 1 – Схема використання інформаційно-аналітичної системи на базі планшету



Рисунок 2 – Система «ОКО»



**Рисунок 3 – Ремонт покриття
пнемоструменевим методом**



**Рисунок 4 – Роботи з фарбування
огородження**



Рисунок 5 - Роботи з покосу у смузі відведення

- 1 бригада виконувала роботи з оновлення бар'єрного огороження (рис. 4);

- 1 бригада виконувала роботи з влаштування водозбірних лотків.

При перевірці дотримання нормативних вимог при виконанні робіт з ремонтів та експлуатаційного утримання було виявлено такі основні недоліки:

- недотримання технологічних вимог при проведенні ремонтних робіт:

- невиконання або неякісне виконання очистки, обрубки країв, підгрунтовки дна та стінок ремонтних карт (рис. 6) – порушення вимог ПГ-218-113;

- невідповідність температури асфальтобетонної суміші на початку ущільнення (рис. 7) – порушення вимог табл. 12 ДСТУ Б В.2.7-119;

- невиконання або неякісне виконання ущільнення ремонтного матеріалу (рис. 8) – порушення вимог ПГ-218-113;
- недостовірні дані у супровідних документах на ремонтні матеріали (паспорт на суміш);
- недотримання вимог СОУ 45.2-00018112-006 щодо порядку огороження місць виконання дорожніх робіт та організації дорожнього руху (рис. 9):
 - відсутність у відповідального виконавця (майстра, виконроба) затвердженої схеми ОДР при проведенні дорожніх робіт;
 - відсутність або недостатня кількість засобів ОДР (дорожні знаки, конуси, знак-сигналізатор тощо);
 - недотримання вимог з охорони праці:



Рисунок 6 – Неякісна підготовка місць ремонту



Рисунок 7 – Температура суміші на початку ущільнення не відповідає діючим вимогам



Рисунок 8 – Недостатньо ущільнена суміш



Рисунок 9 – Встановлення засобів ОДР після зауваження

- відсутні або незадовільний стан засобів індивідуального захисту (рукавиці, окуляри, респіратори тощо) – порушення ДСТУ Б В.2.7-119, НПАОП 63.21-1.01 та НПАОП 63.21-3.03;
- організаційні недоліки:
 - надання недостовірної інформації з боку служб автомобільних доріг та дочірніх підприємств ПАТ «ДАК «Автомобільні дороги України» про хід виконання робіт, місце їх проведення, строки;
 - відсутність на місці виконання робіт інженерно-технічного працівника;
 - незабезпечення операційного та інспекційного контролю якості виконання робіт – порушення вимог СОУ 45.2-00018112-028 та Схем операційного контролю якості дорожньо-будівельних робіт та робіт з ремонту і утримання автомобільних доріг, затверджених наказом Укравтодору від 27.02.2003 р. № 72.

Матеріали за результатами перевірок оперативно надсилались у відповідні регіони для врахування у роботі та були розглянуті на засіданні Колегії Укравтодору з прийняттям відповідних рішень, що, без сумніву, позитивно вплине на підвищення якості виконання робіт у подальшому.

Будемо сподіватися, що це підтвердять наступні обстеження, план проведення яких уже розроблено.

Література

1. Герасименко А.М., Стюжка В.В., Копинець А.О. Весняне бездоріжжя: причини, методи боротьби, шляхи вирішення // Дорожня галузь України. – Київ: Інформавтодор, 2013. – Вип. 2 – С. 6-13.
2. Славінська О.С., Савенко В.Я., Стюжка В.В. Удосконалення процесу обстеження експлуатаційного стану доріг з використанням інформаційно-аналітичної системи на базі планшета // Автошляховик України. – Київ: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2012. - № 5 (229) – С. 37-41.
3. Славінська О.С., Савенко В.Я., Стюжка В.В. Метод оптимізації визначення транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг // Вісник Національного транспортного університету: В 2-х частинах: Ч.1. – К: НТУ, 2013. – Випуск 26. – С. 560-566.
4. Славінська О.С., Стюжка В.В. Переваги використання спеціального програмного забезпечення на базі планшета при проведенні обстежень експлуатаційного стану доріг // LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2012. – С. 118.
5. Славінська О.С., Стюжка В.В. Результати дослідної експлуатації інформаційно-аналітичної системи для збору, накопичення та зберігання інформації щодо експлуатаційного стану доріг загального користування місцевого значення // LXIX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2013. – С. 108.

Перова О.С., Твердохліб С.П.

МЕТОДИ І ЗАСОБИ ОЦІНКИ СТАНУ ЗЛІТНО-ПОСАДКОВОЇ СМУГИ

Анотація. В роботі проаналізовані існуючі засоби оцінки стану покриття аеродрому. Наведені експериментальні дані вимірювань коефіцієнта зчеплення авіаційним гальмівним візком АТТ-2 на злітно-посадковій смузі Міжнародного аеропорта "Харків".

Ключові слова: злітно-посадкова смуга, повітряне судно, коефіцієнт зчеплення, зчіпні властивості.

Аннотация. В работе проанализированы существующие средства оценки состояния покрытия аэродрома. Приведены экспериментальные данные измерения коэффициента сцепления авиационной тормозной тележкой АТТ-2 на взлетно-посадочной полосе Международного аэропорта «Харьков».

Ключевые слова: взлетно-посадочная полоса, воздушное судно, коэффициент сцепления, сцепные качества.

Annotation. In work are analysed existing means of an assessment of a condition of a covering of airfield. Experimental data of measurement of the traction coefficient by the aviation brake АТТ-2 cart are given in a runway of the International airport "Kharkov". At the current stage was done experiments and measured the traction coefficient at the airport of Kharkiv.

Keywords: taxiway, aircraft, traction coefficient, coupling qualities.

Повітряний транспорт відіграє важливу роль у виконанні народногосподарських планів по підвищенню перевезень пасажирів і вантажів. Для успішного виконання цих планів все більш високі вимоги пред'являються

до експлуатаційного утримання аеродромів та надійній роботі їх штучних покриттів.

Безпека і регулярність польотів в значній мірі залежать від стану поверхні злітно-посадкової смуги (ЗПС). Наявність на покриттях води, снігу або ожеледі значно погіршує зчеплення авіашин. Відповідно зменшується ефективність гальмування коліс літаків, що призводить до збільшення довжини пробігу. При зльоті при таких станах покриттів зростає і довжина розбігу за рахунок підвищення опору руху літака. Тому при польотах з таких покриттів повітряні судна іноді викочуються за межі ЗПС. Це є передумовами льотних пригод.

У зв'язку з цим проблемі забезпечення безпеки польотів з покритих метеоропадами покриттів приділяється велика увага майже у всіх країнах. [1]

Основним критерієм стану ЗПС є умови гальмування на її покритті. В якості кількісного показника використовують значення граничних (максимальних) коефіцієнтів зчеплення, виміряні наземними засобами, так, як вони дозволяють найбільш повно характеризувати стан покриттів і потенційно можливе гальмування.

Коефіцієнт зчеплення μ - це відношення між силою тертя і вертикальним навантаженням. На сухій поверхні максимальний коефіцієнт зчеплення $\mu_{\max}$ може перевищувати 0,6, що означає, що сила гальмування може перевищувати 60 % від навантаження на загальмоване колесо. На сухій ЗПС швидкість мало впливає на $\mu_{\max}$. Коли стан ЗПС погіршується під впливом забруднювачів, таких як вода, нашарування гуми, ожеледь, сніг або лід $\mu_{\max}$ може різко зменшитися, позначившись на здатності повітряного судна погасити швидкість після посадки або при перериванні зльоту.

Дати оцінку умов гальмування на ЗПС досить складно, тому що важко створити прості, надійні і точні прилади, розраховані на роботу в експлуатаційних умовах. Вони повинні в процесі руху по ЗПС зі швидкістю близько 60 – 100 км/год здійснювати безперервне вимірювання, запис і автоматичний підрахунок та реєстрацію їх середніх значень для всієї ЗПС і окремо для кожної третини.

Існуючі методи оцінки зчіпних властивостей покриттів засновані на вимірі коефіцієнтів зчеплення двома основними способами за допомогою

гальмування автомобіля і з використанням спеціальних приладів. У свою чергу вимірювання, залежно від їх тривалості, поділяються на два види: дискретні та циклічні.[2]

В авіапідприємствах усього світу вимірювачі коефіцієнтів зчеплення буксирів або встановлені на автомобілі вимірюють коефіцієнт зчеплення, прокочуючи вимірювальне колесо по поверхні штучної злітно-посадкової смуги (ШЗПС) з фіксованим рівнем пригальмовування. На ці вимірники коефіцієнта зчеплення є набір вимог і параметрів ІКАО, який зумовлює умови експлуатації і особливості конструкції.



Рисунок 1 - Засоби вимірювання коефіцієнта зчеплення на аеродромах України

При розгляді мокрої або залитої водою ЗПС існує ряд окремих, але пов'язаних аспектів проблеми гальмування. По-перше, "нормальне" зчеплення на мокрій поверхні є станом, при якому внаслідок наявності води на ЗПС наявний коефіцієнт зчеплення знижується в порівнянні з коефіцієнтом на тій же

сухій ЗПС. Це пояснюється тим , що неможливо повністю витіснити воду між пневматиками і ЗПС, в результаті чого має місце тільки частковий контакт пневматика з ЗПС. Це, в свою чергу , призводить до помітного зменшення сили, яка протидіє відносному руху пневматика і ЗПС, так як інша частина контакту знаходиться між пневматиками і водою. Тому для отримання високого коефіцієнта зчеплення на мокрій або залитій водою ЗПС необхідно , щоб проміжна водяна плівка була видалена або порушена протягом часу дотику кожного елемента пневматика з ЗПС.[3]

У вітчизняній авіації для визначення коефіцієнта зчеплення використовується аеродромний гальмівний візок (АТТ-2), який введено в експлуатацію в 70-ті роки минулого століття і за весь період експлуатації конструкція АТТ-2 модернізації не піддавалася.

Аеродромний гальмівний візок призначений для обчислення нормативного коефіцієнта зчеплення з метою визначення умов гальмування шасі повітряного судна (ПС). Даний вимірювач не сертифікований міжнародним авіаційним комітетом (МАК). Введення в експлуатацію АТТ-2 було здійснено директивно.

Приведення значень виміряного коефіцієнта зчеплення до нормативного показано в таблиці 1.

Таблиця 1 - Кореляційна таблиця приведення значень коефіцієнта зчеплення, отриманих по АТТ-2, до нормативного

Коефіцієнт зчеплення по АТТ-2	0,1	0,15	0,20	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
Нормативний коефіцієнт зчеплення	0,26	0,29	0,32	0,37	0,39	0,42	0,45	0,49	0,54	0,57
Примітка Величина нормативного коефіцієнта зчеплення в 0,30 відповідає величина коефіцієнта зчеплення по АТТ-2, яка дорівнює 0,17.										

Для кращої наочності дані таблиці зводимо в графік - рисунок 2.

Так як принцип виміру коефіцієнта зчеплення за допомогою цих вимірників опосередкований (обумовлений жорстким кінематичним зв'язком вимірювального колеса з несучими), то виміряний коефіцієнт зчеплення залежить від діаметрів вимірювального колеса і несучих коліс, зміни розмірів, форми, маси або стану ланцюгової передачі внаслідок руйнування (зношування) поверхневого шару при терті , температури навколишнього

середовища і механізмів , ефекту « Шиммі » (Вобблінга).Внаслідок вищевказаних недоліків оцінка відхилення виміряного значення коефіцієнта зчеплення від його істинного значення істотно залежить від стану поверхні ШЗПС (лід, сніг , вода , забруднення тощо) під вимірювальним та опорними (несучими) колесами і становить $\pm 0,1 - 0,15$ од. КЗч (вимоги ІКАО - $0,05$ од. КЗч). Тому ці вимірники коефіцієнта зчеплення рекомендовані Міжнародною організацією цивільної авіації для використання в цілях отримання довідкової інформації для здійснення ремонту ШЗПС , а не для прогнозування гальмування літаків.

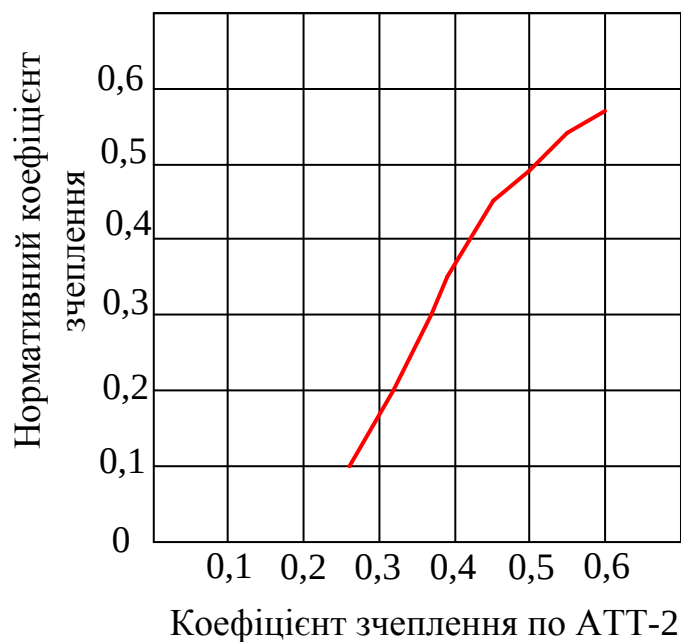


Рисунок 2 - Графік приведення значень коефіцієнта зчеплення, отриманих по АТТ-2, до нормативного

Обчислюваннями гальмівного візка АТТ-2 не користуються екіпажі ПС зарубіжних країн.[4]

Сучасні аеродромні покриття являють собою складні інженерні споруди, до експлуатації яких пред'являються високі вимоги. Основою технічної експлуатації аеродромних покриттів є дотримання експлуатаційних вимог, зокрема своєчасна діагностика стану покриттів і виконання будівельних заходів з проведення планово-попереджувальних ремонтів.

В області методів засобів вимірювання фрикційних властивостей покриттів найбільш затребуваною сьогодні є техніка передпосадкового оперативного контролю покриттів аеродромів цивільної авіації , так як від

стану злітно-посадкових смуг залежить безпека посадки пасажирських повітряних суден , а значить , здоров'я і життя одночасно десятків і навіть сотень людей.

Так як Україна не користується міжнародними нормами ІКАО, потрібно дослідити і вирішити необхідність введення нових експлуатаційних норм і показників.

В ході виконання дисертаційної роботи було виконано експериментальні дослідження по визначенню фрикційних властивостей аеродромного покриття аеродромним гальмівним візком АТТ-2 в Міжнародному аеропорті Харків.

Вимірний коефіцієнт зчеплення реєструється та відображається за допомогою цифрового самописця НІОКІ 8205-10. Цей прилад призначений для контролю сигналів постійної, змінної напруги і змінного струму. Прилад реєструє сигнали, миттєво роздруковує значення і форми сигналу, використовуючи вбудований принтер (рис.3).

Особливості

- Отримання точних результатів вимірювань;
- Можливість коректування позиції нуля і зміщення центрального значення, при значній зміні величини сигналу;
- Висока швидкість вибірки (реєстрації значень);
- Різні швидкості і режими роздруківки результатів.

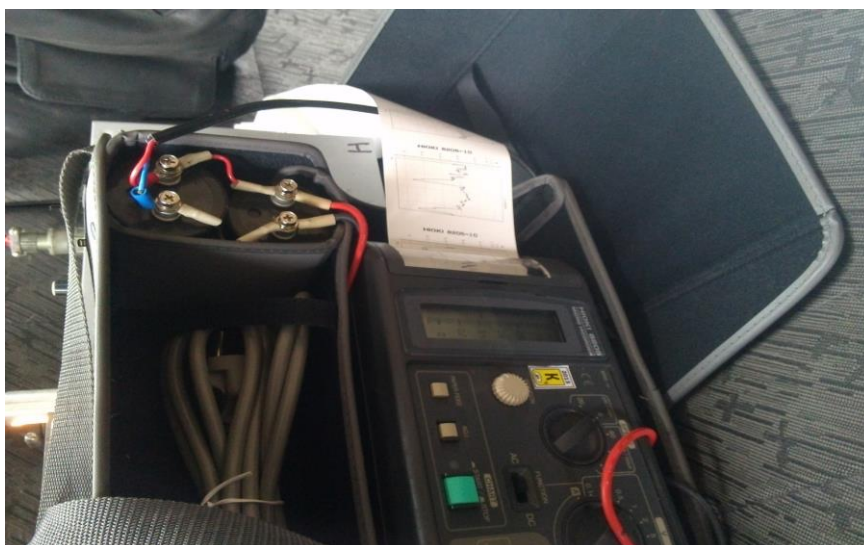


Рисунок 3 - Цифровий Самописець і реєстратор даних НІОКі 8205-10

За допомогою даних приладів було виміряно коефіцієнт зчеплення при швидкості 40 км/год на бетонному покритті у місці зльоту/посадки повітряного судна. Довжина ділянки дорівнює 355 м. Як видно з графіку (рис. 4) середній коефіцієнт зчеплення дорівнює 0,65, при якому забезпечується безпечне функціонування злітно-посадкової смуги.

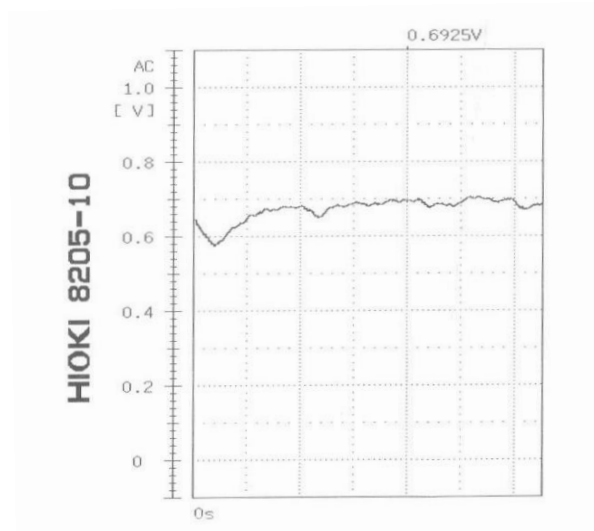


Рисунок 4 - Графік зміни коефіцієнта зчеплення при швидкості 40 км/год

Так як гальмівний візок не відповідає вимогам і параметрам ІКАО, тому що виміри здійснюються на швидкості 40 км/год, а не від 65 до 90 км/год, було вирішено провести виміри на швидкості 65 км/год. Отримані результати показані на рисунку (рис. 5)

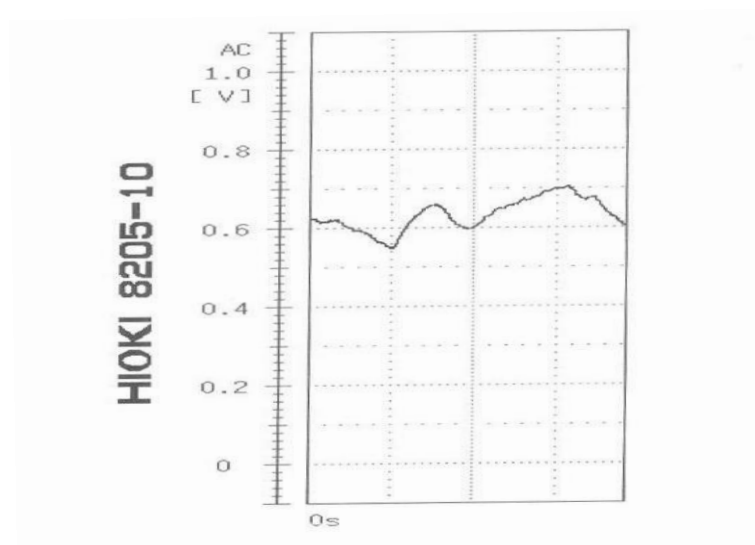


Рисунок 5 - Графік зміни коефіцієнта зчеплення при швидкості 65 км/год

Отже середній коефіцієнт зчеплення на ділянці довжиною 340 м становить 0,65, що відповідає коефіцієнту зчеплення при швидкості 40 км/год. Всі заміри виконувались 4 квітня 2014 року з 9 до 10 години ранку при інтенсивних опадах, температура повітря складала +1 °С.

Висновки

З проведених експериментальних досліджень можна зробити такі висновки, що результати вимірювання коефіцієнта зчеплення аеродромним гальмівним візком на швидкості 65 км/год майже не відрізняються від результатів при швидкості 40 км/год, це дає змогу використовувати АТТ-2 для подальшої роботи.

Слід зазначити, що в даний час в області фінансування методів оцінки зчіпних властивостей аеродромних і дорожніх покриттів склалося складне становище. Воно полягає в тому, що в кожній країні, в тому числі і в СРСР, створено багато приладів, що мають абсолютно різні принципи роботи і основні технічні характеристики. Тому виміряні за допомогою кожного з цих пристроїв коефіцієнти зчеплення різко відрізняються між собою. Все це вносить плутанину при використанні результатів оцінки гальмування на ЗПС.

Спроби вирішити цю проблему за допомогою кореляційних методів, як показала практика, не мали успіху. Підтвердженням цьому є випробування обладнання проведені Всесоюзним комітетом для оцінки умов гальмування на ЗПС, виконані за нормами ІКАО

Література

1. Запоржець В.В., Шматко М.П. Аеропорт: організація, технологія, безпека: Навч. посібник. – К.: Дніпро, 2002.
2. Руководство по проектированию аэродромов 9157-AN/901. Покрытия. – чинний від 1977 р.
3. Руководство по аэропортовым службам 9137-AN/898. Часть 2 Состояние поверхности покрытия. – чинний від 2002 р.
Горецкий Л.И., Печерский М.А., Комчихина Л.Н. и др. Эксплуатация аэродромов: Справочник. – М.: Транспорт, 1990.

УДК 625.7/.8

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

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВИТРАТНОГО ПІДХОДУ ОЦІНКИ НЕРУХОМОГО МАЙНА В ДОРОЖНІЙ ГАЛУЗІ

Анотація. В статті проаналізовано особливості застосування витратного підходу та його методів в оцінці нерухомого майна дорожньої галузі. Запропоновано етапи оцінки нерухомого майна за витратним підходом, що адаптовані для дорожньої галузі. Стаття розкриває основні переваги та недоліки застосування методів витратного підходу до оцінки нерухомого майна.

Ключові слова: оцінка майна, витратний підхід, нерухоме майно, дорожня галузь, методи витратного підходу

Аннотация. В статье проанализированы особенности применения затратного подхода и его методов в оценке недвижимого имущества дорожной отрасли. Предложены этапы оценки недвижимого имущества по затратному подходу, адаптированные к дорожной отрасли. Статья раскрывает основные преимущества и недостатки применения методов затратного подхода к оценке недвижимого имущества.

Ключевые слова: оценка имущества, затратный подход, недвижимое имущество, дорожная отрасль, методы затратного подхода

Annotation. The article is about analyze of the features of the application cost approach and its methods in the evaluation of real estate road sector. The stages of real estate evaluation by the cost approach, adapted for the road sector. The article

focuses on the main advantages and disadvantages of methods cost approach to assessing real estate.

Keywords: property valuation, cost approach, real estate, transport industry, the cost approach methods

Постановка проблеми

Оцінка нерухомого майна належить до найскладніших питань підприємств дорожньої галузі. Вітчизняним законодавством при оцінці нерухомого майна рекомендовано керуватися Законом України «Про оцінку майна, майнових прав і професійну оціночну діяльність в Україні» [1], положеннями (національними стандартами) експертної оцінки [2-3], нормативними актами Фонду державного майна. Проте, не розроблено жодного документу чи методики для дорожньої галузі, враховуючи її специфіку та практичну відсутність фахового підходу в оцінці нерухомого майна.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз публікацій та досліджень з даної проблематики показав, що питанню застосування різних методів оцінки вартості нерухомого майна в дорожній галузі майже не приділено увагу.

Мета статті. Дослідження особливостей витратного підходу в оцінці нерухомого майна в дорожній галузі України.

Виклад основного матеріалу

Ціль оцінки й вибір стандарту вартості при оцінці майна підприємства здійснюють на основі трьох підходів: дохідного, ринкового (порівняльного) і витратного (майнового) [2]. Для дорожньої галузі характерним є використання витратного підходу, який базується на використанні кошторисної документації.

Витратний підхід ґрунтується на відбудовній вартості або вартості заміщення об'єкта тієї ж корисності за винятком усіх видів зносу. Даний підхід застосовується для оцінки об'єктів спеціального призначення, нового будівництва, для визначення найкращого варіанта використання землі, а також з метою страхування ризиків будівництва.

Необхідна інформація включає дані про:

- 1) вартість земельної ділянки;
- 2) будівельні специфікації;
- 3) кошторисну документацію й ін.

Витратний підхід базується на наступних принципах:

- заміщення;
- найбільш ефективного використання майна;
- збалансованості;
- економічної величини;
- економічного поділів.

Основними методами в рамках витратного підходу є метод прямого відтворення та метод заміщення. Метод прямого відтворення (заміщення) полягає у визначенні вартості відтворення (заміщення) із подальшим вирахуванням суми зносу (знецінення) [2-3].

Використовуючи витратний підхід необхідно розрізняти вартість відтворення та вартість заміщення.

Вартість відтворення — це вартість створення об'єкта, ідентичного тому, що оцінюється. Вона визначається витратами на будівництво у поточних цінах на момент оцінки точної копії земельних покращень, із використанням таких самих матеріалів, будівельних стандартів, проектних рішень та збереженням усіх елементів неефективності, що й в об'єкта оцінки [4].

Вартість заміщення виражає у грошовій формі витрати на будівництво земельних покращень, які мають таке ж саме функціональне призначення, що й об'єкт оцінки, із використанням сучасних стандартів, матеріалів, дизайну у поточних цінах.

З позицій споживчих якостей доріг оцінка покращень за вартістю заміщення є більш мотивованою, ніж за вартістю відтворення.

Специфічною сферою застосування витратного підходу є оцінка спеціальних державних об'єктів нерухомості та земельних поліпшень, що не приносять дохід (наприклад, мостів, тунелів, шляхопроводів, автопавільйонів, покриття тощо).

Успішно застосовують підхід при техніко-економічному обґрунтуванні нового будівництва, під час оцінки недобудованих об'єктів та при здійсненні робіт з реконструкції доріг. Застосування підходу дозволяє обґрунтувати доцільність конкретного будівництва чи реконструкції.

Послідовність визначення вартості нерухомого майна за витратним підходом складається з таких етапів (рис.1).:

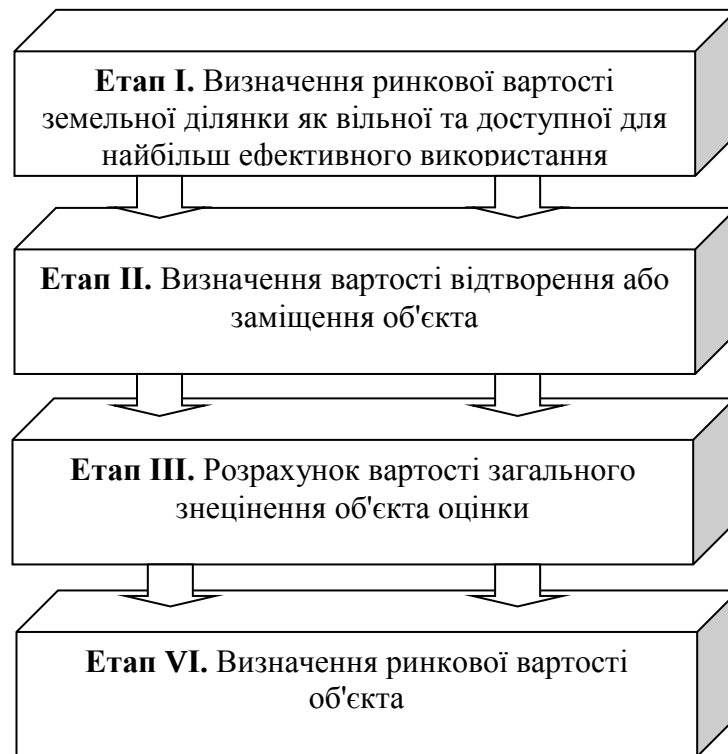


Рисунок 1 – Етапи визначення вартості нерухомого майна за витратним підходом

Слід відзначити, що в умовах законодавчої бази України в ряді випадків основна складова частина нерухомості — земельна ділянка — не є власністю власника земельних покращень, розташованих на ній. Тому, в даному випадку, можна оцінювати лише право користування цією земельною ділянкою. Експертна оцінка земельної ділянки та розташованих на ній земельних покращень у цілому може бути здійснена лише, якщо є документальне оформлення права власності на земельну ділянку (відведення землі для цілей будівництва чи реконструкції ділянки дороги). В усіх інших випадках, як об'єкт

оцінки, виступають лише поліпшення на відповідній земельній ділянці, а саме: дорога, споруди, будівлі, багаторічні насадження.

У практиці оціночної діяльності застосовуються чотири взаємопов'язаних методичних прийоми розрахунку вартості відтворення та вартості заміщення: кількісний метод, метод вартості конструктивних елементів, метод порівняльних одиниць та метод об'єктів-аналогів.

Кількісний метод (інша його назва — відповідно до кошторису витрат на будівництво) — це оцінка об'єкта на основі повного кошторису витрат на його будівництво. Сутність цього методичного прийому полягає у складанні кошторису будівництва оцінюваного об'єкта в сучасних умовах. Це найбільш трудомісткий метод, але він може бути значною мірою полегшений, якщо є старі кошториси будівництва оцінюваного об'єкта. Якщо ж такі відсутні, то експерт-оцінювач може звернутися до послуг спеціаліста зі складання кошторисів, який розробить новий кошторис для цього об'єкта, із використанням єдиних норм розцінок, індексів цін на будівельно-монтажні роботи, кошторисних норм і правил та іншої необхідної документації.

Визначення вартості об'єкта за вартістю конструктивних елементів — це оцінювання нерухомості на основі розміру вартості створення його основних елементів. Використовуються дані про вартість різних елементів доріг за укрупненими вартісними показниками.

Метод порівняльних одиниць — витрати на спорудження одиничного показника вибраного об'єкта-аналога збільшуються залежно від кількості таких одиничних показників в об'єкті, що оцінюється й додаються. Одиницею виміру вартості у даному методі є уніфікований показник споживчої корисності оцінюваного майна (1 пікет, 1 км дороги тощо).

Метод об'єктів-аналогів. Вартість об'єкта оцінки визначається за вартістю об'єкта-аналога. При необхідності виконується коригування по сукупності їх конструктивних відмінностей.

В основу першого та другого методичних підходів покладено визначення вартості відтворення об'єктів нерухомого майна. Третій та четвертий підходи використовують, як правило, до об'єктів, що будувалися за типовими

проектами, або якщо відновлення об'єкта є недоцільним у його первісному вигляді за будівельним проектом і функціональним призначенням. Основою цих методичних підходів є визначення вартості заміщення.

Недоліками вартісного підходу до оцінки нерухомого майна в дорожній галузі є такі:

- балансова вартість майна ніколи не відповідає її ринковій вартості;
- іноді важко визначити вартість зносу дороги та її елементів, особливо, коли з дати останнього капітального ремонту, реконструкції чи будівництва пройшло багато часу.

При застосуванні витратного підходу до оцінювання вартості нерухомого майна дорожнього господарства може виникнути проблема, пов'язана з невідповідністю витрат на побудову нового об'єкту оцінки (дороги, споруди, будівлі тощо) і вартістю відтворення старого об'єкту, тобто виникає ситуація, що побудувати новий об'єкт дешевше ніж відновити старий.

Висновки

Проаналізовано особливості застосування витратного підходу та його методів в оцінці нерухомого майна дорожньої галузі. Розкрито основні переваги та недоліки застосування методів витратного підходу до оцінки нерухомого майна. Запропоновано етапи оцінки нерухомого майна за витратним підходом з урахуванням специфіки дорожньої галузі.

Література

1. 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.
2. Загальні засади оцінки майна і майнових прав: Національний стандарт №1. - Офіційне видіння. - [чинний з 10.09.2003] – Київ: КМУ, 2003. - 19 с. — (Національні стандарти України).
3. Оцінка нерухомого майна: Національний стандарт №2. - Офіційне видіння. - [чинний з 28.10.2004] – Київ: КМУ, 2004. - 19 с. — (Національні стандарти України). - 10 с. — (Національні стандарти України).
4. Терещенко О.О. Фінансова діяльність суб'єктів господарювання: Навч. посіб-ник. — К.: КНЕУ, 2003. — 554 с.

УДК 625.7/.8

Леонтьєв Ю.М., канд. техн. наук, Халай Т.О., канд. техн. наук

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАТРИМОК ТРАНСПОРТУ В ЗОНІ РЕМОНТНИХ РОБІТ

Анотація. В статті наведена методика визначення вартості часових витрат транспорту при проходженні по одній смузі при змінних параметрах зони дорожньо-ремонтних робіт. Для отримання шуканих результатів використовувались методи планування експерименту при незалежних і змішаних кількісних змінних.

Методика дозволяє встановити кількісні залежності часу затримок автомобілів в зоні дорожньо-ремонтних робіт від довжини перекритої ділянки, а також визначати межі застосування методів регулювання руху автомобілів в зоні ремонту в залежності від її параметрів. Для методу примусового регулювання можливо встановлювати оптимальні цикли регулювання по критерію мінімуму транспортних витрат.

Ключові слова: імітаційне моделювання, теорія експерименту, факторний простір.

Аннотация. В статье приведена методика определения стоимости часовых потерь транспорта при прохождении по одной полосе проезжей части для интервала параметров зоны дорожно-ремонтных работ. Для получения искомых результатов использовались методы планирования эксперимента при независимых и смешанных количественных параметров.

Методика позволяет установить количественные зависимости времени задержек автомобилей в зоне дорожно-ремонтных работ от длины перекрываемого участка, а также определять границы применения методов регулирования движения автомобилей в зоне ремонта в зависимости от ее параметров. Для метода принудительного регулирования можно устанавливать

оптимальные циклы регулирования по критерию минимума транспортных расходов.

Ключевые слова: имитационное моделирование, теория эксперимента, факторное пространство

Annotation. The article describes a method of determining the value of time spent in transport passing through one lane in variables work zone. To get the desired results of experimental design techniques used for independent and mixed quantitative variables.

The technique allows to establish quantitative dependence of the delay of vehicles in the area of road repair work on the length of overlapping station and to determine the scope of application of methods of regulation of vehicles in the work zone depending on its parameters. For the method of enforcement of regulation may establish optimal cycle regulation on the criterion of minimum transportation costs.

Keywords: simulation, theory of experiment, factor space

Постановка проблеми

Затримки автомобілів при проїзді в зоні дорожньо-ремонтних робіт призводять до суттєвих економічних втрат. В зв'язку з цим актуальним є дослідження втрат часу автомобілів в залежності від просторових параметрів зони ремонтних робіт і параметрів транспортного потоку. Обмежена можливість активного експерименту висуває задачу побудови математичних моделей, які б з певним ступенем адекватності описували процес затримки автомобілів в зоні ремонту дороги.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Оптимізації параметрів робочої зони ремонту за кордоном приділяється велика увага: досліджуються такі параметри [1,2]:

- мінімальна і максимальна довжина робочої зони;
- максимізація продуктивності дорожньо-ремонтних робіт;
- максимально терпимі затримки транспорту;
- оптимальний сезон виконання робіт;
- кількісна оцінка затримок в результаті зниження пропускнуої здатності в робочій зоні;

- вплив затримок на альтернативні проекти ремонту тощо.

З метою дослідження цих параметрів використовуються імітаційні моделі та автоматизовані інформаційні системи робочої зони [3]. Проте, ще у 1980-х роках в Україні була розроблена імітаційна модель, яка дозволяє дослідити наведені параметри робочої зони [4].

Постановка завдання

Викласти основні результати досліджень затримок транспорту в зоні дорожньо-ремонтних робіт на двосмугових дорогах.

Викладення основного матеріалу

З метою дослідження затримок транспорту в зоні дорожньо-ремонтних робіт без припинення руху була побудована імітаційна модель, яка працює в двох режимах: з примусовим регулюванням руху і без регулювання.

Для режиму без регулювання час затримки автомобілів досліджувався при наступних умовах: інтенсивність руху 10-200 авт./год. в кожному напрямку, довжина перекритої ділянки 50-500 м, допустима швидкість в зоні ремонту 20-40 км/год. У вказаному інтервалі інтенсивності руху час між прибуттям автомобілів у розглядувану систему розподіляється по експоненціальному закону [5]. Для отримання значимих оцінок середнього часу затримки результати визначались з урахуванням автокореляції даних (в зв'язку з використанням випадкових величин генератора псевдовипадкових чисел) за допомогою автокореляційної функції [6]. Була також підтверджена гіпотеза про нормальний розподіл шуканої величини при однакових умовах моделювання.

Для отримання шуканої залежності використовувались методи планування експерименту при незалежних і змішаних кількісних змінних. В якості незалежних змінних (факторів) прийняті: N_1 і N_2 – часові інтенсивності руху в прямому і протилежному напрямках, L – довжина перекритої ділянки, V – регламентована швидкість руху автомобіля в зоні ремонту. В якості змішаних змінних прийняті $\varphi_{\bar{e}}, \varphi_r, \varphi_A$ – відповідно частки легкових, вантажних автомобілів і автобусів в загальному потоці транспортних засобів – $\varphi_{\bar{e}} + \varphi_r + \varphi_A = 1$. Відгуком є середня величина часу затримки одного автомобіля.

Як правило, при вивченні складних систем методом математичного планування експерименту застосовують поліноміальні моделі. Однак, при наявності одночасно і змішаних і незалежних змінних використання в якості

моделей звичайних поліномів внаслідок нормованості суми змішаних змінних неможливо. В подібних випадках застосовуються моделі і відповідні їм плани, отримані по методу прямих добутоків множини симплекс-решітчастих D_c і ортогональних факторних D_h планів [7]. План D_{ch} можна інтерпретувати як реалізацію планів D_h в кожній точці D_c . Оцінки коефіцієнтів моделі отримуються за відомими формулами для відповідного змішаного полінома [8], тільки замість відгуків в формули підставляються функції відгуків, отриманих по даним факторних планів D_h , реалізованих у відповідних точках D_c .

В якості ортогональних факторних планів D_h був використаний план повного факторного експерименту ПФЕ²⁴. В кожній із вершин симплекса проводився експеримент по цьому плану з однорідним за складом транспортним потоком.

При реалізації факторних планів D_h з інтервалами варіювання, що охоплюють весь досліджуваний простір факторів, з'ясувалось, що в деяких точках плану отримуються різко визначені відгуки. Дільниця поверхні відгуку, на якому спостерігаються різкі відхилення досліджуваних даних (назвемо її «особливою» ділянкою), як правило, відповідає якісним змінам досліджуваного процесу і тому представляють суттєвий інтерес. Аналіз умов експерименту на «особливій» ділянці поверхні відгуку виявив наступну картину. При певних сполуках значень незалежних змінних (наприклад: $N_1 = 200$ авт./год., $N_2 = 200$ авт./год., $L = 500$ м, $V = 20$ км/год.) коефіцієнт пропускної здатності системи буде більше одиниці, тобто черга автомобілів перед зоною ремонту необмежено зростає з часом. Було прийнято рішення про розподіл досліджуваного факторного простору на чотири підпростори за незалежними змінними N_1 та N_2 і перевірці сумісності призначених рівнів варіювання решти незалежних змінних.

Після реалізації числового комп'ютерного експерименту отримані дані оброблялись методами регресійного аналізу для розрахунку значень коефіцієнтів при незалежних змінних в регресійній моделі. У всіх процедурах перевірок за критеріями задавався 5%-ий рівень значущості. Перевірка гіпотези про однорідність дисперсії відгуків за критерієм Кохрена показала, що дисперсії неоднорідні і підпорядковуються залежності:

$$\sqrt{\sigma^2 \frac{2}{y}} = v \bar{y} \quad (1)$$

де $\sigma^2 \frac{2}{y}$ - дисперсія в експериментальній точці;

V - коефіцієнт варіації;

$\bar{y}$ - середнє арифметичне значення відгуку в експериментальній точці.

Для забезпечення однорідності дисперсії застосовувалось перетворення відгуку у відповідності з процедурою, викладеною в [8], за формулою:

$$Y_n = \ln Y \quad (2)$$

де Y_n - перетворене значення відгуку;

Y - відгук (результат дослід).

У відповідності з критерієм Стюдента з регресійних моделей виключались статистично не значимі коефіцієнти регресії. Перевірка адекватності моделей, побудованих за планами ПФЕ2⁴, після виключення не значимих коефіцієнтів виконувалась за критерієм Фішера. З метою перевірки адекватності симплекс-решітчастих моделей з використанням критерію Стюдента, додатково проводився експеримент в центрах симплексів для кожного з підпросторів за планом ПФЕ2⁴ для складу руху: 1/3 легкових автомобілів, 1/3 вантажних автомобілів та 1/3 автобусів.

Отримані рівняння регресії мають вигляд:

$$Z = \varphi_e \cdot \exp \cdot \alpha_e + \varphi_r \cdot \exp \cdot \alpha_r + \varphi_A \cdot \exp \cdot \alpha_A \quad (3)$$

де Z - середній час затримки автомобіля, с;

$$\begin{aligned} \alpha_i = & B_0 + B_1 N_1 + B_2 N_2 + B_3 L + B_4 V + B_{12} N_1 N_2 + \\ & B_{13} N_1 L + B_{14} N_1 V + B_{23} N_2 L + B_{24} N_2 V + \\ & + B_{34} L V + B_{123} N_1 N_2 L + B_{124} N_1 N_2 V + B_{134} N_1 L V + B_{234} N_2 L V + B_{1234} N_1 N_2 L V \end{aligned} \quad (4)$$

де B_j - коефіцієнт рівняння регресії.

Вартість часових втрат C , викликаних затримками автомобілів, може бути визначена за формулою:

$$C = 3600^{-1} N (C_L \varphi_e \exp \cdot \alpha_e + C_r \varphi_r \exp \cdot \alpha_r + C_A \varphi_A \exp \cdot \alpha_A) \quad (5)$$

де $N = N_1 + N_2$ - сумарна інтенсивність руху з двох сторін;

$C_{\text{л}}, C_{\text{т}}, C_{\text{А}}$ - середні витрати на одну годину затримки легкового, вантажного автомобіля та автобуса, грн. / год.

В результаті проведених досліджень отримані наступні коефіцієнти при незалежних змінних (табл.1).

Таблиця 1 - Коефіцієнти при незалежних змінних для легкових автомобілів в режимі руху без регулювання

Інтервал інтенсивності, авт./год.	$N_1 N_2 V$	$N_1 L V$	$N_2 L V$	$N_1 N_2 L V$
10 - 100	$-5 \cdot 10^{-9}$	$64 \cdot 10^{-9}$	$84 \cdot 10^{-9}$	$-6 \cdot 10^{-9}$
10 - 140	$2 \cdot 10^{-7}$	$-1 \cdot 10^{-7}$	$-9 \cdot 10^{-9}$	$-4 \cdot 10^{-9}$
10 - 170	$1 \cdot 10^{-7}$	$-14 \cdot 10^{-8}$	$-8 \cdot 10^{-9}$	$-2 \cdot 10^{-9}$
10 - 200	$3 \cdot 10^{-7}$	$-8 \cdot 10^{-8}$	$-8 \cdot 10^{-8}$	$-17 \cdot 10^{-10}$

Отримані залежності дозволяють визначити транспортні втрати для всього діапазону інтенсивності руху в режимі без регулювання.

Так як в результаті досліджень було з'ясовано, що при інтенсивності руху до 100 авт./год. в одному напрямку, довжині перекритої ділянки до 500 м і швидкості руху в зоні ремонту від 20 до 40 км/год. пропуск руху можливий (при будь-яких сполученнях цих факторів) в режимі без регулювання, то в режимі з регулюванням досліджувалась інтенсивність руху від 100 до 350 авт./год. Верхня межа інтенсивності була обрана виходячи з того, що на двосмугових дорогах інтенсивності, що перевищують 350 авт./год. зустрічаються рідко. Значення решти параметрів відбирались в діапазонах аналогічних режиму без регулювання. Додавався тільки ще один параметр – T – цикл регулювання, котрий складається з часу зеленого, жовтого і червоного сигналів.

У вказаному інтервалі інтенсивності руху час між прибуттям автомобілів розподіляється за законом Пірсона III типу [5]:

$$P_{(x)} = \frac{\lambda}{\tilde{A}(k)} \cdot e^{-\lambda x} \cdot x^{k-1}. \quad (7)$$

Планування експерименту для режиму з регулюванням проводилось аналогічно режиму без регулювання, тільки в зв'язку з додатковим фактором – Т – проводився не ПФЕ2⁴, а ПФЕ2⁵.

Факторний простір N_1 та N_2 було розбито на два підпростори $N = 100-200$ авт./год. та $N = 100-350$ авт./год. Попередньо для кожного з двох підпросторів розраховується мінімальний можливий цикл регулювання.

Вартість втрат часу для режиму з регулюванням розраховується аналогічно режиму без регулювання.

Висновки

Важливу роль у створенні раціональної організації ремонтних робіт грає удосконалення методів обґрунтування параметрів робочої зони. Приймаючи до уваги складний, динамічний, стохастичний характер проїзду автомобілів в робочій зоні ремонту дороги, аналітичний опис цього процесу не представляється можливим. Розроблена імітаційна модель дорожнього руху в зоні ремонтних робіт дозволяє визначити втрати від затримки автомобілів при будь-яких значеннях просторових параметрів зони ремонту.

Література

1. Khanta, Pothu Raju. Evaluation of Traffic Simulation Models for Work Zones in the New England Area (2008). [Електронний ресурс] / Pothu Raju Khanta // Masters Theses 1896 - February 2014. Paper 184. – Режим доступу: <http://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1262&context=theses1>.
2. Astarita Vittorio Traffic delays estimation in two-lane highway reconstruction [Електронний ресурс] / Vittorio Astarita, Vincenzo Pasquale Giofrè, Giuseppe Guido a and Demetrio Carmine Festa // The 5th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT-2014). – Р. 331-338. – Режим доступу: http://ac.els-cdn.com/S1877050914006322/1-s2.0-S1877050914006322-main.pdf?_tid=71abde18-a687-11e4-b886-00000aacb35d&acdnat=1422406318_3be59227ca2e8ca0a0d599f2d5e90f5e
3. Chu Lianyu Evaluation of Traffic Delay Reduction from Automatic Workzone Information Systems Using Micro-simulation [Електронний ресурс] / Lianyu Chu, Henry X. Liu, Will Recker – Режим доступу: http://www.its.uci.edu/its/publications/papers/JOURNALS/TRB_05-2751.pdf.
4. Леонтьев Ю.М. Оптимізація параметрів організації дорожньо-ремонтних робіт: дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата техн.наук: 05.23.14 / Леонтьев Ю.М. – К., 1987. – 160 с
5. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
6. Шенон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 410 с.
7. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. М.: Наука, 1976. – 330 с.
8. Рузинов Л.Н., Слободчикова Р.И. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. М.: Химия, 1980. – 280 с.

Лихоступ М.М., канд. техн. наук

ОРГАНІЗАЦІЯ СЛУЖБИ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ ГОСПОДАРСТВОМ РЕГІОНУ

Анотація. Основою для визначення задач управління дорожнім господарством регіону насамперед є інформація про стан елементів транспортних споруд. Регулярне отримання такої інформації вимагає створення спеціальних служб моніторингу стану доріг та мостів. Організація служби інформаційного забезпечення про стан транспортних споруд може мати три основні форми, що визначаються особливостями управління станом транспортних споруд регіону.

Ключові слова: інформація, стан транспортних споруд, служба моніторингу

Аннотация. Основой для формирования задач управления дорожным хозяйством региона прежде всего есть информация о состоянии элементов транспортных сооружений. Регулярное получение такой информации требует создания специальных служб мониторинга состояния дорог и мостов. Организация службы информационного обеспечения о состоянии транспортных сооружений может иметь три основные формы, которые определяются особенностями управления состоянием транспортных сооружений региона.

Ключевые слова: информация, состояние транспортных сооружений, служба мониторинга

Annotation. As basis for problems composition of management regional road economy is a information about road constructions conditions. Regular receipt this information is able with special office for monitoring of road constructions conditions. Work organization this office has three forms, which are depending on management conditions of regional roads net.

Key words: information, conditions of road constructions, monitoring office

Вступ

Управління системою дорожнього господарства регіону насамперед вимагає інформації про типи та обсяги робіт, що повинні бути виконані на окремих об'єктах транспортного призначення. Тому виникає необхідність у створенні спеціальної служби чи виділення окремої групи працівників, які на основі даних про стан транспортних споруд змогли б визначити цю інформацію. Створення служби інформаційного забезпечення, що використовується в системі управління дорожнім господарством регіону, може мати три варіанти – це створення спеціальної виділеної структури в обласній дорожній організації, це реорганізація вже існуючих відділів експлуатації транспортних споруд або залучення на конкурсній основі спеціальних сторонніх організацій.

Постановка проблеми та її зв'язки з науковими та практичними завданнями

Основою системи моніторингу стану доріг та транспортних споруд є організований в певний час та якісно проведений збір відповідної інформації із використанням різноманітних методів та інструментів. У будь-якому випадку моніторинг стану автомобільних доріг повинен бути підпорядкований єдиній політиці розвитку дорожнього господарства. Історичний досвід розвитку системи моніторингу стану доріг (з 1996 р., коли почала створюватись перша модель управління дорожнім господарством ІАСУДГ – інформаційно-аналітична система управління дорожнім господарством до 2010 р., коли політика розвитку інформаційних технологій в дорожній галузі підпорядковується спеціальній структурі – ДОРІНФОЦЕНТРУ) дозволяє зробити висновок про те, що ця робота повинна проводитись у відповідності із єдиною галузевою політикою та виділенням при цьому галузевих ознак. Наприклад, моніторинг стану доріг та система прийняття рішень щодо покращання стану транспортних споруд повинна відповідати регіональним (обласним) особливостям або розвиватися з урахуванням типів покриттів чи значень доріг. Таким чином вся система моніторингу стану елементів доріг та транспортних споруд повинна підпорядковуватись тільки тенденціями та офіційним документам, що створюються для цього державними органами

управління дорожнім господарством, а власне проведення такої роботи є справою обласних дорожніх організацій..

В обласних службах автомобільних доріг організацію та проведення роботи з моніторингу стану доріг рекомендується розвивати за такими напрямками.

Перший напрямок. Організація та виконання робіт з моніторингу стану елементів доріг та транспортних споруд здійснюється спеціальним підрозділом (відділом чи службою Замовника), тобто власними силами Служби автомобільних доріг. Такий напрямок рекомендується як найкращий та перспективний, так як організація власної служби моніторингу стану доріг та транспортних споруд дає змогу не тільки об'єктивно оцінити стан доріг і споруд, але і розвинути таку важливу функцію Замовника як розвиток системи планування робіт на різних рівнях управління та при різних умовах виконання програм робіт, серед яких актуальними є такі задачі:

- складання оперативних планів виконання окремих видів робіт (в першу чергу – ремонтів та утримання доріг і споруд) в умовах поточних обмежень ресурсів (в першу чергу фінансових) та зовнішніх умов – адміністративних, ситуацій надзвичайного стану, природних явищ;
- формування річних програм робіт виконання на окремих об'єктах – дорогах та різних групах транспортних споруд з обґрунтуванням витрат ресурсів;
- організація конкурсних торгів по виконанню річних програм робіт на окремих об'єктах;
- обґрунтування перспективних (на 5 років) планів виконання різних видів робіт – ремонтів та експлуатаційного утримання та заснування обсягів ресурсів для їх реалізації.

Такий напрямок розвитку служби моніторингу доріг та транспортних споруд можливий при умові:

- затвердженої штатної структури працівників відділу (служби) моніторингу доріг і споруд та річного бюджету на її утримання;
- наявності власної бази – служби (працівники) та виробничого приміщення (лабораторна база);

- розробленого регламенту роботи – інструкцій виконання службових обов’язків працівниками, наявності затвердженого методичного та програмно-інформаційного забезпечення, яке використовується для роботи з моніторингу стану доріг і споруд та є основою для формування відповідних банків даних.

Штатна структура такої служби моніторингу стану доріг і транспортних споруд рекомендується визначати структурою, що визначена в табл.1.

Технічне забезпечення такої служби повинне складати:

- виробниче (гараж для одного мікроавтобуса суміщений з розміщенням лабораторних інструментів та приладів) та службове (біля 20 кв.м) приміщення;
- персональні комп’ютери (ПК) – 3 шт.: 1 шт – бортовий ноут-бук; 2 – стаціонарні ПК, які є також і віддаленими робочими місцями інформаційної служби, яке вирішує задачі управління дорожнім господарством із використанням банків даних про стан доріг та транспортних споруд;
- пересувна дорожня лабораторія – мікроавтобус, оснащений сучасними інструментами та приладами для збору даних про стан доріг і транспортних споруд в умовах руху транспортних потоків;
- транспортний засіб лінійного майстра.

Принципово за стан доріг чи транспортної споруди несе повну відповідальність лінійний майстер, умови та вимоги до роботи якого визначаються у посадовій інструкції. Він повинен затверджувати графіки виконання робіт із спостереження за станом доріг і споруд та збору відповідних даних, а також визначати обсяги та терміни виконання оперативних робіт, що пов’язані із оцінкою стану окремих елементів доріг і споруд.

Начальник відділу (служби) моніторингу стану доріг складає плани робіт із виконанням польових спостережень за станом елементів доріг і окремих транспортних споруд та організує і контролює роботу по збору відповідної інформації.

Роботи по визначенню показників та параметрів стану доріг і споруд виконують експерти – спеціалісти, які володіють знаннями про користування відповідними приладами та інструментами, а також досконало володіють відповідним для цього методичним та програмно-інформаційним забезпеченням.

Таблиця 1 – Рекомендована штатна структура служби моніторингу доріг і споруд

Назва та посада спеціалістів	Кількість, чол.	Місце виконання обов'язків
Начальник (інженер-будівельник за спеціальністю „Автомобільні дороги та аеродроми” чи „Мости і тунелі”)	1	Службове приміщення
Експерт із визначення стану доріг (інженер-будівельник)	2	Виробниче приміщення, об'єкти
Лінійні майстри (інженер-будівельник)	1-2	Службове приміщення, об'єкти
Інженер-системотехнік (інженер з комп'ютерних технологій)	1-2	Виробниче приміщення Службове приміщення
Водій автотранспортного засобу	1	Виробниче приміщення, об'єкти
Менеджер з організації виробництва (інженер-економіст)	1	Службове приміщення
Всього:	8 – 10 чол.	

Формування банків даних, контроль достатності та якості даних, а також роботи із формуванням та підтриманням відповідних банків даних займаються інженери-системотехніки. Для підвищення якості такої роботи корисним є переміщення цих спеціалістів по окремим функціональним місцям – робота в польових умовах, виконання робіт по імпорту даних до центрального банку та контроль цільності інформації, аналіз оперативного стану банку даних та планування робіт з його актуалізацією.

Менеджер з організації виробництва виконує роботи по передачі інформації із банків даних до служб та відділів, що займаються роботами по вирішенню задач з управління дорожнього господарства – планування робіт, визначення ресурсного та фінансового забезпечення, організація та контроль руху транспортних потоків та інші задачі. Менеджер з організації виробництва повинен приймати побажання та зауваження щодо розвитку банків даних, їх подальшою організацією як за структурою, так і якісним наповненням.

Світовий досвід свідчить про те, що такий напрямок розвитку служби моніторингу стану доріг та транспортних споруд є досить перспективним та надійним для виконання робіт з управління дорожнім господарством регіону в незалежних умовах прийняття рішень.

Другий напрямок. Полягає у розвитку вже існуючого в обласній Службі автомобільних доріг відділу з ремонтів та експлуатаційного утримання доріг шляхом залучення додаткових спеціалістів, а саме:

- експертів із визначення стану доріг та транспортних споруд (2-3 інженери-будівельники відповідних спеціальностей);
- інженерів – системотехніків, які володіють комп’ютерними технологіями по організації банків даних у різних умовах обробки даних (в електронних таблицях, наприклад, EXCEL, в оболонках різних СУБД);
- інженера-менеджера з організації виробництва.

У цьому випадку відповідальність за формування банків даних про стан доріг і транспортних споруд несе начальник відділу з ремонтів та експлуатаційного утримання. Збирання інформації про стан елементів доріг та транспортних споруд здійснюють спеціальні служби, які працюють в структурі Генерального Замовника (Укравтодору) або є незалежними в цій структурі, а їх запрошення на роботу в обласну Службу автомобільних доріг для збору даних про оцінку стану елементів доріг і транспортних споруд здійснюється в порядку проведення конкурсних торгів.

Експерти із визначення стану елементів доріг та транспортних споруд виконують планові роботи по формуванню банків даних про їх ушкодження та руйнування із занесенням отриманої інформації у відповідні журнали. Заповнення журналів інформацією відбувається із використанням відповідних методик та інструкцій, які в свою чергу визначають порядок оцінки рівнів руйнувань (деформацій), визначення причини, що їх визвали та встановлення міри (величини) враження поверхні покриття чи іншого елемента дороги за кількісними характеристиками.

Інженери-системотехніки переносять цю інформацію із журналів експертів до банків даних шляхом прямого доступу до них чи шляхом імпорту інформації, коли вина попередньо складена в форматі електронних таблиць EXCEL. Слідуючий етап роботи інженерів – системотехніків – це контроль за правильністю зібраної інформації як за якісними характеристиками, так і за кількісними оцінками.

Менеджер з організації виробництва виконує функції координатора процесу збирання, опрацювання, використання та зворотнього контролю використання даних, а саме:

- виконуються роботи по замовленню робіт з моніторингу стану доріг, в чому числі і через організацію конкурсних торгів;
- організація роботи по використанню банків даних про стан доріг та транспортних споруд при вирішенні різноманітних задач управління дорожнім господарством та налагодження системи вирішення окремих задач шляхом проведення спеціальних робіт, залучення сторонніх спеціалістів, використання певного програмно-інформаційного забезпечення;
- формування замовлень від працівників Служби щодо розвитку банків даних та обробка зауважень щодо їх структури, якісного та кількісного наповнення і строків виконання оперативних робіт по отриманню необхідної інформації.

Третій напрямок. Полягає у тому, що моніторинг стану елементів доріг та транспортних споруд виконують зовнішні служби – державні чи приватні організації або фірми, які мають відповідний досвід роботи в цьому напрямку та офіційний дозвіл і ліцензію на проведення робіт. Проведення відповідних робіт здійснюється в порядку проведення конкурсних торгів. Приймання робіт здійснюють представники Служби автомобільних доріг, які власне і відповідають за всю роботу по організації та проведенню моніторингу стану доріг і транспортних споруд. Отримана інформація про стан елементів доріг і транспортних споруд зберігається на сервері Служби автомобільних доріг і може використовуватись для вирішення різних задач управління дорожнім господарством різними її відділами і службами.

Кожен із названих напрямків має свої переваги та недоліки і рекомендується для використання в такому порядку.

На етапі розгортання системи моніторингу стану доріг та транспортних споруд відповідні роботи рекомендується виконувати у відповідності із третім напрямком – силами зовнішніх організацій та відповідних фірм.

Після накопичення в достатньому обсязі відповідної інформації про стан доріг і споруд та розгортання процесів її використання для вирішення конкретних задач виникне необхідність в отриманні не тільки достатньої кількості даних, але також і якісної інформації, в тому числі і оперативних даних про стан елементів доріг і споруд. В такому випадку розгортання служби моніторингу доріг і споруд рекомендується продовжити за другим напрямком,

коли у відділі ремонту та експлуатаційного утримання доріг вводяться додаткові працівники для виконання відповідних робіт.

Останній етап – етап широкого використання даних про стан доріг та споруд шляхом автоматизованого вирішення більшості задач планування та управління дорожнім господарством – сприяє розвитку першого напрямку організації служби моніторингу доріг власними структурами, що мають спеціальну штатну структуру фахівців, виділений бюджет, спеціальний інструмент та обладнання і власну виробничу базу.

Принципово такий рекомендований порядок розгортання служби моніторингу доріг та транспортних споруд не має жорстких обмежень, тобто така служба може бути розгорнута за будь-яким, але обґрунтованим для практичного використання напрямком, що приносить реальний позитивний ефект і може бути реалізований у виробництві.

Висновки

Організація спеціальних служб інформаційного забезпечення на рівні обласних дорожніх організацій дозволяє ефективно вирішити ряд важливих практичних задач, а саме:

- здійснювати регулярне спостереження за станом елементом автомобільних доріг та здійснювати активну підтримку відповідних банків даних;
 - складати обґрунтовані плани виконання робіт на окремих транспортних спорудах з урахуванням виділених фінансових ресурсів та наявної в регіоні технічної бази;
 - надавати інформацію про типи та обсяги робіт, що повинні бути виконані на окремих об'єктах, для розробки певної робочої документації (проектів) щодо їх виконання;
 - формувати інформацію та надавати оперативні відомості про характеристики програми робіт на окремих об'єктах чи групах доріг на рівні організації конкурсних торгів;
 - надавати інформацію про обсяги та характеристики робіт, яка може бути використана при складанні проектів організації виробництва;
- здійснювати контроль за виконанням планових обсягів робіт та вносити в оперативному порядку зміни у виконання програм робіт.

УДК 556.048:625.745

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

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ**

Анотація. Розглянуті особливості прогнозування коротких гідрологічних часових рядів методом локальної аппроксимації.

Об'єкт дослідження: добові ряди витрат води з різними інтервалами усереднення.

Мета роботи: підвищення якості прогнозування коротких гідрологічних часових рядів.

З метою кращої прогнозованості часових рядів методом **LA** запропонований простий спосіб їх попередньої **SVD**-фільтрації.

Аналізуються результати прогнозування попередньо фільтрованого гідрологічного ряду.

Ключові слова: гідрологічні часові ряди, метод локальної аппроксимації, **SVD**-фільтрація одномірних часових рядів, прогнозування фільтрованого гідрологічного ряду.

Аннотация. Рассмотрены особенности прогнозирования коротких гидрологических временных рядов методом локальной аппроксимации (методом **LA**).

Объект исследования : суточные ряды расходов воды с разными интервалами усреднения.

Цель работы: повышение качества прогнозирования коротких гидрологических временных рядов.

С целью лучшей прогнозируемости временных рядов методом локальной аппроксимации предложен простой способ их предварительной **SVD**-фильтрации.

Анализируются результаты прогнозирования предварительного фильтрованного гидрологического ряда.

Ключевые слова: гидрологические временные ряды, метод локальной аппроксимации, **SVD** – фильтрация одномерных временных рядов, прогнозирование фильтрованного гидрологического ряда.

Annotation. In article are considered particularities of the forecasting short hydrological time series by Local Approximation Method (**LA**).

Object of the study: it is streamflows with different intervals of the averaging.

Purpose of the investigation: increasing forecast quality of short hydrological time series. Preliminary **SVD**-filtering was used for improvement forecasting quality.

Was learning the action to preliminary filtering on quality of the forecasting and engineering method was designed.

Keywords: hydrological time series, the Local Approximation forecasting method, Singular Value Decomposition, **SVD**-filtration method for one-dimension time series, forecasting of filtering hydrological time series (streamflows).

Введение

Как известно, речной сток является одной из важнейших базовых характеристик при проектировании мостовых переходов и различных гидротехнических сооружений.

В настоящее время гидрологическое прогнозирование базируется на метеорологической информации.

При этом надежность такого прогноза во многом зависит от качества метеорологических данных и возможностей их доступа к архивным и оперативным материалам.

Как показывает практика применения программных комплексов на основе использования метеорологических характеристик, достоверные

результаты при прогнозировании получаются только на первые (максимум вторые) сутки прогноза.

Новые возможности открывают современная математическая теория нелинейной динамики, которая предлагает различные приёмы и методы прогнозирования. При этом не требуется знания аналитической зависимостей, описывающих поведение объекта во времени, а исследуется только его конкретный временной ряд.

С точки зрения нелинейной динамики в таком временном ряде уже содержится и закон эволюции ряда, и начальные условия, т.е. все достаточные для его прогнозирования.

Также это практически единственный способ, который можно использовать в ситуации, когда никакой другой информации о поведении объекта кроме значений временного ряда, нет.

Одним из наиболее эффективных и простых в реализации методов прогнозирования временных рядов является метод локальной аппроксимации (**LA**-метод).

В [1] были рассмотрены особенности прогнозирования временных рядов **LA**-методом нулевого порядка.

Одно из преимуществ прогнозирования этим методом по сравнению с другими методами состоит в том, что предварительная обработка исходных временных рядов в принципе не требуется.

Однако такое преимущество прежде всего относится к случаям, когда временные ряды имеют достаточную для реализации метода длину (порядка 10000 точек ряда и более).

На практике обычно приходится работать со значительно более короткими рядами.

В этой связи представляет особый интерес оценка возможностей **LA**-метода для прогнозирования коротких, предварительно не обработанных гидрологических рядов.

Для повышения качества прогноза таких рядов предлагается также дополнительно использовать предварительную «неглубокую» **SVD** – фильтрацию исходного временного ряда.

Разработки осуществляются в рамках специализированного программного комплекса анализа и прогнозирования гидрологических временных рядов на основе методов нелинейной динамики и детерминированного хаоса.

В исследовании использовалась векторно-матричная нотация, принятая в системе **MATLAB** и её аналогах.

Прогнозирование коротких гидрологических рядов методом локальной аппроксимации

Рассмотрим процесс прогнозирования расхода воды, $\text{м}^3/\text{с}$, на 1 месяц (30 суток) вперёд методом локальной аппроксимации.

В качестве исходных данных был принят временной гидрологический ряд среднесуточных расходов по данным одного из стоковых постов р. Десна.

Использовались параметры прогнозирования согласно [1]:

DIM - размерность реконструированного фазового пространства, равная числу столбцов траекторной матрицы:

NNV – число аналогов, находимых для текущего вектора состояния;

N – общее число точек, на которое прогнозируется данный ряд;

NFS – число точек (шагов), на которое осуществляется прогноз за одно обращение(один такт) к процедуре **LA** - прогнозирования;

LS – общая длина ряда, используемая для прогноза, точек.

При этом на вход процедуры прогнозирования поступала только часть исходного ряда, определяемая разностью **LS-N**.

Временная задержка **TAY**, необходимая при формировании траекторной матрицы, была принятой равной единице [1].

Как показали расчеты, для прогнозирования на 30 суток вперед необходимо сразу получить 30 прогнозных значений (точек), что оказалось в данном случае невыполнимым.

Поэтому далее использовался ряд расходов, усредненный по 5 суткам (одна точка временного ряда на графике соответствует среднему за 5 суток). То есть такие данные подразумевают дискретность в 5 суток.

Обозначим такой ряд как **DESNA-005**.

Применяя одношаговое прогнозирование, например, 300 раз, можно получать прогнозные значения на протяжении 1500 суток на основе значений реального ряда.

Результаты одношагового прогнозирования ряда **DESNA-005** при длине исходного ряда **LS=7920** значений (точек) и параметрах прогнозирования **NFS=1**, **DIM=1**, **NNV=300** и **N=300** приведены на рис.1.

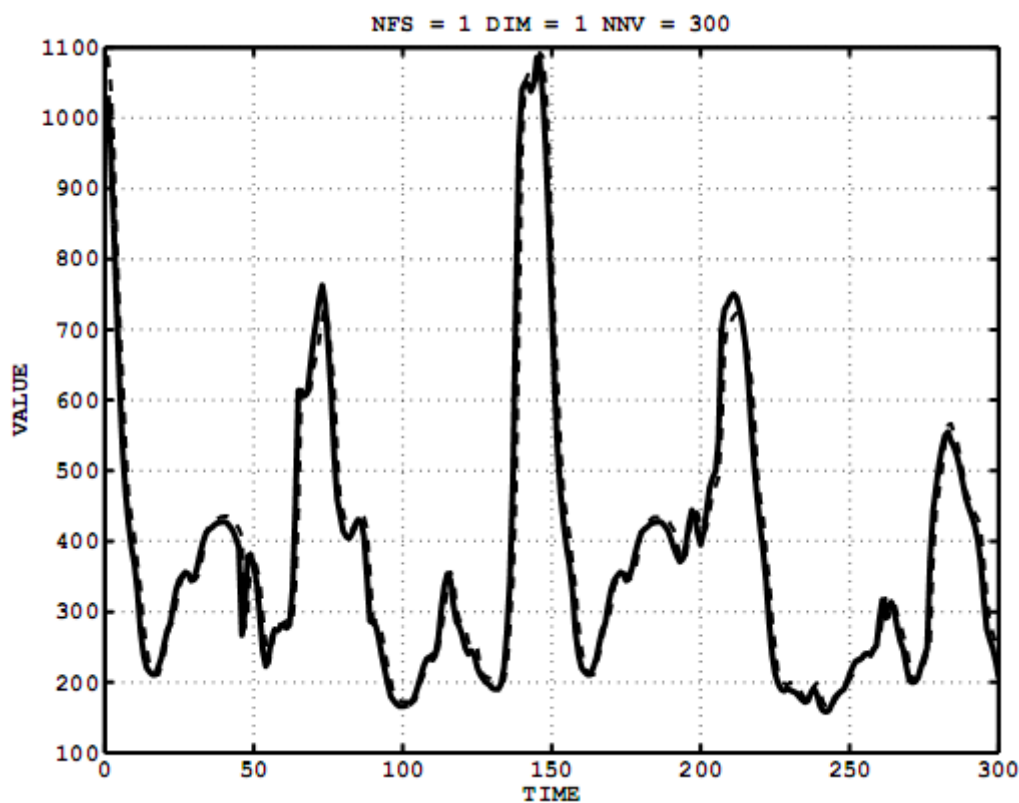


Рисунок 1

В данном случае, как видно из рис.1, наблюдается почти полное совпадение значений исходного ряда (сплошная линия) и рассчитанных прогнозных значений (штриховая линия) даже для таких рядов с фрактальным видом кривой.

Мерой качества прогноза предворительно выбран коэффициент корреляции **C** между соответствующими значениями участка реального (исходного) ряда и прогностического ряда (**N**).

Применение коэффициента корреляции является весьма удобным, поскольку в данном случае достигается прогноз достаточно высокого качества

($C=0,9782$), а использование мер, связанных с абсолютными, относительными и другими ошибками, оказалось менее информативным.

Приведенный выше график четко свидетельствует о детерминируемости гидрологического ряда, поскольку для «случайного» ряда, сгенерированного с помощью «Генератора случайных чисел», не удалось получить адекватного прогноза даже на одну точку вперед.

В этой связи можно говорить о том, что метод локальной аппроксимации также является методом анализа временных гидрологических рядов на детерминируемость, т.е. с помощью данного метода можно легко отличить детерминируемый ряд от ряда «случайного».

Однако для решения задачи прогнозирования ряда на 1 месяц (30 суток) вперед в данном случае необходимо за один такт процедуры прогнозирования получить 6 прогнозных значений (точек).

Расчеты показали, что и в этом случае качество прогноза оказывается неудовлетворительным.

Поэтому далее использовались ряды с большими интервалами усреднения (ряды с усреднением по 10 суткам).

Как оказалось, адекватно прогнозировать величину расхода для ряда **DESNA-010** (см.рис.2) также возможно только на одну точку (10 суток) вперед, но с достаточно большой точностью ($C=0,9405$ при значениях **LS**= 3960 точек, **NFS**=1, **DIM**=1, **NNV**=50 и **N**=160).

Для прогноза участка ряда на 30 суток вперед необходимо за один такт процедуры осуществить прогнозирование сразу на 3 точки вперед.

Однако качество прогноза оказалось при этом также невысоким.

На рис.3 представлены результаты одношагового прогнозирования для ряда **DE**

Полученное значение коэффициента корреляции составило $C=0,8418$.

Заметим, что только изменением одного из параметров прогнозирования (**NNV**) удалось повысить значение коэффициента корреляции до величины $C=0,8625$ (использован параметр **NNV**=300).

Получение прогноза сразу на 30 суток вперёд возможно в данном случае при значении NFS=2 (двухшаговом прогнозировании, т.е. прогнозировании на 2 точки за 1 такт процедуры).

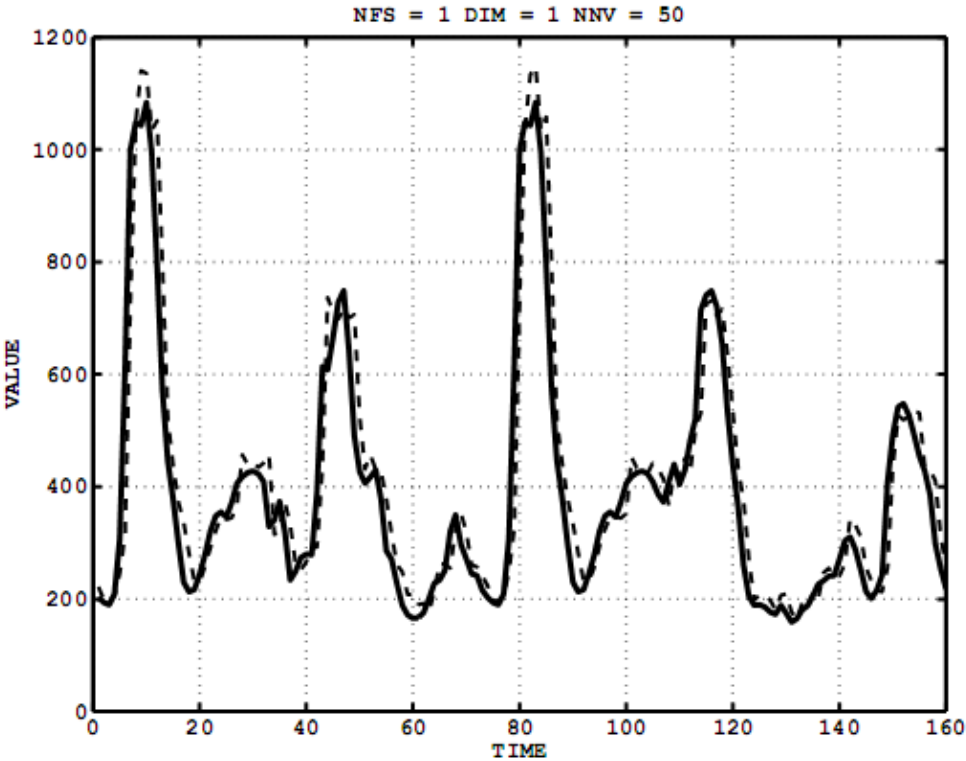


Рисунок 2

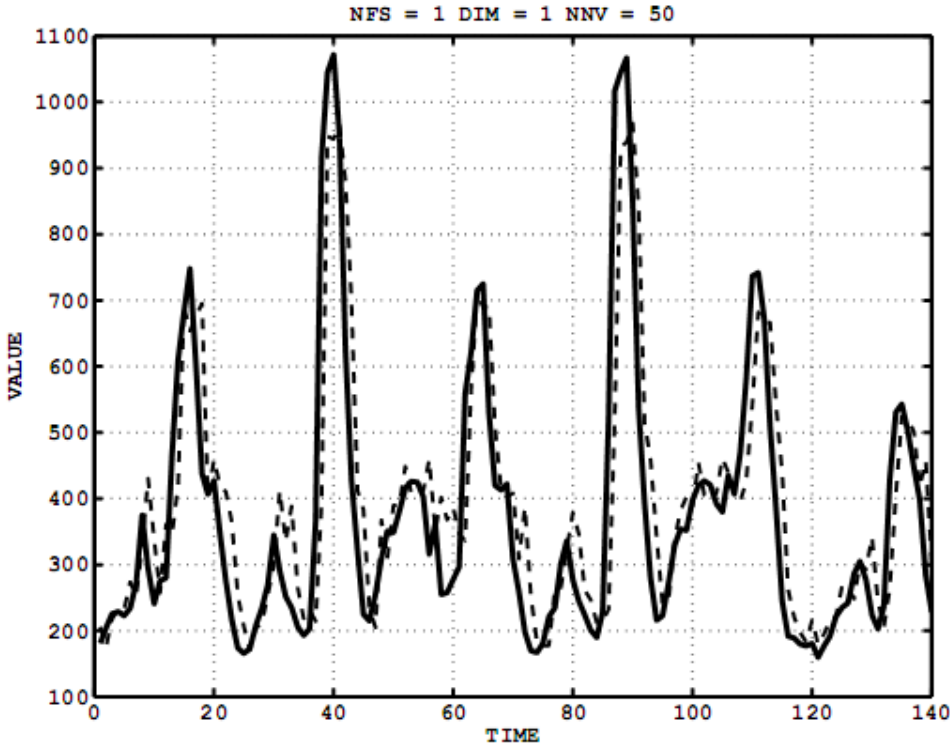


Рисунок 3

На рис.4 представлен один из лучших полученных результатов прогноза расходов воды на 30суток для участка ряда **DESNA-015** (**LS=2640**, **NFS=2**, **DIM=12**, **NNV=12** и **N=140**).

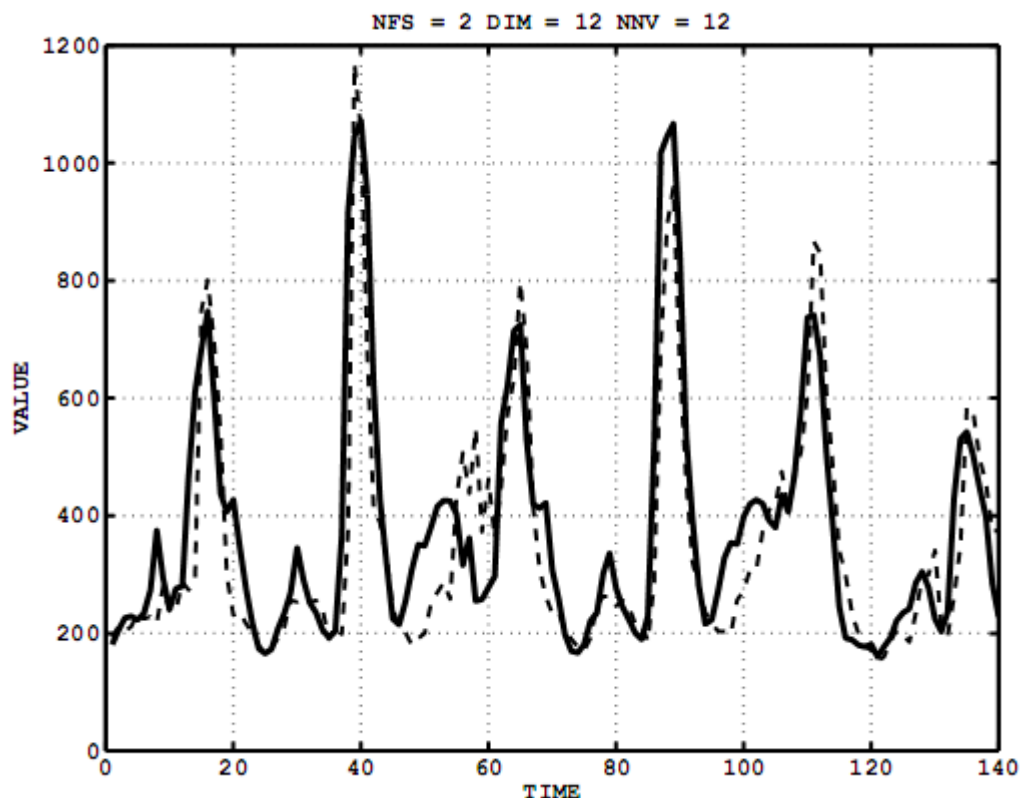


Рисунок 4

Коэффициент корреляции составил $C=0,8602$.

Таким образом, получен вполне удовлетворительный результат прогнозирования.

И, наконец, на рис.5 представлен результат одношагового прогнозирования ряда **DESNA-030** (ряда, усредненного по 30 суткам) при значениях параметров соответственно **LS=1320**, **NFS=1**, **DIM=4**, **NNV=48** и **N=120**.

SNA-015 при значениях **LS= 2640**, **NFS=1**, **DIM=1**, **NNV=50** и **N=140**.

Значение коэффициента корреляции составило $C=0,8028$.

Заметим, что для практики представляет интерес даже такой прогноз с усреднением по 30 суткам, поскольку позволяет предварительно оценить величину расхода.

В итоге имеем два альтернативных варианта решения задачи прогнозирования расходов воды на 1 месяц (30 суток) вперёд, - ряд **DESNA-015** при значении **NFS=2** и ряд **DESNA-030** при значении **NFS=1**.

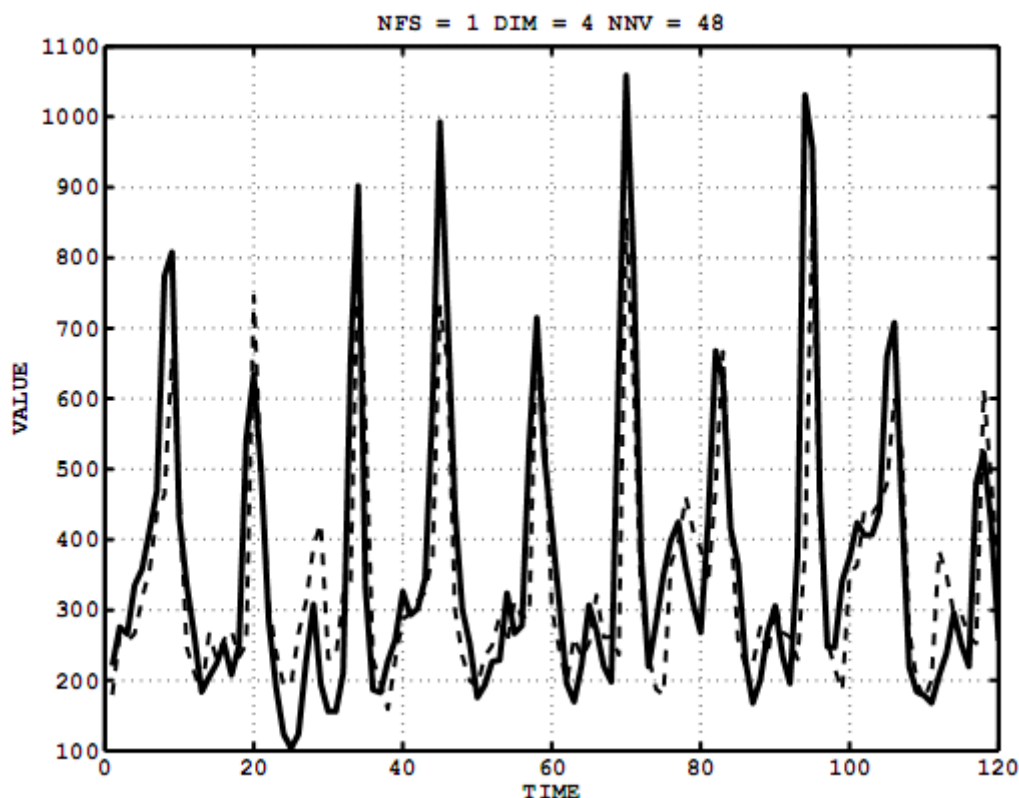


Рисунок 5

Сравнение полученных результатов показало, что лучшие показатели достигаются для ряда, где проводится усреднение по 15 суткам и используется двухшаговое прогнозирование.

Как видно, по мере возрастания интервала усреднения диапазон значений ряда уменьшается. Однако с некоторой погрешностью при необходимости можно вернуться к диапазону значений исходного ряда путем введения специальной пересчетной процедуры (в статье не обсуждается).

После выбора усредненного ряда, который подходит для прогнозирования наилучшим образом, а также тактики прогнозирования, остается лишь подобрать оптимальные параметры для достижения прогноза наиболее высокого качества.

Таким образом, даже для сравнительно коротких гидрологических рядов получены с точки зрения практики прогнозирования достаточно приемлемые результаты.

Использование предварительной SVD-фильтрации исходного ряда для повышения качества прогноза

Обычно процедура **LA**- прогнозирования сама выявляет закономерности в поведении ряда (т.е. осуществляется поиск, по которому можно определить, - каким образом последующие составляющие ряда зависят от предыдущих), а далее уже эти закономерности используются непосредственно для целей прогнозирования [1].

Однако часто данная процедура не может в полной мере выявить эти закономерности, что связано прежде всего со сложностью законов, которые формируют природные нерегулярные ряды.

В этом случае полезно выполнить предварительную обработку временных рядов, исключив из них незначительные детали и оставив только детали главные.

В работе [2] анализировался ряд в виде матрицы, где сама матрица интерпретировалась как своего рода «изображение».

Интуитивно ясно, что наличие многих мелких, незначительных деталей затрудняет распознавание образов на таких «изображениях», особенно при использовании достаточно простых процедур распознавания. Если устранить эти незначительные детали, можно существенно улучшить работу процедур распознавания.

Устранение незначительных деталей - это, по сути, фильтрация (в нашем случае фильтрация исходных данных).

Какие именно детали следует считать незначительными и устранять из «изображения» для облегчения процесса распознавания, зависит от особенностей самого «изображения».

В этом случае можно говорить о фильтрации, которая управляется характером самих фильтруемых данных, т.е. об интеллектуальной фильтрации.

В настоящее время большинство методов интеллектуальной фильтрации касаются только матричных данных («изображений»).

Один из наиболее распространенных методов интеллектуальной фильтрации временных рядов базируется на **SVD** - разложении (Singular Value Decomposition).

Однако выполнение интеллектуальной **SVD**-фильтрации одномерных временных рядов имеет свои особенности, которые в данном случае будут сводиться к следующему.

Пусть имеется исходный одномерный (векторный) ряд

$$S = [S(1); S(2); S(3); \dots S(8)], \quad (1)$$

где $S(1); S(2); S(3); \dots S(8)$ -составляющие ряда (числа).

Составим из ряда S , например, траекторную матрицу **M** согласно [1] с **DIM=5** вида

$$M = \begin{bmatrix} S(1) & S(2) & S(3) & S(4) & S(5) \\ S(2) & S(3) & S(4) & S(5) & S(6) \\ S(3) & S(4) & S(5) & S(6) & S(7) \\ S(4) & S(5) & S(6) & S(7) & S(8) \end{bmatrix} \quad (2)$$

выполнив таким образом переход от одномерного ряда (1) к ряду многомерному, т.е. матрице (2).

Такую матрицу уже можно трактовать как своего рода «изображение» и, соответственно, применять к ней методы интеллектуальной фильтрации.

По идейному смыслу такая фильтрация очень близка к методу главных компонент [3].

На практике на вход процедуры **SVD** подается не сама матрица **M**, а матрица **M** (центрированная матрица), полученная поэлементным вычитанием среднего значения по всей исходной матрице **M** (среднее значение находилось по отдельной процедуре).

Это связано прежде всего с особенностью работы самой процедуры **SVD**

При сингулярном разложении из центрированной матрицы получаем соответственно матрицы **U**, **S** и **V**, что выглядит как

$$\overline{M} = U * S * V^T, \quad (3)$$

где **T**-процедура транспонирования матрицы.

Понятно, что в этом случае фильтрация отсутствует.

Но если при восстановлении (композиции) матрицы $\overline{\mathbf{M}}$ использовать только несколько первых столбцов матриц $\mathbf{U}$ и $\mathbf{V}$, например,

$$\begin{aligned} \mathbf{M1} &= \mathbf{U}(:,1) * \mathbf{S}(1,1) * \mathbf{V}(:,1)^T \\ \mathbf{M2} &= \mathbf{U}(:,2) * \mathbf{S}(2,2) * \mathbf{V}(:,2)^T \\ \mathbf{M3} &= \mathbf{U}(:,3) * \mathbf{S}(3,3) * \mathbf{V}(:,3)^T, \end{aligned} \quad (4)$$

а затем сложить (поэлементно) эти матрицы, то в результате будем иметь матрицу $\mathbf{MM}$, равную

$$\mathbf{MM} = \mathbf{M1} + \mathbf{M2} + \mathbf{M3}. \quad (5)$$

Добавив к матрице $\mathbf{MM}$ среднее значение, которое мы ранее предварительно вычитали из исходной матрицы $\mathbf{M}$, получим в результате фильтрованную матрицу $\mathbf{MM}_{(F)}$.

Очевидно, что матрицы $\mathbf{M}$ и $\mathbf{MM}_{(F)}$ будут одного и того же размера.

В данном примере траекторная матрица (2) имеет 5 столбцов. Однако при восстановлении использовали сумму только из трех первых составляющих (можно, по-видимому, применить далее термин «гармоники», если не забывать при этом о смысле выполняемых преобразований). В этом случае обозначение фильтра для данного примера будет «**SVD-5-3**», т.е. у сформированной из ряда (1) траекторной матрицы 5 столбцов (максимальное число «гармоник», которым мы располагаем, равно 5), из которых взято только 3 «первых гармоники».

Далее остается только снова превратить матрицу $\mathbf{MM}_{(F)}$ в одномерный ряд (произвести обратное преобразование по отношению к тому, что выполнялось нами ранее).

Пример расчета

В качестве оценки эффективности использования предварительной **SVD**-фильтрации рассмотрим результаты прогнозирования достаточно короткого гидрологического ряда расходов воды, м³/с, усреднённого по 15 суткам (см. выше).

Исходя из того, что прогнозирование гидрологических временных рядов рассматривались нами ранее из детерминистических позиций, логично предварительную **SVD**-фильтрацию исходного ряда также рассматривать с тех же позиций.

Параметры используемого в примере **SVD** - фильтра позволили выделить 24 гармоники, из которых в дальнейшем оставляли только 12 «первых гармоник» (соответствующих первым наибольшим 12-ти сингулярным числам).

После проведенной **SVD**-фильтрации ряда DESNA-015 получили соответственно ряд

$$\mathbf{SVD} - 24-12-\mathbf{DESNA-015}. \quad (6)$$

При указанных параметрах **SVD**-фильтра форма исходного ряда после фильтрации изменилась незначительно вследствие небольшой «глубины» фильтрации (понятно, что чем более короткий ряд, тем больше следует задавать «глубину» фильтрации).

Поскольку методом **LA** прогнозировался не фактический исходный ряд, а ряд фильтрованный, результаты прогнозирования сравнивались соответственно с фильтрованным рядом.

При этом параметры прогнозирования составляли соответственно :

DIM=2, **NNV=100**, **N=140** и **LS=2640**.

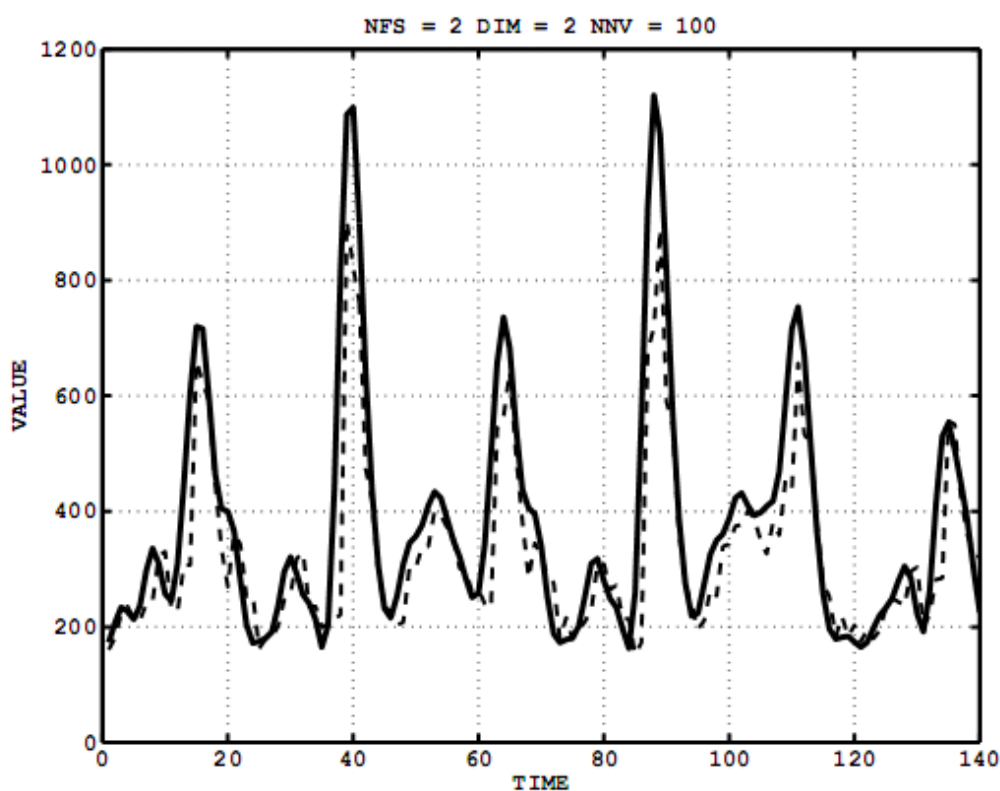


Рисунок 6

На рис.6 представлен результат двухшагового **LA** - прогнозирования (**NFS=2**) участка фильтрованного ряда (6), $\text{м}^3/\text{с}$.

Значение коэффициента корреляции в данном случае составило $C = 0,8912$ (без предварительной фильтрации ряда $C=0,8602$).

Приведенный подход позволит принимать более обоснованные инженерные решения, направленные на повышение качества прогнозирования гидрологических временных рядов.

Выводы

1. Рассмотрены особенности прогнозирования коротких гидрологических временных рядов методом локальной аппроксимации (**LA**-методом).

Представлены результаты прогнозирования гидрологических рядов с различными интервалами усреднения и выбран оптимальный вариант прогноза на один месяц вперед.

2. Как показали выполненные расчеты, метод **LA** является также методом анализа гидрологических временных рядов на детерминируемость, т.е. с помощью этого метода можно легко отличить детерминируемый ряд от ряда "случайного".

3. Предложен простой способ предварительной **SVD**-фильтрации нерегулярных временных рядов для повышения качества их прогноза (учитывается, что "неглубокая" **SVD**-фильтрация не отражается глобально на форме исходного временного ряда).

4. Приведены результаты **LA**-прогнозирования короткого гидрологического ряда с использованием процедуры предварительной **SVD**-фильтрации исходного ряда

Литература

1. Артеменко В.А., Петрович В.В. Прогнозування нерегулярних часових рядів методом локальної аппроксимації // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. - Вип. 86. - К.: Вид-во НТУ. - 2012. - С. 176-195.

2. Петрович В.В., Артеменко В.А. Прогнозування часових природних рядів на основі методу **SVD**-розкладення // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. - Вип. 84. - К.: Вид-во НТУ. - 2012. - С. 13-29.

3. Коханер Д., Моулер К., Неш С. Численные методы и программное обеспечение. - М.: Мир, 2001. – 575 с.

Кіяшко І.В., канд. техн. наук, Євсейчик Ю.Б.

ЗМІНА ШВИДКОСТІ РУСЛОВОГО ПОТОКУ В ЗОНІ ВПЛИВУ МОСТОВИХ ПЕРЕХОДІВ У ПРОЦЕСІ РОЗВИТКУ ЗАГАЛЬНИХ РУСЛОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ

Анотація. У роботі на основі математичної моделі загального розмиву, яка базується на рівнянні балансу наносів, отримано диференціальне рівняння для швидкості руслового потоку в зоні впливу мостового переходу. В результаті розв'язку задачі Коші, диференціальне рівняння швидкості потоку зводиться до класу однорідних квазілінійних рівнянь I порядку і може бути зведено до рівняння переносу.

Аннотация. В работе на основе математической модели общего размыва, которая базируется на уравнении баланса наносов, получено дифференциальное уравнение для скорости руслового потока в зоне влияния мостового перехода. В результате решения задачи Коши, дифференциальное уравнение скорости потока сводится к классу однородных квазилинейных уравнений I порядка и может быть сведено к уравнению переноса.

Annotation. In this paper, based on a mathematical model of the total erosion, which is based on the equation of sediment balance, the differential equation for the rate of streamflow in the zone of the bridge. The solution of the Cauchy problem, differential equation of the flow rate is reduced to a class of homogeneous quasilinear equations of I order and can be reduced to the transport equation.

Визначення швидкості потоку у зоні впливу мостового переходу є важливим питанням, як з точки зору укріплення мостових дамб, так і з точки зору навігації, де існують певні обмеження для руху суден під мостами.

Математична модель руслових деформацій, які відбуваються при стисненні ріки мостовим переходом, відома [2] і складається із чотирьох рівнянь

$$\frac{\partial G}{\partial l} - B \cdot \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$G = A \cdot B \cdot V^4 \quad (2)$$

$$Q_p = V \cdot B \cdot h \quad (3)$$

$$\beta = \left(1 - \frac{l}{R}\right)^{-1} \quad (4)$$

де G і Q – витрати наносів і води; h і B – глибина і ширина русла; V – швидкість руслового потоку; A – коефіцієнт, що враховують фізичні властивості наносів; β – коефіцієнт трансформації руслової витрати; l – відстань від початку стиснення; R – параметр центральної струмнини.

Коефіцієнт трансформації руслової витрати $\beta = \frac{Q_p}{Q_{np}}$ у створі початку стиснення потоку $l = 0$ змінюється від $\beta = 1$ до свого максимального значення у створі під мостом $\beta = \beta_l$. Будемо вважати, що повинь (вихід води на заплави) починається у момент часу $t = 0$ і відбувається з постійною у часі загальною Q_{np} , а значить і русловою витратою $Q_p = \beta \cdot Q_{np}$. Вважається, що ширина русла B у зоні впливу мостового переходу теж постійна і від часу не залежить. З урахуванням останнього зауваження із рівняння (3) отримаємо зв'язок між швидкістю потоку у стиснутому підмостовому руслі з її природним значенням

$$V \cdot h = \beta \cdot V_{np} \cdot h_{np} \quad (5)$$

З метою отримання диференційного рівняння відносно швидкості потоку $V(\beta, t)$ у зоні впливу мостового переходу визначимо частинні похідні $\frac{\partial G}{\partial l}$ і $\frac{\partial h}{\partial t}$ як функції від V

$$\frac{\partial G}{\partial l} = \frac{\partial G}{\partial \beta} \cdot \frac{\partial \beta}{\partial l} = \frac{4 \cdot A \cdot B}{R} \cdot \beta^2 \cdot V^3 \cdot \frac{\partial V}{\partial \beta} \quad (6)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{\beta \cdot Q_{np}}{B} \cdot \frac{1}{V^2} \cdot \frac{\partial V}{\partial t} \quad (7)$$

Підставляючи вирази (6), (7) у рівняння (1) отримуємо

$$a \cdot \beta \cdot V^5 \cdot \frac{\partial V}{\partial \beta} + \frac{\partial V}{\partial t} = 0 \quad (8)$$

$$a = \frac{4 \cdot A \cdot B}{R \cdot Q_{np}}$$

Диференціальне рівняння (8) треба доповнити відповідними початковими умовами. Оскільки у початковий момент розвитку руслових деформацій глибина природна (русло ще не розмито), то очевидно, що

$$h(\beta, t)_{t=0} = h_{np}$$

Тоді з урахуванням рівності (5) отримуємо початкові умови для швидкості

$$V(\beta, t)_{t=0} = \beta \cdot V_{np} \quad (9)$$

Рівняння (8) разом з початковими умовами (9) визначає відповідну задачу Коші, механізм рішення якої детально розглянутий у [2] при визначенні глибини у розмиваємому руслі. Застосуємо його і в даному випадку. Для цього запишемо рівняння (8) у симетричній формі

$$\frac{d\beta}{a \cdot \beta \cdot V^5} = \frac{dt}{1} = \frac{dV}{0}$$

Рішення цієї системи зводиться до розв'язку будь яких двох рівнянь, які складаються шляхом сполучення складових. Поєднаємо перший член спочатку з третім, а потім з другим. Отримуємо систему двох звичайних рівнянь

$$\begin{cases} dV = 0 \\ \frac{d\beta}{\beta} = a \cdot V^5 \cdot dt \end{cases}$$

Вони легко інтегруються, після чого маємо

$$\begin{aligned} V &= \Psi_1, \\ \ln \beta &= a \cdot V^5 \cdot t + \Psi_2 \end{aligned} \quad (10)$$

де Ψ_1, Ψ_2 сталі інтегрування. Загальне рішення (8) представляє собою довільну диференційовану функцію від отриманих інтегралів

$$\hat{O}(V, \ln \beta - a \cdot V^5 \cdot t) = 0$$

Для здобуття частинного рішення рівняння (8) згідно початковим умовам (9) запишемо інтеграли Ψ_1 і Ψ_2 відносно початкового моменту часу $t = 0$

$$\begin{aligned} \Psi_1 &= V|_{t=0} \\ \Psi_2 &= \ln \beta \end{aligned}$$

Тоді з урахуванням (9) можемо записати

$$\Psi_1 = V_{np} \cdot e^{\bar{\Psi}_2}$$

Заміняючи $\bar{\Psi}_1$ і $\bar{\Psi}_2$ їх виразами (10) отримуємо залежність, яка визначає швидкість потоку у розмиваємому руслі у довільний момент часу

$$V(\beta, t) = \beta \cdot V_{np} \cdot e^{-a \cdot V^5 \cdot t} \quad (11)$$

Безпосередньою підстановкою із застосуванням формул для визначення похідної від неявної функції [1] неважко впевнитись, що функція (11) дійсно задовольняє рівняння (8) і початковим умовам (9) і згідно теореми Коші-Ковалевської представляє єдиний розв'язок відповідної задачі Коші (8), (9).

Залежність (11) відносно $V(\beta, t)$ є неявною, але її легко можна розв'язати відносно часу t і отримати явну залежність

$$t = \frac{1}{a \cdot V^5} \cdot \ln \frac{V_{np} \cdot \beta}{V} \quad (12)$$

яка очевидно є більш зручна для досліджень.

Якщо у рівнянні (8) перейти від змінної β до змінної $\beta_1 = \ln \beta$, то з урахуванням рівності

$$\frac{\partial V}{\partial \beta} = \frac{\partial V}{\partial \beta_1} \cdot \frac{\partial \beta_1}{\partial \beta} = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{\partial V}{\partial \beta_1}$$

рівняння (8) у змінних β_1 , t приймає вигляд

$$a \cdot V^5 \cdot \frac{\partial V}{\partial \beta_1} + \frac{\partial V}{\partial t} = 0 \quad (13)$$

Рівняння (13) відноситься до спеціального класу квазілінійних рівнянь першого порядку і називається рівнянням переносу. До рівняння переносу, яке у загальному має вигляд

$$\frac{\partial y}{\partial t} + c(y) \cdot \frac{\partial y}{\partial x} = 0$$

зводиться багато задач механіки і газодинаміки [3], тому його дослідження, особливо у випадку постановки змішаної крайової задачі, є достатньо актуальною проблемою.

Література

1. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. – М, 1968. – 556 с.
2. Ткачук С.Г. Теорія розмивів на мостових переходах. – Донецьк, 2009. – 200 с.
3. Уизем Д. Линейные и нелинейные волны. – М.: Мир, 1977. – 622 с.

КОМПОЗИТНІ ПЛИТИ В ТРАНСПОРТНОМУ БУДІВНИЦТВІ

Анотація. Розглянуті існуючі конструкції шаруватих композитних плит. Показано, що композитна плита типу “сандвіч” є альтернативою плитам металевих мостів завдяки своєму високому опору згину при невеликій власній вазі. Такі плити можливо використовувати як для нового будівництва, так і для реконструкції.

Представлено розрахунок методом аналогій системи композитної плити на балочному ростверку та здійснена оцінка міцності та жорсткості шаруватої плити.

Ключові слова: шаруваті композитні плити, плита “сандвіч”, проїзна частина

Аннотация. Рассмотрены существующие конструкции слоистых композитных плит. Показано, что плита типа “сэндвич” является альтернативой плитам металлических мостовых сооружений благодаря своему высокому сопротивлению изгибу при малом собственном весе. Такие плиты можно использовать как для нового строительства, так и для реконструкции.

Представлено расчет методом аналогий системы композитной плиты на балочном ростверке, а также выполнена оценка прочности и жесткости слоистой плиты.

Ключевые слова: слоистые композитные плиты, плита “сэндвич”, проезжая часть

Abstract. The existing structures of layered composite plates are considered. It is shown that sandwich low-weighted slab becomes an alternative to a slab of metal bridges due to its high bending resistance. Such slabs can be used for both new construction and renovation.

Calculation by analogy method of the composite slab on beam grillage is presented.

Keywords: layered composite plate, sandwich slab, roadway

Останнім часом певне застосування в сучасному транспортному будівництві набувають композитні матеріали, що виступають альтернативою металевим (рис. 1 – рис. 3).

Прикладом композитної плити є тришарова плита типу “сандвіч” – ПТС, що складається з двох сталевих плит та твердого полімерного (поліуретанового) заповнювача. Така плита може бути використана як для нового мостового будівництва (рис. 4а), так і для реконструкції існуючих ортотропних плит (рис. 4б).

“Сандвіч”, що навантажений як пластина, забезпечує високий згинальний опір та згинальну жорсткість. Низька щільність матеріла заповнювача зумовлює легкість ПТС. Крім того, вони мають високі демпфуючі здатності (шум), ізолюючі властивості (температура) та вогнестійкість.

Нові плити ПТС можливо виготовляти як у цеху, так і на місці, заливаючи поліуретанову масу в підготовлені порожнини, наприклад, Elastocoat фірми ["Elastogran GmbH"](#) (BASF Gruppe, Германия).

Композитні плити при розрахунках розглядаються як конструкції, що складаються з шарів різних матеріалів: плити (пластини), балки.

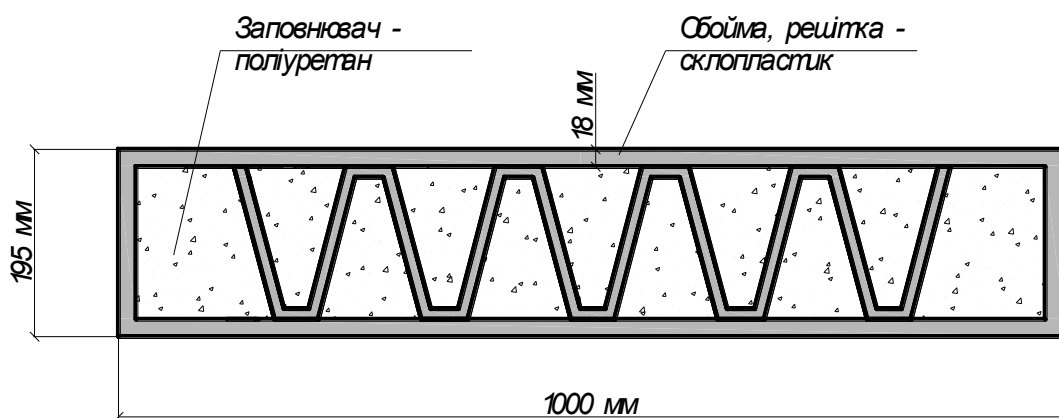


Рисунок 1 – Плита ПТС з обіймою та решіткою з склопластику та заповнювачем з поліуретану

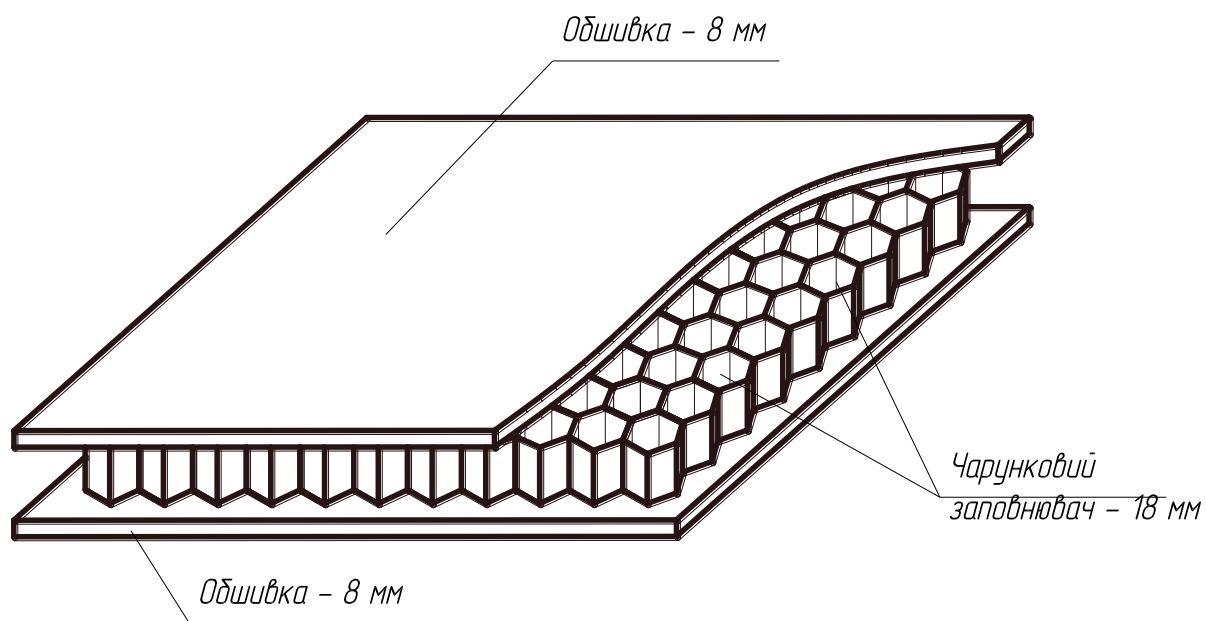


Рисунок 2 – Плита ПТС із сталевими зовнішніми шарами та чарунковим заповнювачем

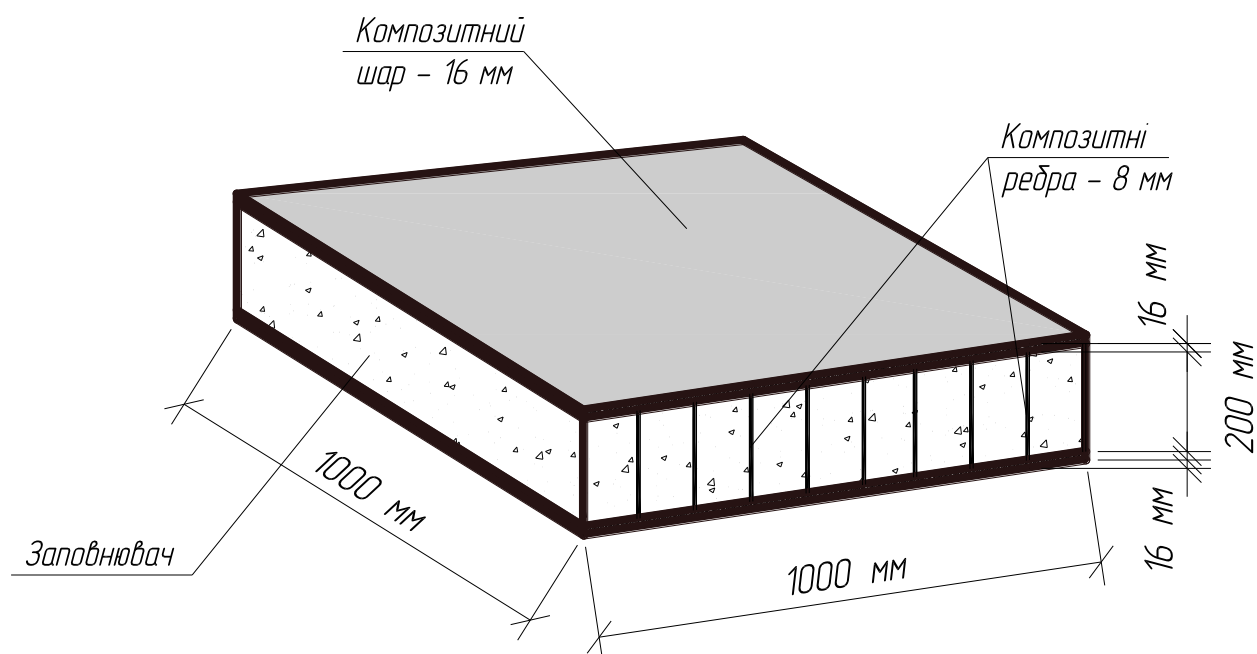
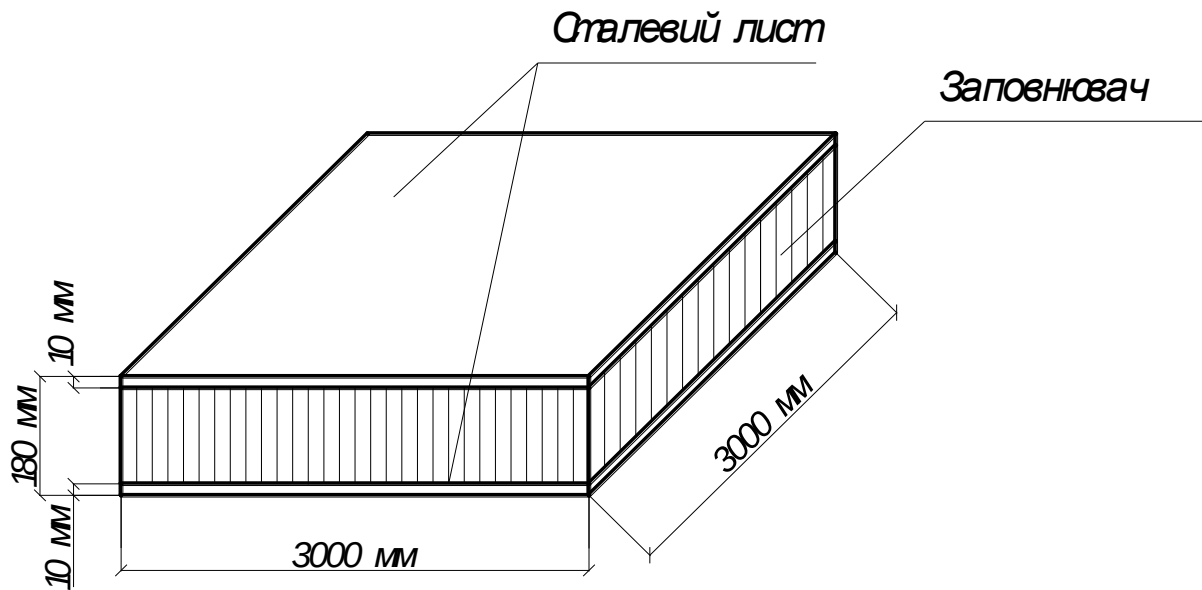
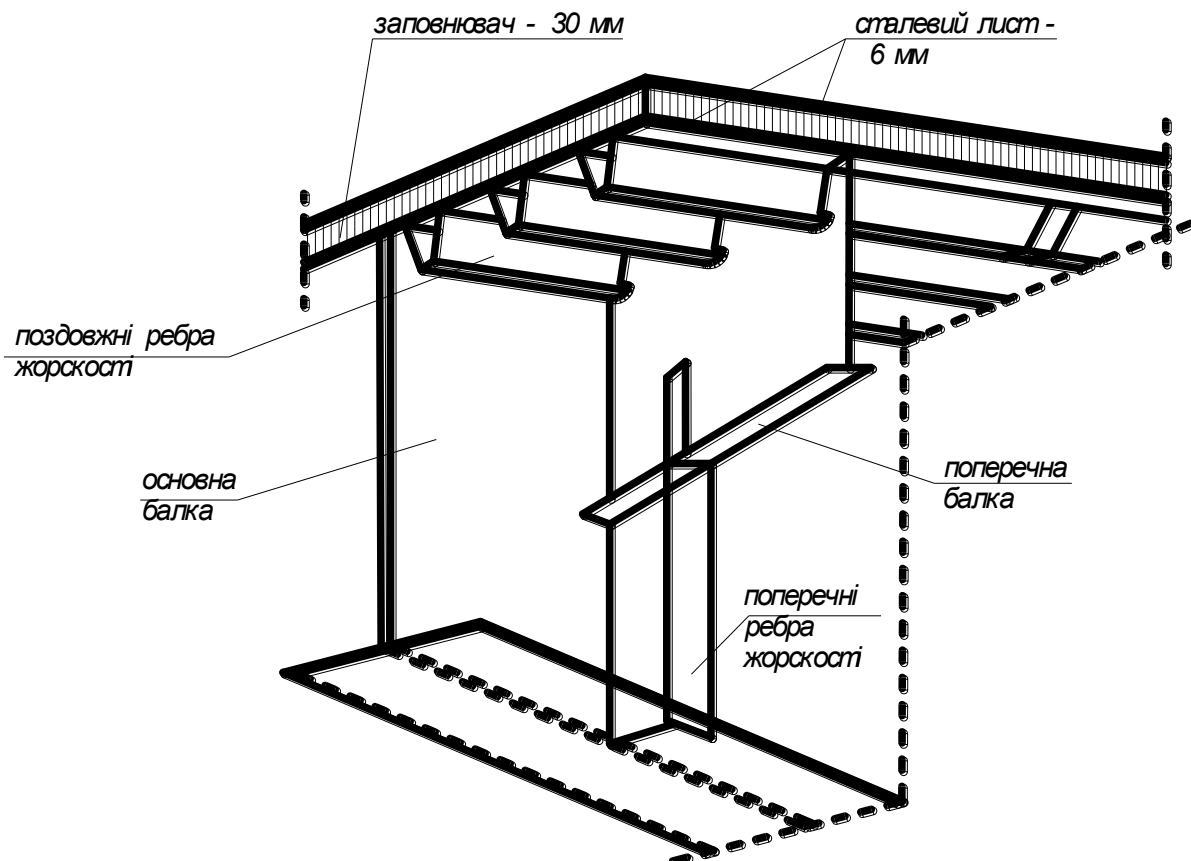


Рисунок 3 – Плита ПТС з зовнішніми композитними шарами, що з'єднані з композитними ребрами та поліуретановим заповнювачем



а)



б)

Рисунок 4 – Плита ПТС з зовнішніми сталевими шарами, що об'єднані твердим полімерним (поліуретановим) заповнювачем (випадок а – для нового будівництва, випадок б – для реконструювання існуючих мостів з ортотропною плитою проїзної частини)

Об'єктом розрахунку є композитна шарувата плита проїзної частини сталевих прогонових будов, що працює спільно зі всією будовою в рамках просторової схеми. На рис. 5 представлено приклад поперечного перерізу сталевий прогоновий будови з композитною шаруватою плитою ПТС (плита типу “сандвіч”) проїзної частини. Конструкція “сандвіч” представляє собою тришарову плиту з двома сталевими шарами та поліуретановим заповнювачем посередині, який моделюється трансверсально-ізотропним матеріалом.

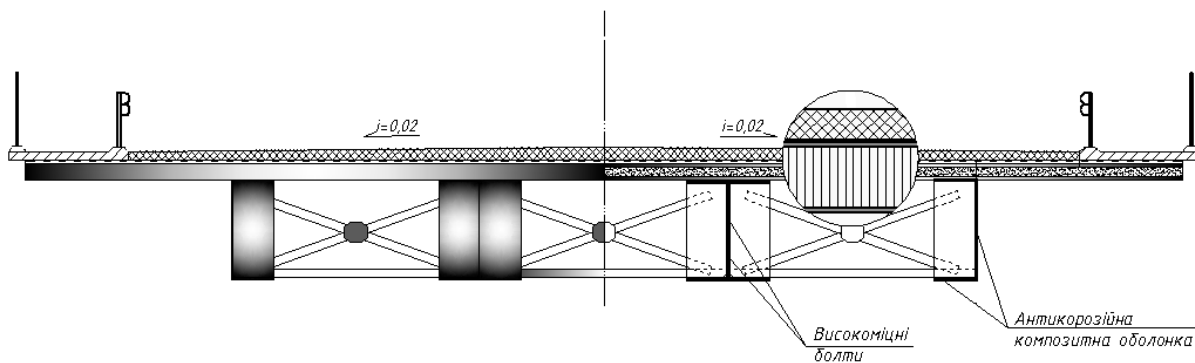


Рисунок 5 – Приклад конструкції поперечного перерізу мостовий прогоновий будови з плитою ПТС (поперечний переріз)

Плита проїзної частини являє собою конструкцію, виготовлену з матеріалів різної жорсткості.

Такі плити піддатливі деформаціям поперечного зсуву, що не дозволяє прямого використання класичної (технічної) теорії, основаної на гіпотезах недеформованої нормалі. Отже, при розрахунку виникає необхідність використання теорії, яка враховує деформації зсуву.

Розглянемо розрахунок методом аналогій мостовий конструкції, яка складається з композитної плити “сандвіч” на балочному ростверку. На рис. 6 наведена ця конструкція. Вона представляє собою чотири головні балки висотою 1,20 м, прольотом 24 м, та плити ПТС загальною товщиною 18 см, поверх якої укладені гідроізоляція та шари дорожнього одягу (рис. 7).

Робота плити розглядається сумісно з балочним ростверком.

По контуру плита обрамлена сталевий діафрагмою товщиною 0,2 см, яка об'єднує зовнішні шари плити ПТС. В крайових зонах пропонується

влаштування діафрагми товщиною 1 см (товщина листа ПТС), що дає можливість знизити напружений стан.

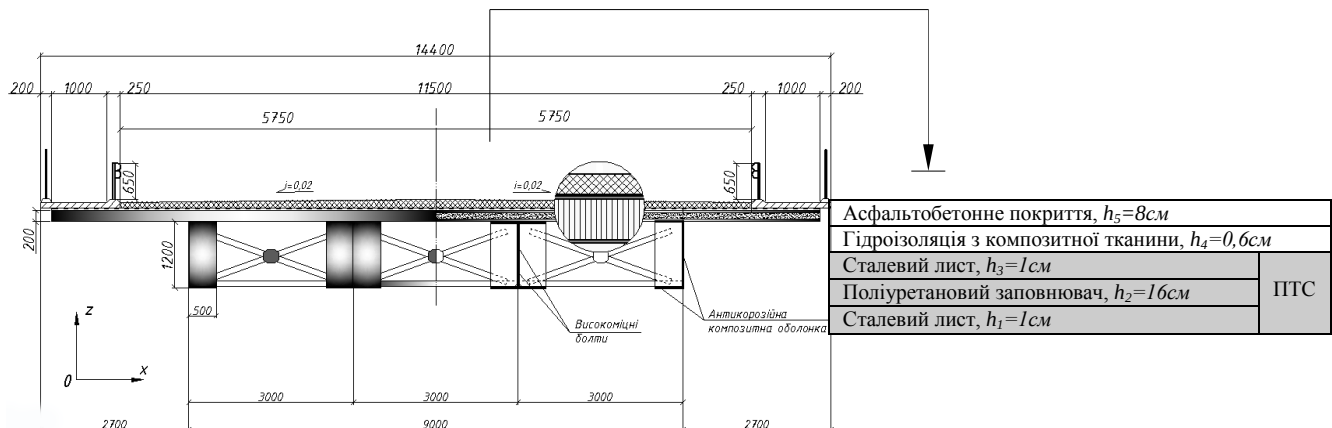


Рисунок 6 – Поперечний переріз прогонової будови з плитою ПТС

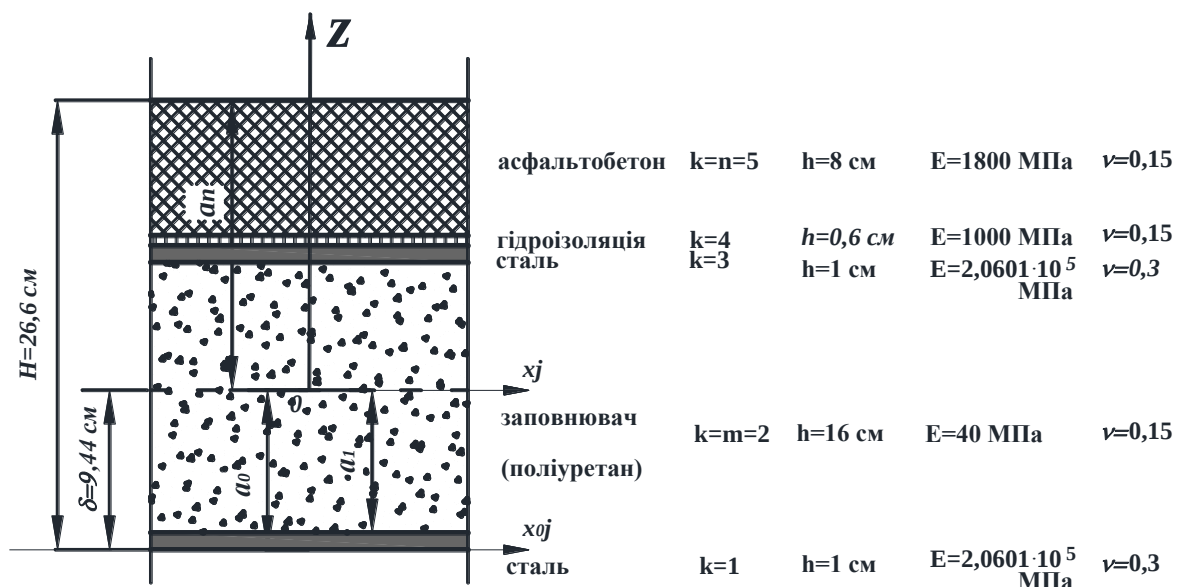


Рисунок 7 – Структура композитної плити прогонової будови

Крайові балки – зварні швелери (товщина стінки 1 см, полки – 2 см), середні балки – двотаври із спарених швелерів, поєднаних за допомогою високоміцних болтів. Розрахункова схема розглядуваної просторової системи наведена на рис. 8. Плита та плоскі елементи балок моделюються двовимірним СЕ оболонки нульової кривизни. Поперечні в'язі у вигляді кутників моделюються універсальними просторовими стержневими СЕ. Згідно з ДБН розглянуто різні комбінації навантажень: постійне (власна вага) та тимчасове (А-15, НК-100).

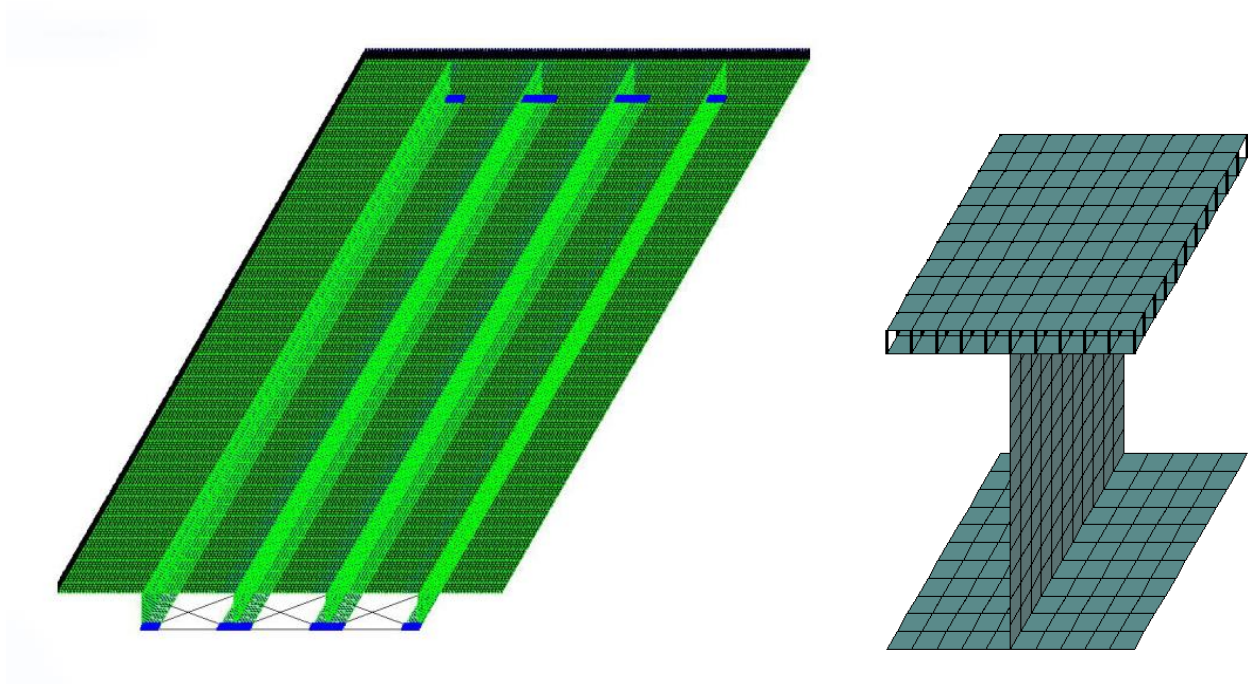


Рисунок 8 – Розрахункова схема та вузол стикування верхньої поверхні балочного ростверку з плитою ПТС

Для ілюстрації на рис. 9 подано епюри нормальних напружень, розрахованих на основі методу аналогій, в центральній точці плити від власної ваги ПТС.

Розрахунок конструкції прогонової будови показав, що міцність сталевих листів і заповнювача ПТС забезпечено.

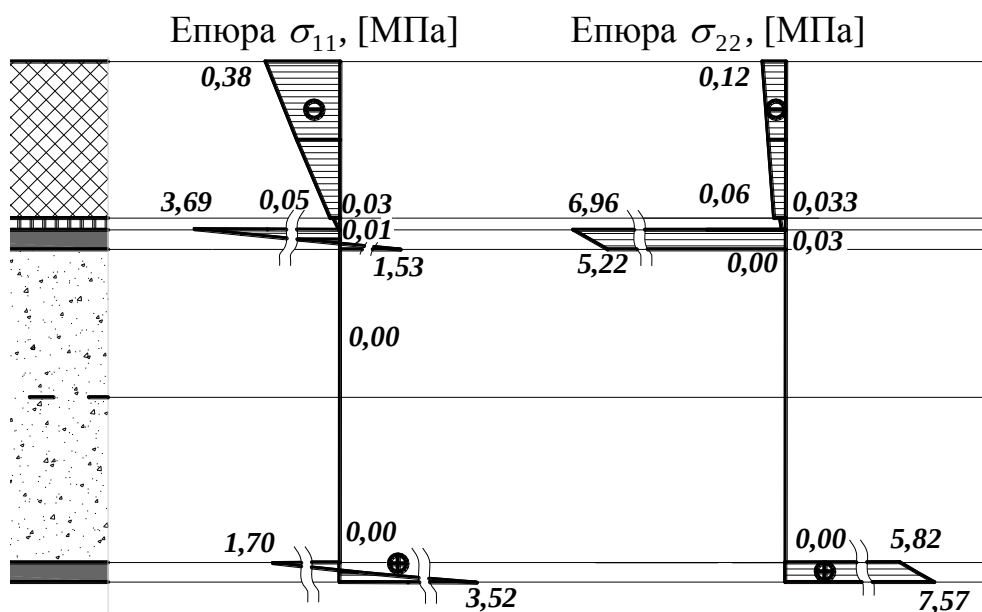


Рисунок 9 – Епюри нормальних напружень

Міцність плити оцінено при небезпечній комбінації навантажень “власна вага+НК-100”. Визначені екстремальні напруження в нижньому листі як еквівалентні за IV теорією міцності $\sigma_{екв}^{IV} = 406,3 \text{ МПа} \approx R_y'$, де R_y' – розрахунковий опір сталі. Таким чином, міцність в найбільш небезпечній зоні забезпечено. Деформований стан та жорсткість плити оцінено при комбінації навантажень “власна вага + А15”, при якому спостерігаються найбільші прогини, які знаходяться в межах допустимих значень.

Висновок

Композитна плита типу “сандвіч” є альтернативою плитам металевих мостів завдяки своєму високому опору згину при невеликій власній вазі.

Література

1. Карпиловский В.С. Вычислительный комплекс SCAD / В.С. Карпиловский, Э.З. Криксунов, А.А. Маляренко, А.В. Перельмутер, М.А. Перельмутер // М.: Издательство АСВ, 2004. – 592 с.
2. Піскунов В.Г. Конструювання та розрахунок нових типів мостових прогонових будов монтажних блоків / В.Г. Піскунов, В.С. Сіпетов, Б.В. Гриневицький, М.Г. Парубець, І.О. Кондрюкова, Р.В. Гриневицький // Збірник наукових статей “Дороги і мости”. Випуск 7. Державний дорожній науково-дослідний інститут ім. М.П. Шульгіна, 2007. – С. 106 – 114.
3. Рассказов А.О. Теория и расчет слоистых ортотропных пластин и оболочек / А.О. Рассказов, И.И. Соколовская, Н.А. Шульга // К.: Вища шк. Голов. изд-во. – 1986. – 192 с.
4. Рябов О.Ф. Розрахунок багат шарових оболонок / О.Ф. Рябов // К.: Будівельник, 1968. – 96 с.
- Сахаров А.С. Математическая модель деформирования многослойных композитных оболочечных систем / А.С. Сахаров, А.Л. Козак, А.В. Гондляр, С.Л. Мельников // Соппротивление материалов и теория сооружений. – К.: Будівельник, 1984. – № 44. – С. 13 – 16.

Кузло М. Т. д-р техн. наук, Піліпака Л. М. канд. техн. наук

АНАЛІЗ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ СОЛЬОВИХ РОЗЧИНІВ З МІНЕРАЛЬНИМИ ЧАСТКАМИ ҐРУНТУ

Анотація. Розглянуто фізико-хімічні процеси взаємодії сольових розчинів з мінеральними частинками ґрунту. Дано кількісну і якісну оцінку фізичним та хімічним процесам поглинання на поверхні розділу “тверде тіло-розчин”.

Ключові слова: мінеральні частинки, сольовий розчин, гідратація, дисперсна система.

Аннотация. Рассмотрены физико-химические процессы взаимодействия солевых растворов с минеральными частицами грунта. Дана количественная и качественная оценка физическим и химическим процессам поглощения на поверхности раздела “твердое тело-раствор”.

Ключевые слова: минеральные частицы, солевой раствор, гидратация, дисперсная система.

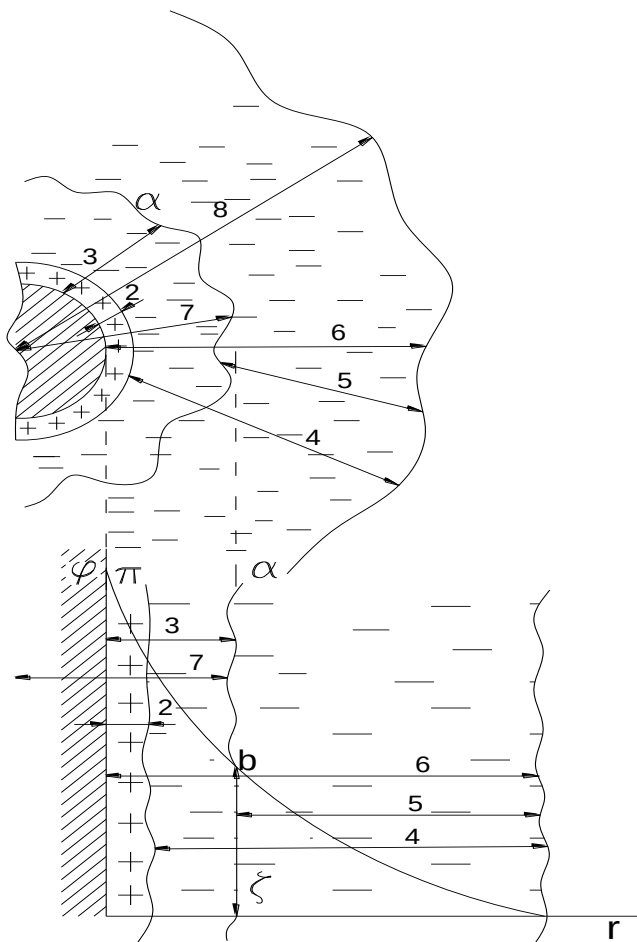
Annotation. Physical and chemical processes of interactions of salt solutions with mineral particles of the ground are considered. Quality and quantity estimation of physical and chemical aspects of the absorption on the “solid body-solution” partition surface is made.

Key words: mineral particles, salt solution, hydration, disperse system.

Процеси фізичного, хімічного і біологічного вивітрювання, що приводять до руйнування скельних ґрунтів, обумовлюють поступове нагромадження в їхній товщі усе більш дрібних часток, аж до розмірів колоїдних часток.

При наявності сольових розчинів в таких колоїдних системах, крім двох компонентів, твердої дисперсної фази і рідкого дисперсного середовища, завжди присутній і третій компонент – електроліт, розчинений у воді.

Поверхня твердих часток адсорбує іони наявного електроліту, утворюючи навколо твердого ядра нейтральний іоногенний комплекс, тобто подвійний електричний шар, що складається з внутрішньої оболонки іонів одного знаку у вигляді моношару і зовнішньої оболонки у вигляді дифузно розподілених протиіонів (протиіонний шар). Разом з ядром подвійний електричний шар складає міцелу (рис. 1).



1– тверда частинка (ядро); 2 – іонний шар; 3 – адсорбційний шар; 4 – протиіонний шар; 5 – дифузний шар; 6 – іоногенний комплекс (подвійний електричний шар); 7 – частинка; 8 – міцела

Рисунок 1 - Схематичне зображення міцели

Зрозуміло, що іони, які входять в протиіонний шар, по різному утримуються поверхнею. Іони, що знаходяться поблизу поверхні, утримуються сильніше, ніж іони, що розміщені на периферії. Під впливом дифузії периферійні іони переміщуються, виходячи за межі протиіонного шару і замінюються іншими, подібними їм, таким чином, протиіонний шар можна розглядати як, такий, що складається з двох шарів: слабо зв'язаних, або, як

іноді їх називають, вільних іонів, котри утворюють дифузний шар, і міцно зв'язаних іонів. Міцно зв'язані іони разом з моношаром адсорбованих іонів протилежного знаку утворюють адсорбційний шар.

Ядро і адсорбційний шар складають частинку. Міцела, що складається з частинки і дифузного шару, в цілому нейтральна. Частинка, що складається з твердого ядра і адсорбційного шару, має заряд. Знак заряду визначається тими іонами, які безпосередньо адсорбовані на поверхні ядра і складають перший моношар.

Для аналізу взаємодії сольових розчинів з мінеральними частинками ґрунту розглянемо спочатку самий сольовий розчин. При розчиненні солей у воді, середовище не залишається пасивним до молекул до іонів розчинених солей. Дипольні молекули води, орієнтуючись в силовому полі молекули або іона розчиненої солі, утворюють навколо ущільнений гідратаційний шар (гідратаційну оболонку).

Мірою ступеня гідратації іонів може служити різниця між електростатичними енергіями полів іонів у вакуумі і в водному середовищі.

Число молекул води, що складають гідратаційну оболонку, в окремих іонів зазвичай невелика. Але об'єм гідратаційного іона у порівнянні з негідратаційним різко зростає. Хоча число молекул, що входять в гідратаційний шар порівняно невелике, об'єм гідратаційного іона іноді в десятки разів більший від негідратаційного. Це викликано нерівномірною щільністю розміщення молекул води в об'ємі гідратаційної оболонки. Висока щільність перших шарів поступово дифузно понижується до периферії (такі шари носять назву дифузних).

При збільшенні концентрації сольового розчину гідратація понижується.

Із зменшенням кількості молекул гідратаційної води об'єм гідратаційного іона зменшується, оболонка стискається і при певних умовах може наступити дегідратація (руйнування гідратаційного шару).

Гідратація іонів проходить внаслідок екзотермічного теплового ефекту, величина якого відповідає енергії гідратації. При розчиненні кристалічних тіл енергія гідратації витрачається на руйнування кристалічної ґратки. Ендотермічні ефекти теплоти розчинення вказують на перевагу енергії

кристалічної ґратки над енергією гідратації, і недостатня енергія черпається з навколишнього середовища.

При розчиненні солей гідратаційні іони дифундують, розподіляючись по всьому об'єму розчинника. При зближенні іонів гідратна оболонка є захисником, що попереджує можливість їх з'єднання.

Здатність солей розчинятися у воді визначається співвідношенням енергій кристалічної ґратки і гідратації.

Гідратують, або, як кажуть у таких випадках, змочуються і тверді макроскопічні поверхні, які розділяють на гідрофільні і гідрофобні. Так, дуже гідрофільні глини, менше - порошки карбонатів і сульфатів лужноземельних металів. Кварцевий пісок, ще менше гідрофільний. Вугілля, сажа є гідрофобними поверхнями. Різкої межі між гідрофільними і гідрофобними поверхнями не існує.

Навколо твердої гідрофільної частинки, до яких відносяться тверді мінеральні частинки ґрунтів, вода утворює ущільнену оболонку. Підвищена щільність гідратаційної води, що сягає $2,0 \text{ г/см}^3$, викликає зміну її фізичних властивостей. Вода гідратаційних оболонок не бере участі в розчиненні. Якщо в сольовий розчин ввести гідрофільний порошок, наприклад, глину, то концентрація розчину дещо підвищиться. Частина загального об'єму води піде на утворення гідратаційних оболонок частинок глини, що викличе зменшення об'єму розчинюючої води.

Залежно від ступеня гідрофільності поверхня утримує різну кількість гідратаційної або, як її називають, зв'язаної води. Вміст зв'язаної води у глинах сягає 25%.

Виходячи з вище сказаного, можна було б допустити, що в дисперсних системах, частинки котрі володіють гідрофільною поверхнею і гідратаційними оболонками самі по собі, подібні гідратаційним оболонкам молекул і іонів, повинні бути досить стабільними. Однак, дослідні дані не підтверджують цього. Так, наприклад, золі високодисперсних глин є агрегатно малостійкими.

Видно, що існування одних захисних гідратаційних шарів у частин золя, є недостатньою для агрегатної стійкості всієї системи.

Поверхнева енергія дисперсної системи може бути записана у вигляді

$$A = G \cdot S, \quad (1)$$

де G – поверхневий натяг; S – загальна поверхня.

Поверхнева енергія A , як вільна енергія намагається бути мінімальною. Це може бути досягнуто перш за все зменшенням загальної поверхні S . В фізичному розумінні це відбувається в укрупненні частин і коагуляції всієї системи в цілому. Але можна припинити коагуляцію шляхом пониження величини G , витрачаючи поверхневу енергію на роботу адсорбції. Це досягається введенням речовини, що здатна адсорбуватися на поверхні частинки.

У зв'язку з цим необхідно, щоб гідратація в гетерогенних системах проходила разом з адсорбцією, що пов'язана з присутністю третього компонента. Присутність третього компонента у вигляді електроліту, яким є сольовий розчин, має вирішальне значення для агрегатної стійкості золів і суспензій.

Іони сольового розчину відіграють подвійну роль. По-перше, адсорбуючись на поверхні мінеральної частинки, вони понижують поверхневу енергію системи, по-друге, утворюють гідратаційний шар. Однак, залежно від природи і характеру золя, кількість і концентрація присутнього сольового розчину чітко обмежена. Незначний надлишок його коагулює золь. При цьому коагуляція викликає іон, що заряджений протилежно до заряду частинки.

Іонну оболонку міцели можна розглядати з позиції теорії сильних електролітів. Згідно з цією теорією в розчині кожний іон оточений іонною атмосферою, радіус якої залежить від іонної сили розчину, яка рівна сумі концентрацій всіх іонів, помноженої на квадрат їх валентності. Із збільшенням іонної сили, іонна оболонка стискається і радіус її зменшується. Якщо віднести ці уявлення до міцели гідрозоля, то надлишок електроліту в золі також викличе стиснення дифузного шару.

Однак, не потрібно думати, що причиною коагуляції є зменшення електрокінетичного потенціалу і пов'язане з цим послаблення електростатичних сил відштовхування. Це стиснення електрокінетичного потенціалу вказує тільки на те, що в структурі подвійного електричного шару проходить переміщення іонів. Коагуляція, злипання твердих частин, зазвичай

наступає при деякому критичному значенні дзета-потенціалу, у більшості випадків не рівному нулю. При стисненні дифузного шару до розмірів адсорбційного, електрокінетичний потенціал стає рівним нулю. Наступає так названий ізоелектричний стан.

Згідно теорії коагуляції для дисперсних і колоїдних систем, коагуляція проходить при зближенні колоїдних частинок на відстані, при якій енергія їх взаємного протягування стає більшою за енергію броунівського руху, що віддаляє частинки одна від одної. Цьому зближенню перешкоджають дифузні шари. Ці шари при наявності електролітів стискаються, і з'являється можливість зближення частинок на необхідну відстань, при якій настає коагуляція.

Фільтрація сольових розчинів у ґрунтових масивах, як показують лабораторні експерименти [1, 2], супроводжується процесами взаємодії між рідкими фазами (розчинами) і твердою фазою (мінеральними частинками). До таких процесів відносяться молекулярна дифузія, гідравлічна дисперсія, адсорбція, іонний обмін, розчинення і кристалізація, хімічні реакції тощо. Дані процеси приводять до зміни складу і концентрації сольових розчинів і таким чином впливають на швидкість фільтрації та області проникнення їх в ґрунтовому масиві.

Молекулярна дифузія обумовлює перенос речовини під впливом різниці її концентрації. Цей процес пов'язаний з тепловим рухом молекул, іонів, частинок і приводить до вирівнювань концентрацій. Стосовно взаємодії сольових розчинів з ґрунтовими природними водами наявність молекулярної дифузії полягає в тому, що сольові розчини певної концентрації можуть проникати в ґрунтові води навіть у випадку, коли рух води і сольових розчинів не відбувається.

У ґрунтових масивах, що являють собою неоднорідне пористе середовище, дифузний процес ускладнюється і характеризується деяким ефективним коефіцієнтом молекулярної дифузії, що залежить від величини пористості і внутрішньої структури ґрунтових масивів. Крім того, на швидкість молекулярної дифузії впливає вологість ґрунту і електричний заряд іонів, які

дифундують. Однак, в цілому швидкість молекулярно-дифузного переносу в ґрунтових масивах дуже мала.

Значно більшу роль в переміщенні сольових розчинів в ґрунтових масивах відіграє процес гідравлічної дисперсії. Гідравлічна дисперсія, що називається також конвективною або фільтраційною дифузією, приводить поряд з молекулярною дифузією, до змішування витискаючої і витисненої рідини на межі між ними. Характерним параметром цього процесу є коефіцієнт конвективної (фільтраційної) дисперсії.

У природних умовах гідравлічна дисперсія виникає не тільки флуктуацією локальних швидкостей, але і фільтраційною неоднорідністю ґрунтових масивів. У зв'язку з цим коефіцієнт конвективної дифузії часто можна розглядати в якості параметра, що сумарно оцінює явище розсіювання й диференціації фільтраційного потоку сольових розчинів у ґрунтових масивах.

Якщо розглядати глибше явище гідравлічної дисперсії, то необхідно відмітити, що вона визначається також особливостями внутрішньої структури ґрунтових масивів і умовами руху в них рідини.

Зміна в структурі і геометричних особливостях мінеральних частинок ґрунту має випадковий характер. В якості випадкової величини, що характеризує структуру порового простору й умови руху рідини в ґрунтових масивах, приймають так звану локальну швидкість руху рідини. При цьому приймається, що фільтраційний потік в цілому має деяку середню швидкість, що визначається, наприклад, за законом Дарсі, але в той же час окремі молекули рідини можуть мати випадкові відхилення і блукання, пов'язані з нерівномірним розподілом, різною геометричною формою та розміром пор у ґрунтовому масиві. Внаслідок відмінності швидкостей проходить гідравлічна дисперсія (розсіювання) частинок рідини на шляху фільтрації. Особливо це помітно на межі між двома різнорідними рідинами.

Давно відомий той факт, що дрібнодисперсні речовини з великою площею поверхні часток володіють здатністю поглинати або затримувати інші речовини, що проходять через них і знаходяться в іншому агрегатному стані. На основі експериментальних досліджень встановлено, що чим дрібніші частки поглинаючої речовини, чим більша її питома поверхня, тим чіткіше

проявляються властивості поглинання [3]. Звідси можна зробити висновок, що процес поглинання тісно пов'язаний з площею поверхні розділу між двома фазами.

Явище поглинання, в якому поглинаюча речовина розподіляється в тонкому поверхневому шарі на межі розподілу двох фаз, називається адсорбцією. Явища адсорбції показують зміни, які проходять на поверхні розділу двох фаз або точніше в тонких поверхневих шарах, що прилягають до поверхні розділу цих фаз.

В теперішній час розрізняють три види адсорбції: адсорбцію іонів, що визначають потенціал; адсорбцію індиферентних електролітів; обмінну адсорбцію іонів у дифузному шарі.

Прикладом адсорбції іонів може бути адсорбція іонів Ag або J з розчинами $AgNO_3$ або KJ . Ймовірно, що цей вид адсорбції має місце в утворенні іонних груп у міцелах колоїдів.

При другому виді адсорбції, адсорбуються індиферентні іони, що не приймають участь у створенні подвійного електричного шару й різниці потенціалів. На відміну від першого виду адсорбції, тут адсорбуються два іони електроліту, які залишаються в межах рідкої фази і не включаються в склад кристалічної ґратки твердої фази.

Перших два види адсорбції ще називають фізичною адсорбцією або фізичним поглинанням.

Третій вид адсорбції відрізняється від перших двох тим, що поглинання поверхнею розділу одних іонів проходить шляхом звільнення і виділення у розчин еквівалентної кількості інших іонів того ж знаку. Таким чином тут ми маємо, по суті, не поглинання в чистому вигляді, а заміну одних іонів іншими.

Суть фізичного поглинання на поверхні розділу „тверде тіло – розчин” полягає в тому, що концентрація сольового розчину на межі дотику з твердим тілом відрізняється від загальної концентрації розчину. Таким чином, якщо виміряти концентрацію будь-якого розчину, що насичує ґрунт, то можна встановити, що концентрація розчину в шарі, який знаходиться безпосередньо біля мінеральної частинки, відрізняється від концентрації розчину в проміжках між частинками.

При цьому може бути два випадки. В першому випадку, концентрація розчину поблизу поверхні твердої частинки більша, ніж у залишковій масі між частинками. В даному випадку розчинена речовина ніби притягується твердою частинкою із залишкової маси рідини. Цей випадок називають позитивною адсорбцією.

У другому випадку спостерігаємо зворотні співвідношення концентрацій розчиненої речовини, тобто концентрація розчиненої речовини в поверхневому шарі навколо твердої мінеральної частинки менша, ніж концентрація цієї ж речовини в залишковій масі між твердими частинками. В даному випадку адсорбцію називають негативною. При цьому слід зауважити, що усі розчинені у воді речовини по відношенню до їх адсорбційної здатності розділяють на дві основні групи. Перша група речовин при розчиненні їх у воді, завжди адсорбується позитивно. Це означає, що в поверхневому шарі рідини завжди є деякий надлишок речовини у порівнянні із залишковою її масою. Речовини другої групи у водних розчинах завжди адсорбуються негативно.

Таким чином перша група речовин ніби притягується до поверхні розділу двох фаз, а друга ніби відштовхується цією поверхнею у внутрішній бік рідини.

Дослідами встановлено [4], що поділ речовин на дві вищевказані групи пов'язано з їх впливом на величину поверхневого натягу води. Речовини першої групи, що адсорбуються позитивно, зменшують поверхневий натяг води, вони називаються поверхнево-активними. До них відносяться численні органічні сполуки, органічні кислоти й основи.

На відміну від фізичної адсорбції, обмінна адсорбція (фізико-хімічне поглинання) має характер хімічної реакції обміну. Якщо з розчину в процесі обмінної адсорбції зникає деяка кількість іонів, адсорбуючись поверхнею розділу, то точно така ж кількість однойменних іонів, що звільнились поверхнею розділу, з'явиться в розчині. Наприклад, при дії на наважку глинистого ґрунту розчином хлористого калію зникає з розчину деяка кількість іонів Ca^{2+} . Дослідивши розчин, легко встановити, що при обмінній адсорбції розчину з'явиться також кількість іншого катіона, наприклад Na^{+} .

Бувають випадки, коли кількість катіонів, що з'явилась в розчині менша тієї кількості, яка зникає з розчину в процесі обмінної адсорбції. В такому

випадку можна встановити зниження pH розчину, що вказує на збільшення в ньому концентрації іонів водню. При цьому, якщо до кількості металевих катіонів, які з'явилися, додати кількість іонів водню, що вказують на зміну pH розчину, то можна впевнитись, що і тут реакція проходить в еквівалентній кількості. Тільки замість металевих катіонів частина адсорбованих поверхнею розділу катіонів замінилась іонами водню. В результаті чого розчин став більш кислим.

На основі аналізу експериментальних даних [4] можна встановити основні закономірності, що спостерігаються при явищах фізико-хімічного поглинання катіонів. Їх можна виділити наступним чином:

1) обмін і концентрація розчину. Якщо змінювати концентрацію розчину будь-якої солі, наприклад $NaCl$, що фільтрується через одну і ту ж пробу ґрунту, то можна легко помітити, що кількість нових катіонів, які з'явилися у фільтраті, залежить від концентрації розчину $NaCl$;

2) обмін і об'єм діючого розчину. Кількість витиснених із ґрунту катіонів при одній і тій же концентрації розчину залежить від відношення проби ґрунту до об'єму взятого розчину;

3) обмін і тривалість контакту частинок ґрунту з розчином. Досліди показують, що обмін катіонів здійснюється дуже швидко. Достатньо однієї хвилини дотику мінеральної частинки з розчином, щоб реакція закінчилася й настав стан рівноваги. Така швидкість реакції підтверджує, що при обмінній адсорбції ми маємо особливий вид хімічної реакції, яка протікає між поверхнею твердих частинок і розчину. У зв'язку з цим обмінну адсорбцію, ще називають фізико-хімічним поглинанням;

4) обмін і кратність обробки твердих частинок ґрунту розчином. Досліди показують, що навіть при дуже високих концентраціях електроліту розчину частина іонів продовжує залишатись у дифузному шарі і повна заміна їх новими досягається лише при багаторазових обробках частинок ґрунту новими порціями розчину. Це вказує на те, що обмінна адсорбція має характер зворотньої реакції, і тільки при дії на одну і ту ж пробу ґрунту новими порціями розчину, може досягти повної заміни іонів дифузного шару іонами електролітами.

В дослідженнях, що були виконані в [4] звернуто увагу на те, що розчини, які містять електроліти з різними катіонами, витісняють із ґрунту різну кількість катіонів. При цьому було встановлено, що в природних умовах у глинистих ґрунтах міститься, в обмінному стані, як правило 5 наступних катіонів: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} , і H^{+} . Ці п'ять найбільш розповсюджених поглинальних катіонів можуть міститися в ґрунтах у різних кількостях по відношенню один до одного. Деякі з них можуть бути навіть відсутні, наприклад, водень у насичених ґрунтах. В невеликій кількості може бути присутній калій. В залежності від наявності найбільшої кількості катіонів серед насичених глин розрізняють глини натрієві, кальцієві й магнієві.

Від складу поглинальних катіонів у значній мірі залежить фізичний стан тонкодисперсної частини ґрунтів. При цьому, чим більша ємність поглинання, тим більший вплив складу іонів дифузного шару на властивості глинистих ґрунтів.

Глинисті ґрунти, що насичені натрієм, дуже сильно набухають у воді, сильно стискаються під впливом зовнішнього навантаження, володіють дуже високою зв'язністю в сухому стані і незначною водопроникністю. Їх тонкодисперсна частинка нестійка і легко руйнується водою, що фільтрується у ґрунті. Розчинні речовини, що утворюються при цьому, виносяться разом із водою. За своїми фізико-механічними властивостями натрієві глинисті ґрунти близькі до солонців.

Глинисті ґрунти, що насичені кальцієм, слабо набухають у воді під навантаженням стискаються значно менше, ніж натрієві, володіють невеликою зв'язністю в сухому стані і високою водопроникністю. Тонкодисперсна частинка до дії фільтруючої води стійка.

Глинисті ґрунти, що містять в складі поглинаючих катіонів водень, займають середнє місце між глинистими ґрунтами натрієвими й кальцієвими.

Штучно замінюючи склад поглинаючих основ, можна покращити або погіршити фізико-механічні властивості ґрунту.

Обмінна здатність, як показують досліді [4], також залежить від ступеня подрібнення мінеральних частинок, що входять у склад ґрунту. Максимальну здатність до обміну іонів показують частинки колоїдного розміру. Зі

збільшенням розмірів частинок поглинальна здатність у більшості випадків зменшується і у частинок крупніших 0,01 – 0,005 мм її встановити не вдається. З цього можна зробити висновок, що величина поверхні, яка пов'язана зі ступенем дисперсності частин, є одним з основних факторів, що визначають обмінну здатність частинок. Однак, у наукових дослідженнях є факти, які показують, що залежність обмінної здатності від ступеня дисперсності мінеральних частинок не є простим процесом. Так, в деяких випадках, значну обмінну здатність показують крупні частинки з розмірами 0,01 – 0,1 мм і навіть крупніші. Це вказує на те, що ступінь дисперсності хоча і є основним, але не єдиним фактором, що визначає обмінну здатність ґрунтів. Іншим фактором, як показали дослідження [4], є хіміко-мінералогічний склад частинок. Відомо, що паралельно зі зменшенням розмірів мінеральних частинок змінюється і їх мінералогічний склад. Це змушує зробити припущення, що на значне збільшення обмінної здатності із збільшенням ступеня дисперсності може впливати не тільки обмінна поверхня, але і зміна складу мінерального комплексу. Звідси виникає питання про необхідність вивчення впливу різних мінералів на обмінну адсорбцію.

Висновок. На основі досліджень встановлено, що основними носіями обмінних властивостей глинистих ґрунтів є вторинні глинисті мінерали, що утворилися в процесі хімічного вивітріння. Серед них, як показали досліді [1, 2, 3, 4, 5], різні мінерали володіють різною здатністю до обміну. Так, наприклад, у каолініту обмінна здатність проявляється в дуже невеликій мірі і поглинальна ємність невисока. У монтморилонітах здатність до обміну проявляється дуже різко і поглинальна ємність дуже висока.

Література

1. Власюк А. П., Кузло М. Т. Експериментальні дослідження деяких параметрів фільтрації сольових розчинів в піщаних ґрунтах // В кн.: Меліорація і водне господарство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. Вип. 37. – К.: 200. – С43-46.
2. Кузло М. Т., Філатова І. А. Моделювання руху сольових розчинів у ґрунтах // В зб.: Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2005. Вип. 12. – С.361-366.
3. Приклонский В. А., Грунтоведение, 3 изд., ч. 1. М., 1955. – 175 с.
4. Гедройц К. К. Учение о поглотительной способности почв. – М. - Л.: Изд-во сельхозгиз, 1932. – 243 с.
5. Грунтоведение / Под ред.. Е. М. Сергеева. М., Изд-во МГУ, 3-е изд. 1971. – 595 с.

Осяєв Ю.М., канд. тех. наук, Леонтьєв Ю.М., канд. тех. наук

ВИКОРИСТАННЯ РОЗПОДІЛУ ДІРІХЛЕ В ЙМОВІРНИХ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДАХ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ НОВІТНІХ МАТЕРІАЛІВ У ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ

Анотація. У статті розглянуто основні методи обробки статистичних даних за допомогою бета-розподілу, узагальненням якого є розподіл Діріхле.

Ключові слова: оцінка новітніх технологій при будівництві та ремонтах автомобільних доріг, бета – розподіл, розподіл Діріхле.

Аннотация. В статье рассмотрены основные методы обработки статистических данных с помощью бета-распределения, обобщением которого является распределение Дирихле

Ключевые слова: оценка новых технологий при строительстве и ремонтах автомобильных дорог, бета – распределение, распределение Дирихле.

Abstract. The article discusses the basic methods of statistical data with beta-raspredeniya, which is a generalization of the Dirichlet distribution

Keywords: evaluation of new technologies in the construction and repair of roads, beta - distribution, Dirichlet distribution.

Постановка проблеми. Одним із актуальних напрямів в області проведення прикладних досліджень є обґрунтування можливості застосування відповідного математичного апарату для вирішення техніко – економічних задач з метою підвищення об'єктивності результатів дослідження.

Сутність проблеми. Висока інформаційна невизначеність в період впровадження новітніх технологій при будівництві та ремонтах автомобільних доріг та прогнозування визначення відповідних критеріїв ефективності.

Мета статті. Можливість застосування відповідного математичного апарату, зокрема бета – розподілу, для вирішення техніко – економічних задач з метою підвищення об’єктивності результатів. Особливого значення це набуває при оцінці втілення новітніх технологій при будівництві та ремонтах автомобільних доріг

Виклад основного матеріалу. Одним із актуальних напрямів в області проведення прикладних досліджень є обґрунтування можливості застосування відповідного математичного апарату для вирішення техніко – економічних задач з метою підвищення об’єктивності результатів. Особливого значення набуває застосування адекватного математичного апарату при оцінці новітніх технологій при будівництві та ремонтах автомобільних доріг, оскільки висока інформаційна невизначеність в період впровадження новітніх технологій припускає оцінку ймовірності прогнозування різних техніко – економічних показників.

У теорії ймовірностей і математичній статистиці розподіл Діріхле , позначають часто $\text{Dir}(\alpha)$, - це сімейство безупинних багатомірних вірогідних розподілів параметризованих вектором α не від’ємних дійсних чисел. Розподіл Діріхле є узагальненням [бета-розподілу](#) на багатовимірний випадок. Тобто, його [функція щільності](#) повертає значення ймовірності того, що ймовірність кожного з K взаємовиключних подій дорівнює x за умови, що кожна подія спостерігалася $\alpha_i - 1$ разів.

Функція щільності ймовірності для розподілу Діріхле порядку K є:

$$f(x_1, \dots, x_{k-1}; a_1, \dots, a_k) = \frac{1}{B(a)} \prod_{i=1}^k x_i^{a_i-1} \quad (1)$$

$$\text{де, } x_i \geq 0, \quad a_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^k x_i = 1$$

Нехай $X=(X_1, \dots, X_k) \sim \text{Dir}(\alpha)$ і $a_0 = \sum_{i=1}^k a_i$,

$$\text{тоді } E[X_i | a] = \frac{a_i}{a_0} \quad (2)$$

$$\text{Var}[X_i | a] = \frac{a_i(a_0 - a_i)}{a_0^2(a_0 + 1)} \quad (3)$$

$$C_{ov}[X_i X_j | a] = \frac{-a_i a_j}{a_0^2 (a_0 + 1)}$$

Модулю розподілу є вектор $x = (x_1, \dots, x_K)$

$$3 \quad x_i = \frac{a_i - 1}{a_0 - k} \quad a_i > 1 \quad (4)$$

Розподіл Діріхле є сполученим апіорним розподілом до мультиномінального розподілу, а саме:

$$\text{якщо } \beta | X = (\beta_1, \dots, \beta_K) | X \sim \text{Mult}(X) \quad (5)$$

де β_i - число входжень i у вибірку з n крапок дискретного розподілу на $\{1, \dots, K\}$ визначеного через X ,

де $X | \beta \sim \text{Dir}(a + \beta)$

Цей зв'язок використовується в Байєсівській статистиці для того, щоб оцінити сховані параметри X , дискретного вірогідного розподілу маючи набір з n вибірок. Очевидно, якщо апіорний розподіл позначений як $\text{Dir}(\alpha)$, то $\text{Dir}(\alpha + \beta)$ є апостеріорний розподіл після серії спостережень з гістограмою β .

Найчастіше при вивченні розподілу техніко – економічних параметрів використовується нормальний закон. Проте даний підхід не завжди є досить обґрунтованим і, як наслідок, може дати лише приблизні оцінки. Крім того, такі дослідження припускають наявність великого масиву вихідних даних, що не завжди можливо при обмеженому колі досліджуваних об'єктів. У ряді робіт зазначено, що як типовий розподіл певних параметрів у часі може бути прийнятий бета – розподіл (розподіл Діріхле) [1,3].

Таким чином при прогнозуванні конкретних техніко – економічних параметрів з обґрунтуванням алгоритму визначення кількісних значень його статистичних характеристик. Відомо, що випадкова величина має бета - розподіл з параметрами (a, β) ($a > 0, \beta < 0$), якщо

$$f(t) = \frac{\Gamma(a + \beta)}{\Gamma(a)\Gamma(\beta)} t^{a-1} (1-t)^{\beta-1}, \quad (7)$$

де $t \in [0,1]$; $0, t \notin [0,1]$

При використанні нормованої величини досліджуваного параметра t (в інтервалі змін $[0;1]$) щільність ймовірності прогнозованого параметру має вигляд:

$$f(t) = ct^{a-1}(1-t)^{\beta-1}, \quad (8)$$

де a, β – статистичні параметри розподілу,
 c – константа

Величину константи можна визначити за допомогою

$$c = \frac{\Gamma(a+\beta)}{\Gamma(a)\Gamma(\beta)}, \quad (9)$$

$$\text{де } \Gamma(n) = (n-1)!, \quad (10)$$

$$\text{позначимо } \frac{\Gamma(a)\Gamma(\beta)}{\Gamma(a+\beta)} = B(a, \beta) \quad (11)$$

Тоді

$$f(t) = \frac{1}{B(a, \beta)} t^{a-1}(1-t)^{\beta-1}, \quad (12)$$

$$\text{та } \int_0^1 f(t)dt = 1$$

Математичне очікування і дисперсія випадкові величини в цьому випадку дорівнюють

$$M(t) = \frac{a}{a+\beta} \quad (13)$$

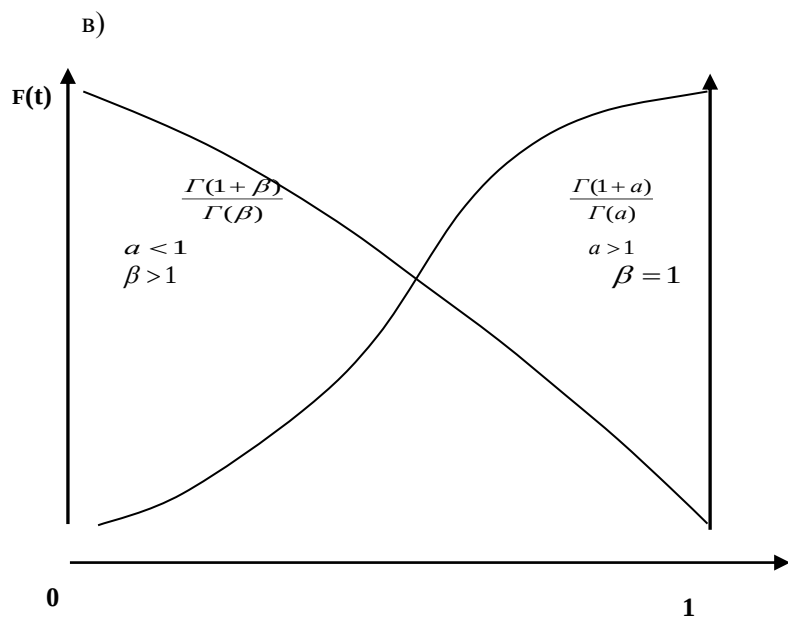
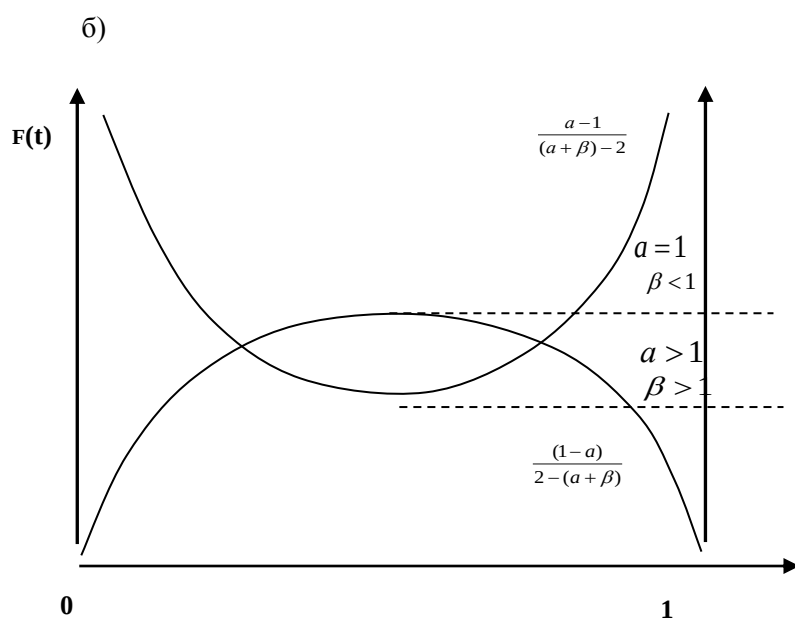
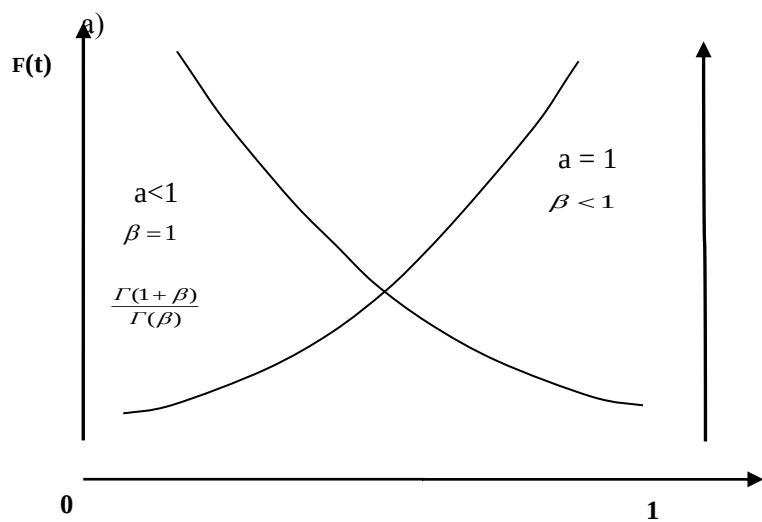
$$D(t) = \frac{a\beta}{(a+\beta)^2(a+\beta+1)} \quad (14)$$

На рис. 1 наведені приклади кривих функції щільності бета – розподілу при різних значеннях її статистичних параметрів:

Розглянемо зміну досліджуваного параметра на інтервалі $[a,b]$ тобто $a \leq X \leq b$. В цьому випадку :

$$t = \frac{x-a}{b-a}, \quad x = a + (b-a) \cdot t$$

$$f(x) = \frac{1}{(b-a)^{a+\beta-1} \cdot B(a; \beta)} (x-a)^{a-1}(b-x)^{\beta-1} = c(x-a)^{a-1}(b-x)^{\beta-1}, \quad (15)$$



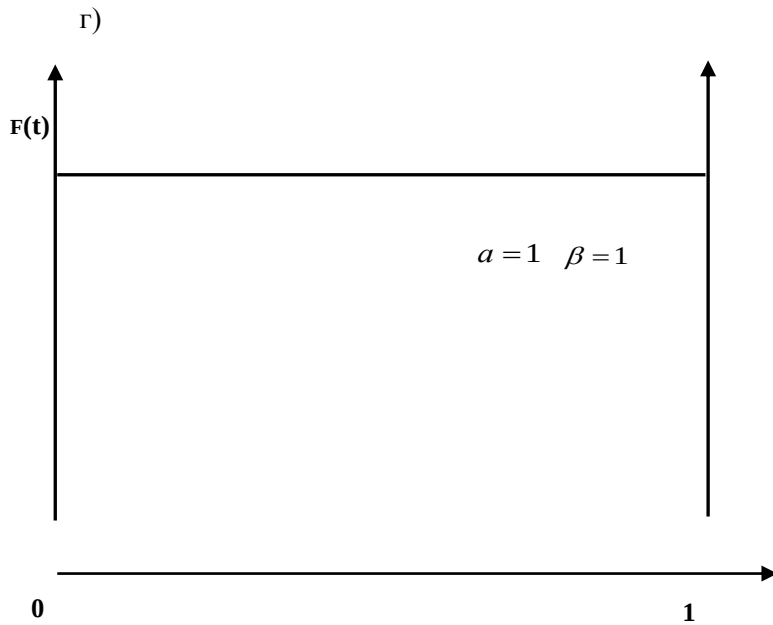


Рисунок 1 – Щільність бета-розподілу

Тобто визначення константи бета-розподілу визначається як

$$c = \frac{1}{(b-a)^{a+\beta-1} B(a; \beta)}, \quad (16)$$

$$M(x) = a + (b-a)$$

$$M(t) = a + (b-a) \frac{a}{a+\beta} = \frac{a\beta + ba}{a+\beta} \quad (17)$$

Дисперсія випадкової величини складає:

$$D(x) = (b-a)^2 \quad D(t) = \frac{2\beta(b-a)^2}{(a+\beta)^2(a+\beta+1)} \quad (18)$$

З огляду на те, що $M(x) = \bar{x}_b$ і $D(x) = \sigma_b^2$ (де $\bar{x}_b$ і σ_b^2 - відповідно оцінка параметра: його дисперсія, які можуть бути знайдені за даними вибіркової сукупності). Оцінки статистичних параметрів a і β можуть бути отримані при рішенні системи рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{a\beta + b\varphi}{\varphi + \beta} = \bar{x}_b \\ \frac{a\beta(b-a)^2}{(a+\beta)^2(a+\beta+1)} = \sigma_b^2 \end{cases} \quad (19)$$

Крім того, припустивши за емпіричними даними вид кривої щільності бета – розподілу і задаючи відповідні значення параметрів a і β (рис.1), можна

визначити величину константи розподілу по формулі (16) і здійснити перевірку відповідності емпіричного розподілу теоретичному припущенні за допомогою відомих критеріїв математичної статистики.

Таким чином, при вивченні розподілу техніко – економічних параметрів досліджуваних новітніх технологій можна досліджувати бета – розподіл із щільністю імовірності, обумовленої з залежності (15), де a - мінімальна оцінка параметра, а b - максимальна оцінка параметра.

Висновки

1. Розподіл Діріхле може бути прийнятий у якості типового розподілу при дослідженні техніко-економічних параметрів новітніх технологій в часі при будівництві та ремонтах автомобільних доріг, що дозволяє одержати функцію щільності імовірності досліджуваного параметра під час відсутності значного масиву вихідних даних і об'єктивно визначити його оцінки.

2. Визначення конкретних статистичних характеристик розподілу, що вивчаються, може бути проведене на основі визначеного у статті розрахунку, а також за допомогою аналізу форми розподілу емпіричних даних і подальшого аналізу за допомогою статистичних критеріїв відповідності емпіричного і теоретичного розподілів.

3. Розглянутий метод дослідження розширює можливості застосування ймовірних методів оцінки техніко-економічних процесів і показників, що веде до підвищення об'єктивності і обґрунтованості отриманих результатів.

Література

1. Годенко Д.И. Статистические методы в экономических системах. – М.: Статистика, 1970. – С. 320.
2. Грушко И.М., Сиденко В.М. Основы научных исследований. 3-е изд. – Х.: Вища школа. Изд-во при Харьк.ун-те, 1983. – 224 с.
3. Ковалев Д., Плетникова И. Количественная оценка уровня экономической безопасности предприятия // Экономика Украины. 2001. - №4 – С.35-40.
4. Hovanov N., Kornikov V., Seregin I. Multicriteria estimation under uncertainty // Proceedings of the International Conference Signals, Data, Systems. Heiderabad (India). December 12-14, 1994. Vol. 1. Heiderabad: AMSE Press, 1994. - P. 83–91.
- Osiaiev Iu.M., Bryk Douglas. The use of the dirichlet distribution in probability statistic methods of research // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник. Вип. 87. - К.: НТУ, 2013. – С.67-70.

Ряпухин В.Н., канд.тех.наук, Арсеньева Н.А., Онищенко А.С.

ОСОБЕННОСТИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СЛОИСТЫХ ПЛИТ НА КОНТАКТЕ СЛОЕВ

Аннотация. В статье рассмотрено численное моделирование напряженно-деформированного состояния слоистой плиты переменной конструкции и расчетных схем нежестких дорожных одежд. Предложено использование методов математического моделирования на основе апробированных методов моделирования с учетом температурного режима покрытий и полученного решения для слоистых плит (на контакте слоев).

Ключевые слова: нежесткие дорожные одежды, напряженно-деформированное состояние, контакты слоев, слоистые системы, касательные напряжения, нормальные напряжения.

Анотація. У статті розглянуто чисельне моделювання напружено-деформованого стану шаруватої плити змінної конструкції і розрахункових схем нежорстких дорожніх одягів. Запропоновано використання методів математичного моделювання на основі апробованих методів моделювання з урахуванням температурного режиму покриттів і отриманого рішення для шаруватих плит (на контакті шарів).

Ключові слова: нежорсткі дорожні одяги, напружено-деформований стан, контакти шарів, шаруваті системи, дотичні напруження, нормальні напруження.

Annotation. The article considers the numerical modeling of the stress-strain state of variable construction layered plates and calculation schemes of flexible pavements. Proposed to use mathematical modeling based on approved methods of modeling,

taking into account temperature and the resulting coverings solution for the layered plates (at the contact layers).

Keywords: flexible pavement, stress-strain state, contact layers, layered system, shear stresses, normal stresses.

Действующая на поверхности дорожной одежды колесная нагрузка вызывает в дорожной конструкции и, прежде всего в покрытии, объемное напряженно-деформированное состояние.

Многослойные асфальтобетонные плиты нежестких дорожных одежд работают при различных температурных режимах. Не всегда обеспечено достаточное сцепление слоев на контакте, вследствие возможных нарушений или специфики технологии.

При проектировании дорожных одежд, что касается монолитности (спаянности) на контактах слоев из монолитных материалов, специальных расчетов не предусмотрено. Принято считать, что спаянность слоев обеспечивается конструктивно и специальными технологическими приемами [1, 2, 3].

При этом исходят из следующих соображений. Максимальные сдвигающие напряжения в монолитной слоистой плите возникают не на контактах слоев (плоскость, параллельная главной площадке μ), а на наклонной площадке скольжения (теория Кулона-Мора), угол наклона которой зависит от величины главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ [1, 2, 3, 4, 5].

Поэтому предполагается, что сдвиг прежде всего произойдет по наклонному сечению, т.к. прочность контактов слоев принимается не менее прочности асфальтобетона покрытия.

Одновременно с этим автоматически решается вторая проблема: обеспечивается, как наименее опасная, с точки зрения прочности на растяжение при изгибе, расчетная схема со спаянными слоями [3].

В существующих методах конструирования и расчета нежестких дорожных одежд как одно из главных требований предусмотрено монолитные (сплошные) слои одежды между собой должны быть омоноличены (спаяны на

контакте) согласно ВБН В.2.3-218-186. В этом случае слоистая система работает как монолитная плита, в которой прогибы и растягивающие напряжения будут меньше.

На практике часто встречаются конструкции, которые под действием нагрузки и климатических факторов расслаиваются и быстрее разрушаются.

Кроме общих требований по технологии строительства покрытий нежестких дорожных одежд, конкретных расчетов прочности контактов слоев на сдвиг и разрыв не предусмотрено. Поэтому исследование напряженно-деформированного (НДС) состояния на контакте слоев является важной научно-технической задачей.

На основе ранее полученных решений [1, 2, 3, 4] проведено моделирование напряженно-деформационного состояния слоистых систем на контактах слоев. Имитировалось поведение под нагрузкой верхней монолитной плиты нежестких дорожных одежд, состоящей из слоев покрытия и верхних монолитных слоев основания. В качестве материалов слоев рассматриваются асфальтобетоны различных марок и типов, а для верхних монолитных слоев материалы, обработанные органическим, неорганическим или комплексным вяжущим. Граничными условиями для расчетной трехслойной системы является единство напряжений и перемещений на контактах слоев (спаянные слои) [3, 4, 5, 6].

Исследования НДС трехслойных плит на упругом полупространстве проводилось на основе анализа эпюр касательных (τ_{rk}) и нормальных (σ_k) напряжений на контактах слоев для различных расчетных схем моделей.

Для эпюр напряжений на контакте слоев характерно наличие максимумов. Эпюра касательных напряжений имеет два максимума, которые соответствуют краям площадки загрузки.

Максимальные значения касательных напряжений наблюдаются на оси "Г" с относительной координатой $\frac{r_m}{D} = 0,49 - 0,51$, что соответствует краю площади загрузки (считая от оси приложения нагрузки $0,5D=R$).

Максимальные вертикальные напряжения наблюдаются по оси приложения нагрузки, имеют один максимум, который не совпадает в пространстве с максимумом касательных напряжений.

В месте появления максимальных касательных напряжений ($\tau_{rz\max}$) вертикальное напряжение на контакте слоев почти в два раза меньше максимального, которое наблюдается по оси загрузки.

В пространстве поле касательных напряжений представляет собой выгнутую воронку. Поэтому при перемещении нагрузки (движущийся автомобиль) каждая точка монолитной плиты будет дважды подвергнута воздействию касательных напряжений, т.е. в два раза повышается опасность сдвига на контакте слоев. Несовпадение максимумов τ_{rz} и σ_z по вертикали в монолитной плите характерно для всех значений модулей слоев, толщин слоев и модулей основания ($E_{\text{осн}}$).

Такое специфическое поле напряжений на контакте слоев в общем виде было описано аналитически. Однако, не обращалось внимание на то, что воздействие горизонтальных касательных напряжений будет при каждом проходе колеса повторяться дважды, направление касательных сдвигающих усилий меняется на противоположное и силы трения сцепления при максимуме касательных напряжений будут значительно меньше.

Касательные напряжения, переменные не только по абсолютной величине но и по направлению, более агрессивны и быстрее приводят к разрыву связей слоев на контакте. Абсолютная величина максимальных значений τ_{rz} зависит от ряда параметров: модулей упругости и коэффициентов Пуассона слоев монолитной плиты, толщины монолитной плиты, модуля основания и величины нагрузки. Однозначно: чем выше модули упругости слоев монолитной плиты, тем максимальное касательное напряжение, при прочих равных условиях, больше. Однако, влияние модуля слоев корректируется в первую очередь толщиной плиты. В толстых плитах влияние модулей упругости слоев плиты и модулей основания нивелируются за счет геометрических параметров плиты. Отсюда следует, что в толстых (толстослойных) монолитных плитах покрытий дорожных одежд

максимальные касательные напряжения (τ_{rz}) будут в пределах до $\pm 10\%$ постоянны. В этом плане толстой (толстослойной) плитой по отношению к размерам площадки загрузки можно считать плиты, у которых h более $0,85D$.

Анализируя эпюры касательных напряжений было отмечено, что максимальные значения (τ_{rz}) находятся по вертикали под краем площадки загрузки ($r=1/2D$). Но остается не выясненным вопрос, в каком месте по толщине плиты находится максимум, и каково влияние параметров плиты и нагрузки. Для исследования этого вопроса было проведено математическое моделирование распределения $\tau_{rz\max}$ по толщине плиты. Как видно из полученных данных толщина плиты, модули упругости плиты и основания влияют только на абсолютную величину τ_{rz} , а не на расположение $\tau_{\max}$ по толщине плиты.

Наиболее опасное по горизонтальному сдвигу сечение в однородных монолитных плитах зависит от размеров площадки загрузки и практически не зависит от параметров упругости плиты и основания.

В относительных координатах z/D месторасположение наиболее напряженного сечения фиксируется на постоянной отметке $z/D = (0,195...0,2)$. Эти выводы весьма существенны для конструирования прочных и надежных дорожных покрытий. Характер и закономерности изменения напряжений мало чем отличаются для аналогичных условий загрузки, при модуле асфальтобетона $E_{аб}=4500$ МПа и $\gamma=0,15$. Существенно зависит от модуля упругости асфальтобетона и абсолютная величина касательных напряжений.

При всех прочих равных условиях касательные напряжения имеют большее значение в асфальтобетонной плите (слое) с большим модулем упругости. С повышением жесткости основания ($E_{осн}$) касательные напряжения в монолитной плите уменьшаются, а в более толстой плите напряжения меньше, чем в тонкой.

Был разработан и проведен численный эксперимент на моделях слоистой плиты переменной конструкции и расчетных схем. Рассмотрены модели

трехслойной плиты со слоями разной толщины и разными модулями упругости и общей толщиной от 30 см до 6 см.

Для всех моделей характерно, что чем толще монолитная плита, тем меньше величина максимальных касательных напряжений. Эта закономерность характерна всем группам моделей за исключением группы, где “жесткая” прослойка изменяет поле напряжений при толщине плиты менее $0,8D$.

В слоистых системах более жесткий слой всегда концентрирует напряжения вблизи себя. Однако, это влияние не является абсолютным, так как максимальные касательные напряжения всегда располагаются в верхней части конструкции, и только при наличии внизу конструкции более жесткого слоя опускаются до 10 см. Но величина этих напряжений зависит от толщины плиты (в толстых плитах напряжения меньше).

В однородной слоистой плите, не зависимо от толщины плиты, максимальные касательные напряжения находятся на глубине 5,5 – 6,5 см от поверхности плиты. Если эпюра модулей слоев, убывает по глубине, то максимальные сдвигающие напряжения могут незначительно подняться вверх и находятся на глубине 4 – 5 см. Такая же картина сохраняется и для расчетных схем со “слабым” или “более жестким” средним слоем. Исключение составляют модели с “более жестким” слоем понизу слоистой плиты. В этом случае максимальные касательные напряжения находятся на уровне ≈ 10 см ($\frac{z}{D} = 0,3$). Таким образом, можно констатировать, что практически для всех расчетных схем, кроме схемы с жестким слоем внизу, максимальные растягивающие напряжения, не зависимо от толщины плит, располагаются на уровне 5 – 6 см от верха плиты ($0,15 - 0,09$) D . В этом же сечении нормальные вертикальные напряжения существенно меньше максимальных.

Для исследования поведения монолитных плит покрытий дорожных одежд с успехом могут быть использованы методы математического моделирования на основе апробированных методов моделирования температурного режима покрытий и полученного решения НДС слоистых плит на контакте слоев. В результате моделирования НДС различных конструкций (расчетных схем) дорожных одежд установлено:

- максимальные касательные напряжения (τ_{rz}) возникают под краем площадки загрузки на расстоянии $1/2 D$ от центра загрузки.
- в пространстве поле касательных напряжений представляет “вогнутую воронку”. Поэтому при перемещении площадки загрузки (колеса) каждая точка покрытия будет дважды испытывать воздействие противоположных по направлению горизонтальных касательных напряжений
- максимум касательных напряжений не совпадает по вертикали с максимумом σ_z . При оценке прочности на сдвиг необходимо учитывать фактическую величину вертикального нормального напряжения, соответствующую $\tau_{rz \max}$.
- в плитах значительной толщины ($h/D > 0.85$) величина максимальных касательных и вертикальных нормальных напряжений практически не зависит от других параметров плиты.
- наиболее опасное по горизонтальному сдвигу сечение монолитных плит находится на уровне $z/D = 0,19 - 0,2$, т.е. для реальных нагрузок на глубине 5 – 6 (7) см. При наличии в низу плиты более “жесткого” слоя опасное сечение опускается до 8 – 10 см.

Литература

1. Плевако В.П., Ряпухин В.Н. Совершенствование метода расчёта нежёстких дорожных одежд // Вестник Харьк. гос. автомоб. – дор. техн. ун-та.: Харьков, 1999. – Вып. 9. – С. 51-56.
2. Плевако В.П. Общие решения в задачах теории упругости неоднородных сред. – Харьков: Изд-во «Основа» при ХГУ, 1997. – 160 с.
3. Плевако В.П. Напружений стан неоднорідних покриттів // Плевако В.П. Машинознавство. – 2001. - №3. – С. 24-28.
4. Гладкий А.В. Напряженно-деформированное состояние многослойных покрытий дорожных одежд Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – №6 (112) – С.105-108. Луганськ 2007.
5. Гладкий А.В. Ряпухин В.Н. Особенности расчетов на прочность многослойных покрытий и усиления нежестких дорожніх одежд. Збірник наукових статей ДержДорНДІ. Вип. 4. – Київ, 2006. – С.232-247
6. Ряпухин В.Н., Псюрник В.А., Гладкий А.В. Особенности расчета и испытания на прочность многослойных асфальтобетонных покрытий. – Харьков: Вестник ХНАДУ №34-35. – 2006. – С.9-11.

Славінська О.С., д-р техн. наук, Савенко С.С.

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОПЕРЕЧНИХ ДРЕНАЖІВ МІЛКОГО ЗАЛЯГАННЯ

Анотація. Наведено аналіз процесів вологонакопичення протягом річного циклу в дорожніх конструкціях та викладено основні принципи розрахунку параметрів дренажних мереж на ділянках з поздовжнім похилом більше поперечного. Особлива увага приділяється процесам літнього вологонакопичення у робочій зоні земляного полотна .

Ключові слова: автомобільна дорога, дренаж, питомий надлишок вологи, вологонакопичення, фільтраційний потік, витрата води.

Аннотация. Приведен анализ процессов влагонакопление в течение годового цикла в дорожных конструкциях и изложены основные принципы расчета параметров дренажных конструкций на участках с продольным уклоном более поперечного. Особое внимание уделяется процессам летнего влагонакопления дорожной конструкцией.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дренаж, удельный избыток влаги, влагонакопления, фильтрационный поток, расход воды.

Abstract. The analysis of the processes of moisture accumulation during the annual cycle in the road construction and the basic principles for calculating the parameters of drainage structures in areas with a longitudinal cross-over angle. Particular attention is paid to the process of accumulation of moisture summer road constr*ction.

Keywords: road, drainage, specific excess moisture, moisture accumulation, seepage flow, water flow.

Вступ

Існуюча мережа автомобільних доріг загального користування за протяжністю, щільністю та конфігурацією на сьогоднішній день в цілому відповідає національним потребам і здатна забезпечити на найближчі роки умови для економічного та соціального розвитку України за умови підтримання відповідного транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг.

Але недостатня експлуатаційна якість автомобільних доріг зумовлює зниження швидкостей транспортних засобів, підвищення витрат паливо-мастильних матеріалів та збільшення частки транспортної складової у собівартості продукції. У тому, що собівартість перевезень у 1,5 рази, а витрати пального на 30 % перевищують аналогічні показники у розвинутих зарубіжних країнах, є значна частка і дорожньої складової. Все це разом з недостатнім розвитком інфраструктури не приваблює іноземних перевізників, і тому транзитні перевезення дорогами України майже не збільшуються.

Особливої уваги потребує опорна мережа магістральних і регіональних доріг. Хоча їх протяжність складає менше 9 % від загальної, ними здійснюється до 80 % вантажообігу.

Таким чином, основна проблема полягає в тому, що транспортно-експлуатаційний стан автомобільних доріг і споруд на них не забезпечує швидкого, комфортного, економічного і безпечного перевезення пасажирів і вантажів автомобільним транспортом.

Основна частина

На ділянках автомобільних доріг з поздовжнім похилом більшим за поперечний вільна вода рухається у дренажному шарі. Вода захоплює із собою найбільш дрібні частинки, які на відстані $1/3-1/5 L$ (де L - довжина ділянки на ухилі) від вододілу, а також у місцях вігнутих вертикальних кривих і в місцях переходу з виїмок в насип скупчуються; відбувається закупорка в дренажних шарах, а також у основах з крупно-пористих матеріалів (щебеню, гравія, металургійного шлаку). В процесі фільтрації вода виступає на поверхню проїзної частини. У таких місцях щорічно спостерігаються

руйнування дорожніх покриттів, відповідно виникає потреба у влаштуванні дренажних конструкцій в межах робочої зони земляного полотна.

Основним критерієм для розрахунку параметрів дренажів мілкого залягання є розрахункова кількість вологи, яка надходить в дорожню конструкцію протягом року, а саме, критичне значення вологи, що може поглинатися земляним полотном з різних джерел зволоження. Це питання у своїх роботах розглядали такі відомі вчені як: М.В.Корсунський [2], Н.А.Пузаков [2,5], О.Я.Тулаєв [2,5,8,9], В.І.Рувінський [2,6,7], В.М.Сіденко [3–5], В.О.Фомін [3], І.А.Золотарь [5], К.І.Страхов[9], Г.Р.Седерген[10], В.А.Ионат [11].

Враховуючи актуальність проблеми, рядом авторів було запропоновано розрахунок процесів вологонакопичення протягом року за декількома методиками:

Визначення пропускної здатності дренажної конструкції мілкого залягання з урахуванням річного циклу представлена у роботі [1]. Автори методики приділяють основну увагу до визначення загальної величини надходження вологи в основу проїзної частини.

В рекомендаціях по осушенню земляного полотна та основ дорожніх одягів [2] автори концентрують особливу увагу на визначенні імовірної вологості ґрунту $W_{\max}$. Під імовірною максимальною вологістю ґрунту $W_{\max}$ мається на увазі максимальна величина середньої вологості ґрунту в межах активної зони земляного полотна, що спостерігається в найбільш несприятливий період року (час, протягом якого ґрунт активної зони найбільш зволожений) хоча б один раз за термін між капітальними ремонтами дорожнього одягу. Цей розрахунок заснований на результатах багаторічних натурних спостережень за ходом промерзання експлуатованих ділянок доріг.

У роботах [3–5] запропонований метод прогнозу осіннього і зимового вологонакопичення в земляному полотні, що враховує широкий комплекс природно-кліматичних характеристик. Даний метод використовує найбільш точні статистичні дані, оскільки значення температури повітря, глибини

промерзання, вологості ґрунту за рахунок зимового вологонакопичення зібрані за значний проміжок часу та представлені у вигляді номограм та графіків, які необхідні для визначення максимальної середньої осінньої та зимової вологості ґрунту земляного полотна, яка розраховується виходячи з наступного рівняння:

$$\frac{W_{cp}^{oc} - W_0}{W_{HB} - W_0} = \left(1 + \frac{H_B}{H_a}\right) \times \operatorname{erfc} \left[\left(1 + \frac{H_a}{H_B}\right) \frac{1}{2\sqrt{F_{OH}}} \right] + \left(1 - \frac{H_B}{H_a}\right) \operatorname{erfc} \left[\left(1 - \frac{H_a}{H_B}\right) \frac{1}{2\sqrt{F_{OH}}} \right] + \frac{2\sqrt{F_{OH}}}{\sqrt{\pi}} \times \frac{H_B}{H_a} \left\{ \exp \left[-\frac{1}{4F_{OH}} \left(1 - \frac{H_a}{H_B}\right)^2 \right] - \exp \left[-\frac{1}{4F_{OH}} \left(1 + \frac{H_a}{H_B}\right)^2 \right] \right\} \quad (1)$$

де W_{cp}^{oc} – середня осіння вологість;

W_{HB} – вологість, яка відповідає повній вологоємності;

W_0 – оптимальна вологість;

H_a – глибина активної зони земляного полотна;

H_B – відстань від верху земляного полотна до рівня ґрунтових або поверхневих вод, встановлювана в період вишукувань.

F_{OH} – критерій осіннього вологонакопичення, який враховує вологопровідність ґрунту, тривалість періоду вологонакопичення та відстань від верху земляного полотна до рівня ґрунтових або поверхневих вод.

Далі необхідно визначити середню вологість ґрунту земляного полотна до кінця зими:

$$W_{зим}^{cp} = W_h + (W_{cp}^{oc} - W_h) \frac{\exp(-A^2)}{\sqrt{\pi} \operatorname{Aerfc}(A)}, \quad (2)$$

де W_h – вологість рідкої фази ґрунту в зоні льодовиділення (при температурі – 0,5 до -1,0 С);

$$A = \frac{a\sqrt{\tau_{вл}}}{2H_B\sqrt{F_{OH}}} = \frac{a}{2\sqrt{k_1}} \quad (3)$$

де a – характеристика швидкості промерзання дорожньої конструкції, визначається теплотехнічним розрахунком.

$\tau_{вл}$ – тривалість періоду вологонакопичення, що обчислюється на основі метеорологічних характеристик районів;

Метод розрахунку літнього вологонакопичення представлений в роботах Рувінського В.І., має досить суттєві відмінності від раніше згаданих [6,7].

Використовуючи даний розрахунок, визначаємо сумарну кількість води, яка поглинається земляним полотном під проїзною частиною $H_{\text{вп(пр.ч)}}$ та сумарну кількість води, яка поглинається земляним полотном на узбіччях за певний розрахунковий період $H_{\text{вп(узб)}}$.

Сумарна кількість води, яка поглинається земляним полотном під проїзною частиною за розрахунковий період (мм), визначається за наступною формулою:

$$H_{\text{вп(0)}} = a_0 m_d \ln(1 + b_0 i_d) 10^{0,4 \ln t_{\text{вп(0)}}} \quad (4)$$

m_d – кількість дождів з повторюваністю 1 раз на срок служби покриття;

i_d – середню інтенсивність дощу (в мм/хв);

a_0 – коефіцієнт, який враховує тип і стан покриття;

$a_0 = 0,01$; (При виникненні тріщин в асфальтобетонному покритті рекомендується приймати значення коефіцієнта $a_0 = 0,013$.);

b_0 – коефіцієнт, який характеризує заповнення водою мікротріщин,
 $b_0 = 120$ (в період літа); $b_0 = 100$ (в період весни); $b_0 = 80$ (восени).

$t_{\text{вп(0)}}$ – тривалість поглинання, хв.;

$$t_{\text{вп(0)}} = (i_d T_d - H_{\text{см(0)}}) / (i_d m_d), \quad (5)$$

де T_d – сумарна тривалість опадів тої ж повторюваності, хв.;

$H_{\text{см}}$ – сумарне значення змочування покриття, мм.

Сумарна кількість води яку вбирає грунт земляного полотна на узбіччях за розрахунковий період (в мм) розраховується наступним чином:

$$H_{\text{вп(об)}} = A_{\text{укр}} i_{\text{вп}} \left[T_d - \left(\frac{H_{\text{см(0)}}}{T_d} + \frac{H_{\text{см}} - H_{\text{см(0)}}}{i_{\text{пв}}} \right) \right] \quad (6)$$

де $A_{\text{укр}}$ – коефіцієнт, що враховує тип укріплення узбіччя.

Авторами було проведено дослідження на ділянці автомобільної дороги Київ-Харків-Довжанський ПК 926+66 - ПК 959 з увігнутих поздовжнім

профілем. Отримані результати засвідчили, що методика запропонована Рувінським В.І., дозволяє враховувати всі показники, які пов'язані з процесами накопичення та враховує майже всі параметри функціональних елементів дорожньої конструкції. Це дає можливість з точністю та без особливих ускладнень визначити потрібні значення для конкретного району, для якого ведеться розрахунок. Також, за допомогою отриманих даних можливо спрогнозувати деформації, оцінити міцність дорожніх конструкцій та визначити модулі пружності для деформації ґрунту земляного полотна на основі розрахункової вологості. Використовуючи значення отримані за методиками запропонованими Рувінським В.І.[6,7] та Сіденком В.М.[3–5] визначаємо розрахунковий питомий надлишок води :

$$q_p = qK_nK_z \quad (7)$$

де q_p – розрахунковий питомий надлишок води, $\text{м}^3/\text{м}^2$ на добу;

q – питомий надлишок води, $\text{м}^3/\text{м}^2$ на добу;

K_z – коефіцієнт гідрологічного запасу;

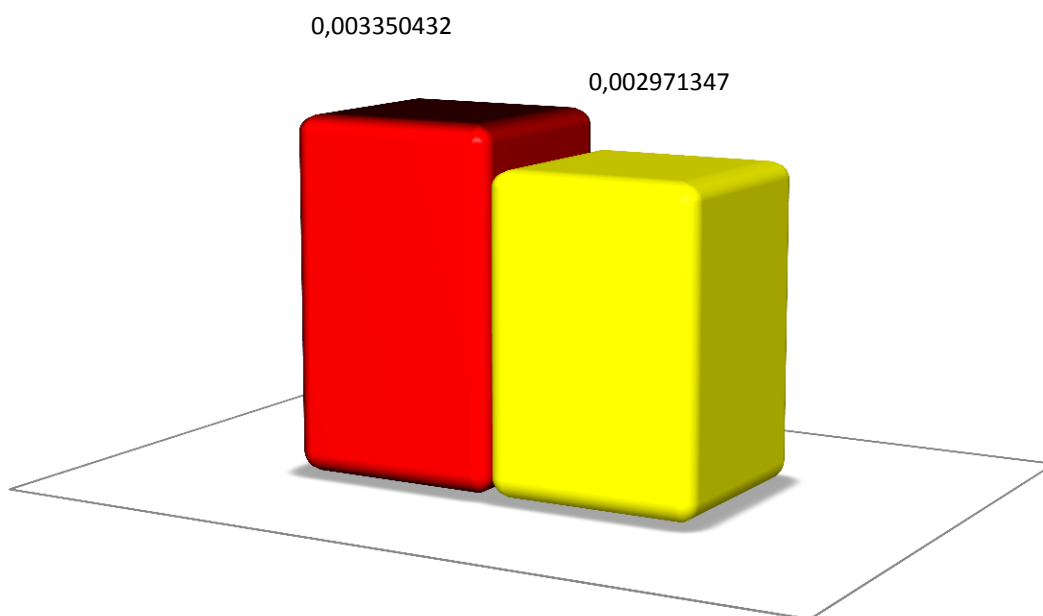
K_n – коефіцієнт пік.

Проведемо порівняння отриманих даних (рис.1).

Розрахувавши питомий надлишок вологи для визначення відстані між поперечними дренажними прорізами залишається невідомим значення загальної витрати води.

Для розрахунку витрати води необхідно вирішити складну гідромеханічну задачу, пов'язану з рухом струминок води вздовж і перпендикулярно осі дороги. Дійсний напрямок струминок фільтруючої води в дренуючих шарах не відомо. Виходячи з загальнотеоретичних положень, рух струминок в зоні водонасиченого піску відповідає схемі представлений на рисунку 2 [8,9]. При двосхилиму поперечному профілі струминки направлені під деяким кутом до осі дороги. Витрата води в дренуючих шарах залежить не тільки від якості пісків, але і від глибини фільтраційного потоку. При усталеному русі в дренуючому шарі між прорізами завжди спостерігається

депресійна крива з глибиною h фільтраційного потоку, що знаходиться на відстані l_2 від вище розташованої прорізі (рисунок 2а). У дні коли фільтраційний потік істотно підвищується, набуваючи ступінчастий вигляд з максимальною його глибиною h_{max} в місцях «горбів». Але чим менше глибина h , тим вище еквівалентна міцність дренуючого шару і тим більше міцність дорожніх одягів. Звичайно, в пікові дні глибина h_{max} не повинна перевищувати граничної межі, що залежить від товщини h_0 дренуючого шару і якості піску, щоб попередити виникнення деформацій на покритті [8,9]. При наявності поздовжнього похилу витрата дренуючого шару підвищується завдяки збільшенню гідравлічного градієнта.



Питомий надлишок води за методикою Сіденка В.М. [3–5]

$$q_3 = 0,00297 \text{ м}^3/\text{м}^2.$$

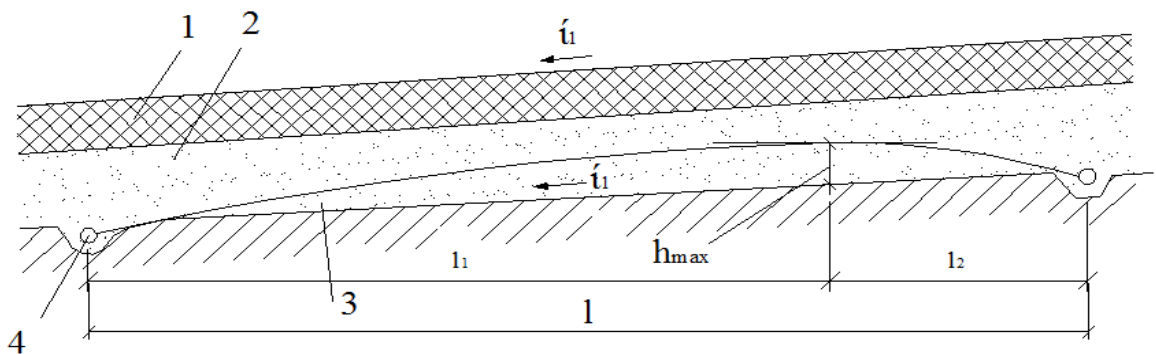
Питомий надлишок води за методикою Рувінського В.І. [6,7]

$$q_d = 0,0035 \text{ м}^3/\text{м}^2.$$

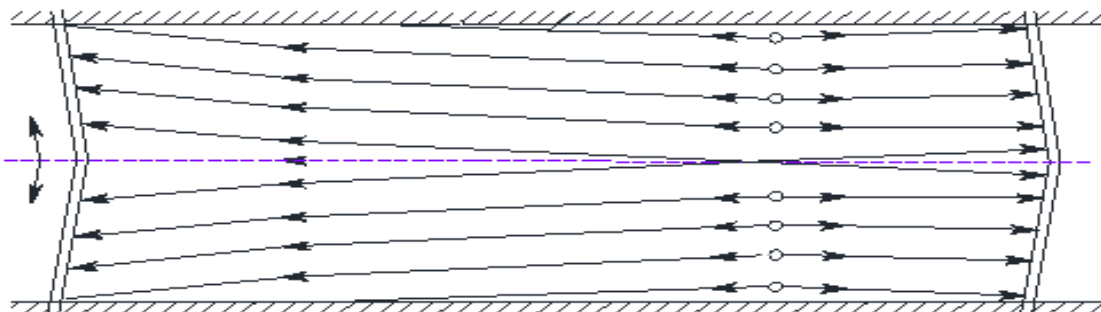
Рисунок 1 – Діаграма порівняння питомого надлишку води

Отже, робота прорізів буде повніше відображатися методом поглинання, що позначиться на збільшенні шару вільної фільтруючої води h_{max} , від якого і залежить відстань між прорізами.

Допускаючи при розрахунках рівномірний надлишок води по площі дренуючого шару, вода з ділянки l_1 поступає в нижню проріз, а з ділянки l_2 – у верхню (рисунок 2а). З підвищенням поздовжнього похилу i довжина ділянки l_1 буде збільшуватися за рахунок зменшення ділянки l_2 .



а)



б)

а) поздовжній розріз при наявності прорізів;

б) план фільтруються струминок води при прорізах;

1 - покриття та основа; 2 - дренуючий шар; 3 - струминки води; 4 - дренажна труба; (i_1 - поздовжній ухил; i_2 -поперечний ухил).

Рисунок 2 - Схема руху струминок води в дренуючому шарі на увігнутих ділянках [8,9].

Загальна витрата Q на ділянці $l = l_1 + l_2$ визначається за формулою:

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (8)$$

де, Q_1 – витрата води на зливній частині ділянки довжиною l_1 ;

Q_2 – витрата води на підпірній частині ділянки довжиною l_2 .

Тоді розрахункова відстань між поперечними прорізами мілкого закладення при усталеному русі:

$$l = l_1 + l_2 = h_{max} \left(\frac{1}{\gamma + i_1/2} + \frac{1}{\gamma - i_1/2} \right) = \frac{2h_{max}\gamma}{\gamma^2 - (i_1/2)^2} \quad (9)$$

де h_{max} – максимальна глибина фільтраційного потоку;

i_1 – поздовжній похил;

γ – безрозмірна величина.

$$\gamma = \sqrt{2q_p K_\phi} \quad (10)$$

де q_p – розрахунковий питомий надлишок вологи;

K_ϕ – коефіцієнт фільтрації.

Визначивши відстань між дренажними прорізами можна зробити наступні висновки:

1. Проаналізовано посезонну зміну сумарної кількості вологи, що поступає в дренажний прошарок з врахуванням надходження інфільтрату.

2. Проведено розрахунок параметрів поперечного дренажу мілкого залягання для ділянки автомобільної дороги Київ-Харків-Довжанський.

3. На основі розрахунку вологонакопичення в поперечному дренажі визначено, що питомий надлишок вологи влітку ($q_l = 0,0035 \text{ м}^3/\text{м}^2$);

перевищує надлишок вологи взимку ($q_z = 0,00297 \text{ м}^3/\text{м}^2\%$;) на 12 %.

4. Визначено параметри поперечного дренажу мілкого залягання на ділянці автомобільної дороги Київ-Харків-Довжанський ПК 926+66-ПК 959. З'ясовано, що розрахункова відстань між дренажними прорізами в 5 разів менша ніж стандартна.

5. Пропускна здатність запропонованої конструкції поперечних дренажів з прорізами на ділянці автомобільної дороги Київ-Харків-Довжанський ПК 926+66 - ПК 959 не відповідає сезонним змінам вологонакопичення в основі

дорожнього одягу. Для забезпечення достатньої пропускної здатності дренажних конструкцій необхідно зменшити відстань між прорізами до 10 метрів.

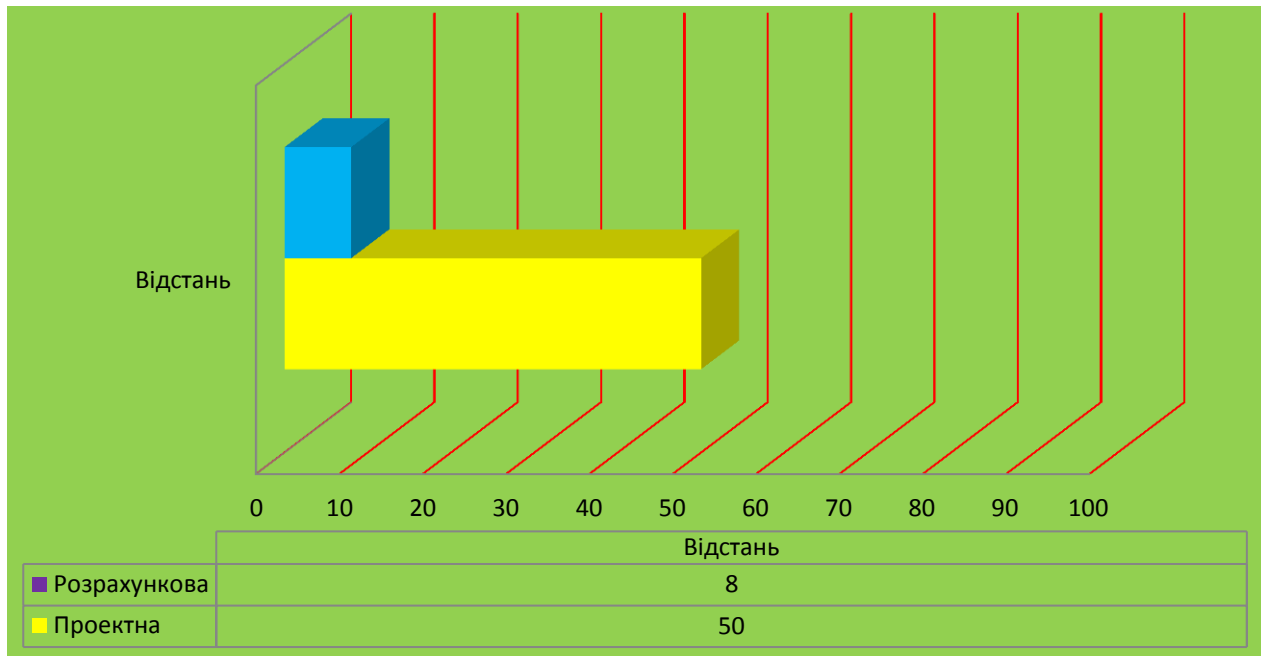


Рисунок – 3 Діаграма порівняння відстані між дренажними прорізами

Висновок

Провівши такий ряд розрахунків можемо констатувати той факт, що при влаштуванні поперечних дренажних прорізів мілкового залягання на ділянках з поздовжнім похилом більшим за поперечний, де вільна вода рухається у дренуючому шарі не допустимо використовувати стандартні методи розташування вищезазначених конструкцій. Враховуючи те, що не буде забезпечене ефективне функціонування дренажних систем внаслідок їх неправильного розташування, що і призведе до руйнування дорожньої конструкції в цілому. Але також необхідно не забувати про економічну складову даної конструкції, яка суттєво збільшить кошторис будівництва, а особливо якщо дренажні прорізи потрібно влаштовувати на малій відстані (5-20 метрів). Тому в деяких випадках в умовах сильного зволоження дорожньої

конструкції доцільно розглядати можливість влаштування суцільного дренажного прошарку. Можливість влаштування суцільного дренажного прошарку слід розглядати також як один з можливих шляхів підвищення стійкості і міцності дорожньої конструкції.

Література

1. Методика визначення пропускної здатності дренажної конструкції мілкого залягання з урахуванням річного циклу роботи М 218-02070915-684:2011.
 2. Методические рекомендации по осушению земляного полотна и оснований дорожных одежд в районах избыточного увлажнения и сезонного промерзания грунтов / Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт (Союздорнии). М., 1974. (Методичні рекомендації з осушення земляного полотна та основ дорожнього одягу в районах надлишкового зволоження і сезонного промерзання ґрунтів / Державний всесоюзний дорожній науково-дослідний інститут (ДерждорНДІ). М., 1974).
 3. Сіденко В.М., Фомін В.О. Водно-тепловий режим міських доріг. – Харків: Видавництво Харківського університету, 1971. – 180 с.
 4. Сиденко В.М., Расчет и регулирование водно-теплого режима дорожных одежд и земляного полотна, М: Н-Т изд. Минавтотранса и шос. дорог РСФСР, 1962, 116 с. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / Н.А.Пузаков, И.А. Золотарь, В.М. Сиденко, А.Я. Тулаев и др.; Под. ред. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко. – М.: Транспорт, 1971. – 413с.
 5. Рувинский В.И., Оптимальные конструкции земляного полотна (на основе регулирования водно-теплого режима). - М.: Транспорт, 1982. – 166 с.
 6. Обеспечение прочности и устойчивости земляного полотна на участках уширения автомобильных дорог / В. И. Рувинский ; [СоюздорНИИ, Открытое АО "Дорож. науч.-исслед. ин-т"]. - М. : Дорож. науч.-исслед. ин-т : СоюздорНИИ, 2006. - 188 с. : ил. ; 21 см. - Библиогр.: с. 185.
 7. Тулаев А.Я. Конструкция и расчет дренажных устройств. – М. Транспорт, 1980. – 191 с.
 8. Тулаев А.Я, Страхов К.И. Строительство улиц и городских дорог. Учебное пособие для ВУЗов. - М.: Стройиздат, 1974. - 425 с.
 9. Седергрэн, Г.Р. Дренаж дорожных одежд и аэродромных покрытий. Перевод с англ. Текст. / Г.Р.Седергрэн – М.: Транспорт, 1981. – 280 с.
- Ионат В.А. Расчет горизонтального дренажа на неоднородных грунтах Текст. / С.Ф. Аверьянова. – Таллин: Изд. ЗНИИЗ и М, 1962. – 342 с.

Шинкарук Л.А., канд. техн. наук

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗВОЛОЖЕННЯ ПІЩАНОГО ДРЕНУЮЧОГО ШАРУ ВОЛОГОЮ ВІД РОЗТАВАННЯ ДОРОЖНЬОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Анотація. У статті розглянуто алгоритм визначення величини надходження вологи до піщаного дренуючого шару при розтаванні дорожньої конструкції.

Ключові слова: вологість, глибина промерзання, дренаж, коефіцієнт теплопровідності.

Аннотация. В статье рассмотрен алгоритм определения величины поступления влаги к песчаному дренирующему слою при таянии дорожной конструкции.

Ключевые слова: влажность, глубина промерзания, дренаж, коэффициент теплопроводности.

Abstract. In the article reviewed the algorithm for determining the value of moisture to the sandy draining layer at the melting road construction.

Keywords: moisture, frost depth, drainage, thermal conductivity.

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

При встановленні у зимово-весняний період стабільної додатної температури повітря, дорожня конструкція поступово починає розтавати. Покриття нагрівається під впливом сонячного проміння. Виникає різниця температур і, відповідно, тисків між верхніми та нижніми шарами дорожньої конструкції. У зв'язку з цим, вода, що накопичилася у дощовий осінній період та взимку під час відлиг, під дією рухомого складу та градієнтів тиску починає

підніматися до шарів дорожнього одягу, призводячи до пучиноутворення, зниження несучої здатності конструкції.

Ефективним методом боротьби із цим явищем є влаштування дренажного пористого піщаного шару, який забезпечує акумулювання та відведення надлишку вільної води із дорожньої конструкції.

Для правильного розрахунку товщини такого шару необхідно досить точно визначати об'єм води, яка звільняється при розтаванні дорожньої конструкції.

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

$$Q_1 = h_1 \times (W_{\text{вес}} \times \rho_{\text{вес}} - \beta \times W_T \times \rho_d) \times K_{\Pi} \times K_{\Gamma}, \quad (1)$$

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

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

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

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

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

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

K_{Π} – коефіцієнт, що враховує неусталений режим припливу води через нерівномірне розтавання та випадання атмосферних опадів [5];

K_{Γ} – коефіцієнт гідрологічного запасу, що враховує пониження фільтруючої спроможності дренажного шару в процесі експлуатації дороги [5].

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

$$h_1 = \sqrt{\frac{\lambda \times T \times (t_B - t_{\text{Л}})}{\rho \times W \times \delta_1} + 0,25 \times (R_{\text{Л}} + R_0)^2 \times \lambda^2 - 0,5 \times (R_{\text{Л}} + R_0) \times \lambda}, \quad (2)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності талого ґрунту, $\text{ккал/м} \cdot \text{г} \cdot \text{град}$;

T – тривалість відтавання ґрунту, год;

t_B – температура повітря, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{Л}}$ – температура льодоутворення, $^{\circ}\text{C}$;

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

W – вологість ґрунту, у долях одиниці;

δ_1 – щільність ґрунту, кг/м^3 ;

$R_{\text{Л}}$ – величина, яка залежить від швидкості вітру, $\text{град} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{г/ккал}$;

R_0 – тепловий опір дорожнього одягу, $\text{град} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{г/ккал}$, визначається за формулою:

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

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

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

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

Зрозуміло, що ґрунт буде віддавати вологу до тих пір, поки не розмерзнеться повністю. Значення нормативної глибини промерзання можна отримати з діючої нормативної бази [5].

З огляду на те, що клімат змінюється, а розрахункові значення [5] отримані кілька десятиріч тому, розглянемо точний метод розрахунку глибини промерзання ґрунту:

$$h_2 = \sqrt{\frac{\lambda \times T}{\rho \times W \times \delta_1} \times \left[t_{\text{л}} - t_{\text{в}} + (t_{\text{в}} - t_{\text{г}}) \times \frac{R_{\text{л}} + R_0}{R} \right]}, \quad (4)$$

де $t_{\text{г}}$ – температура ґрунту, °С;

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

$$R = \frac{H'}{\lambda_{\text{оп}}} + \frac{h_c}{\lambda_c}, \quad (5)$$

де H' – глибина, на якій береться температура $t_{\text{г}}$, м;

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

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

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

$$\lambda_c = 0,02 + 0,9 \times \gamma_c, \quad (6)$$

де γ_c – об'ємна вага снігу, г/см³.

Приблизні значення γ_c можна прийняти:

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

Таким чином, отримуємо досить точний та придатний для виконання інженерних розрахунків метод визначення величини надходження вологи від розтавання дорожньої конструкції в зимово-весняний період.

Висновок

За результатами проведеного аналізу сформовано алгоритм та наведено інженерний метод розрахунку величини надходження вологи до дренажної конструкції при її розтаванні у зимово-весняний період:

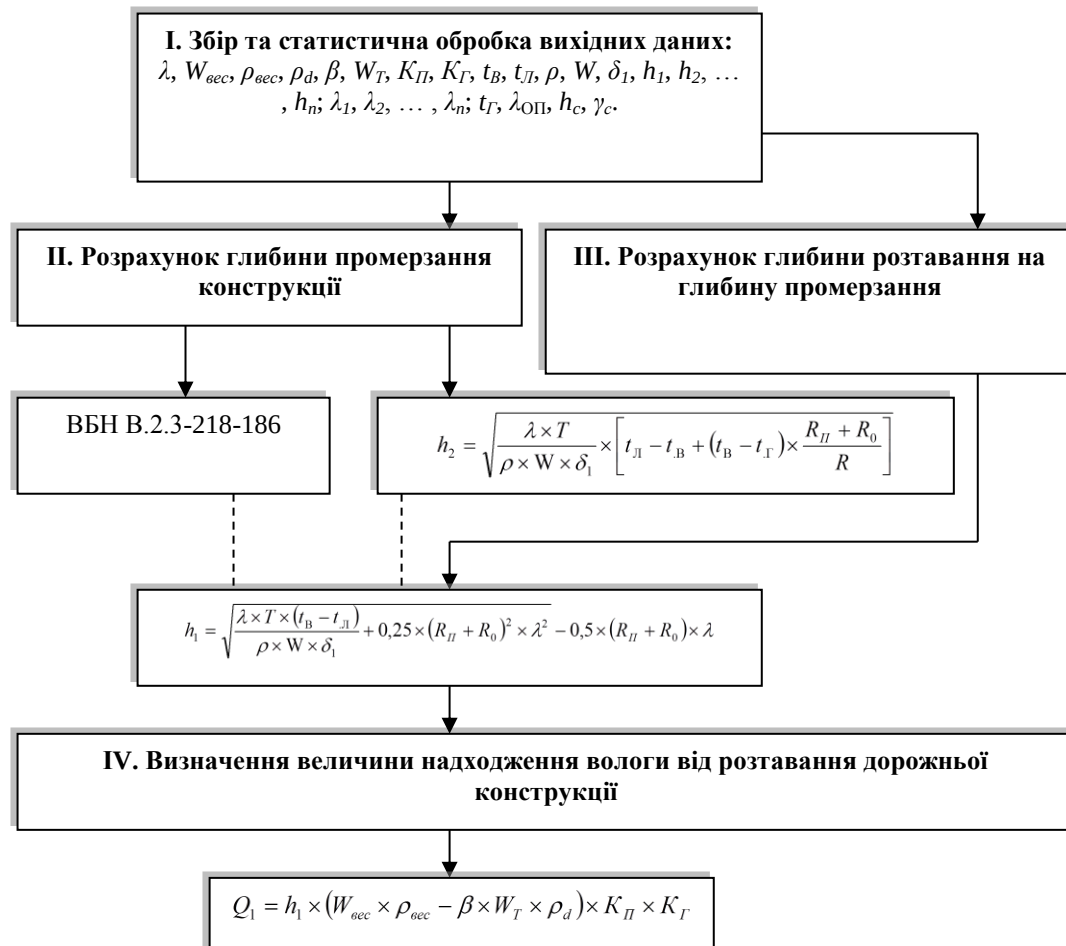


Рисунок 1 – Послідовність розрахунку

Література

1. М 218-02070915-684:2011 Методика визначення пропускної здатності дренажної конструкції мілкого залягання з урахуванням річного циклу роботи.
2. Тулаев А.Я. Конструкция и расчет дренажных устройств. – М.: Транспорт, 1980. – 191 с.
3. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / Н.А.Пузаков, И.А. Золотарь, В.М. Сиденко, А.Я. Тулаев и др.; Под. ред. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко / М.: Транспорт, 1971. – 413 с.
4. Славінська О.С., Стьожа В.В. Дослідження процесів вологонакопичення в дорожніх конструкціях з дренажними прошарками // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – Рівне, 2009. – Ч. 1. – Вип. 3 (47). – С. 488 – 495.
5. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. Методические рекомендации по осушению земляного полотна и оснований дорожных одежд в районах избыточного увлажнения и сезонного промерзания грунтов / Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт (Союздорнии). М., 1974.

УДК 624.21.059.1

Янчук Л.Л.

МОДЕЛЬ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ЗА ТРІЩИНОСТІЙКІСТЮ У ФУНКЦІЇ ЧАСУ

Анотація. У статті наведено модель оцінки надійності залізобетонних елементів автодорожнього моста за другим граничним станом. За критерій граничного стану в моделі прийнята ширина розкриття тріщин.

Ключові слова: міст, тріщиностійкість, критерій граничного стану, надійність, характеристика безпеки, гранична ширина розкриття тріщин

Аннотация. В статье представлено модель оценки надежности железобетонных элементов автодорожного моста по второму предельному состоянию. Критерием предельного состояния в модели принята ширина раскрытия трещин.

Ключевые слова: мост, трещиностойкость, критерий предельного состояния, надежность, характеристика безопасности, предельная ширина раскрытия трещин.

Abstract. The paper presents a model for evaluating the reinforced concrete elements reliability of the road bridge according to the second limit state. Limit state criteria in the model adopted by the width of the cracks.

Keywords: bridge, crack, limit state criteria, reliability, safety index, the maximum width of the cracks.

Проблема

Сьогодні інженери системи експлуатації стурбовані технічним станом автодорожніх мостів. Останнім часом стрімко зростає кількість морально та фізично застарілих мостів, проектний термін служби яких мав би становити 70 – 100 років. тоді як фактичний середній термін служби автодорожніх мостів є всього лиш 45 – 50 років. Привертає увагу факт накопичення обсягів ремонтних робіт, які не були виконані в минулі роки. Кількість мостів, які потребують капітального ремонту або реконструкції, останні роки загрозово збільшується.

Так за останні 10 років їх кількість зросла майже у п'ять разів, з 428 од. в 2004 р. до 2045 од. в 2013 р. Станом на 1.01.2012 кількість автодорожніх мостів, підпорядкованих Укравтодору, що терміново потребують ремонту або реконструкції становила 1957 од. (загальною довжиною 53,3 тис. пог.м) – 11,5% від загального числа, а на 1.01.2014 їх кількість збільшилась до 12,7% від загальної кількості.

Вартість ремонту і реконструкції цих мостів, за оцінкою експертів, складає вже близько 18 млрд. грн. Очевидно, що таких асигнувань у найближчі роки не буде виділено і кількість мостів, що потребують ремонту буде і далі збільшуватись.

З іншого боку, незадовільний технічний стан автодорожніх мостів України провокує значні соціальні і матеріальні збитки, що в свою чергу потребує збільшення асигнувань. В той же час, постановою Кабінету міністрів України від 17.09.2014 р. № 490 внесено зміни до «Правил дорожнього руху», затверджених в 2001 р. За цими змінами загальна маса транспортних засобів і їх складових, що рухаються в загальному транспортному потоці без спеціального дозволу служби експлуатації, збільшена з 38т до 40т і до 44т для контейнеровозів (до 46т на деяких окремих трасах, встановлених Укравтодором).

В цих умовах є нагальна потреба в науково обґрунтованих, близьких до реальних об'єктів, моделях оцінки надійності елементів мостів, особливо при навантаженнях більших ніж встановлені нормами. Один із можливих підходів розробки такої моделі, основаної на аналізі тріщиноутворення, наводиться в цій статті.

Мета дослідження

Метою представленого дослідження є розбудова моделі оцінки надійності згинаних залізобетонних елементів мостів протягом життєвого циклу експлуатації згинаних залізобетонних елементах прогонових будов мостів. Критерієм технічного стану елемента в моделі виступає ширина розкриття тріщин. Дослідження базується на такій науковій гіпотезі: *ширина розкриття нормальних тріщин в згинаних залізобетонних елементах мостів є достатньою мірою для побудови моделі оцінки надійності елемента в процесі експлуатації.*

Формулювання задачі дослідження

Сьогодні є загально визнаним, що тріщиноутворення і послідуєчне сколювання захисного шару є головними факторами, якими визначаються в процесі експлуатації залізобетонних елементів, довговічність, надійність та несна здатність.

В процесі експлуатації тріщини викликають в елементах «ефект доміно»: в зоні тріщини корозія арматури стає інтенсивнішою, продукти корозії породжують тиск на захисний шар, сколюється захисний шар, розширюється тріщина, зростає корозія – і коло замкнулось. Причому, інтенсивність процесу деградації зростає нелінійно [3, 4, 5, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

Сьогодні відомо десятки залежностей прогнозу ширини розкриття тріщин ненапруженого і попередньо-напруженого залізобетону. Так тільки в огляді робіт [12] наведено 32 формули визначення ширини поперечних тріщин в згинаних елементах.

В нормативних документах проектування залізобетонних елементів країн світу для контролю ширини розкриття тріщин застосовується п'ять – шість залежностей. Найбільш відомими з них є модель CEB-FIP Model Code 1990 [11], яка прийнята в Єврокодi 2 та модель Р.Фроша (R.J. Frosch) [15] – в нормативах США [17].

У вітчизняній методології аналізу тріщиностійкості панує теорія В.І. Мурашова [3], яка для нас є нормативною в розрахунку залізобетонних елементів [1].

При всьому різноманітті моделей визначення ширини розкриття нормальних тріщин та відстані між ними в згинаних елементах їх об'єднує загальна фундаментальна наукова ідея – саме процес тріщиноутворення найбільш повно відображає деформаційні властивості залізобетонного елемента. Тому всі відомі моделі тріщиноутворення мають за параметри розрахунку кількість арматури в перерізі елемента, її розрахунковий опір та модуль пружності, параметри розташування арматури в перерізі, механічні характеристики бетону.

В останні 10 – 15 років все більше науковців звертаються до моделі тріщиноутворення в залізобетоні для оцінки ресурсу елемента. Так, наприклад, в роботах [4, 5, 12, 13, 14] переконливо доводиться, що вичерпання несної здатності строго зв'язано з шириною розкриття тріщин. Підтвердження цього тезису є також і в дослідженнях українських науковців [7, 8, 9].

В дослідженні, основні положення якого представлені нижче, саме такий новітній підхід використовується для побудови моделі оцінки надійності згинаних залізобетонних елементів автодорожніх мостів.

Центральна наукова ідея дослідження полягає в теоретичному пошуку зв'язку ширини розкриття тріщин з надійністю. Задача розбудови моделі надійності елемента за тріщиностійкістю в функції часу експлуатації формулюється як пошук ймовірності не перевищення граничного стану:

$$P(t) = P\{ a_{cr} - A(t) \geq 0 \}, \quad (1)$$

де a_{cr} – критична ширина розкриття тріщин;

$A(t)$ – функція життєвого циклу залізобетонного елемента за тріщиностійкістю.

Умовою граничного стану є $a_t \leq a_{cr}$ де a_t – поточна ширина розкриття тріщин від заданих постійних і тимчасових навантажень.

Модель надійності

Прийmemo усталену гіпотезу про нормальний розподіл функції розкриття тріщин протягом життєвого циклу експлуатації $A(t)$ і запишемо ймовірність не перевищення граничного стану (1) у вигляді:

$$P(t) = \Phi[\beta(t)], \quad (2)$$

де Φ – нормальна функція розподілу;

$\beta(t)$ – характеристики безпеки виражена через параметри функції життєвого циклу залізобетонного елемента за тріщиностійкістю.

Характеристику безпеки запишемо через параметри тріщиноутворення в класичній формі [6]:

$$\beta(t) = [\mu_{cr} - \mu_a(t)] / [\sigma_{cr}^2 + \sigma_a(t)^2]^{0,5}, \quad (3)$$

де μ_{cr} – середнє значення критичної ширини розкриття тріщин;

$\mu_a(t)$ – середнє значення ширини розкриття тріщин на час $t = \tau$;

σ_{cr} – середньоквадратичне відхилення критичної ширини розкриття тріщин;

$\sigma_a(t)$ – середньоквадратичне відхилення ширини розкриття тріщин на час $t = \tau$.

Для визначення поточного середнього значення ширини розкриття тріщин на час $t = \tau$ скористаємося розробленою нами моделлю життєвого циклу [8]:

$$A(t) = a \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot m_4 \cdot m_5 \cdot s \cdot t^2, \quad (4)$$

де s – розмірний коефіцієнт, має розмірність $1/t^2$ (за одиницю часу тут прийнято рік);

m_1 – залежить від типу армування (приймають залежно від категорії тріщиноутворення);

m_2 – визначають залежно від проектного класу бетону;

m_3 – визначають залежно від типу конструкції (збірна, збірно-монолітна і монолітна);

m_4 – визначають залежно від умов експлуатації;

m_5 – коефіцієнт розкриття тріщин, який визначають залежно від класу навантаження;

a – функція ширини розкриття тріщин, що в загальному випадку має вид:

$$a = f_a(R, \sigma, E, \psi), \quad (5)$$

де (R, σ, E, ψ) – розрахункові параметри тріщиноутворення, згідно [2].

Модель життєвого циклу (4) для зручності письма запишемо у вигляді:

$$A(t) = a \cdot f(t), \quad (6)$$

де $f(t)$ – безрозмірна функція-індикатор деградації залізобетонного елементу

$$f(t) = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot m_4 \cdot m_5 \cdot s \cdot t^2. \quad (7)$$

Середнє значення ширини розкриття тріщин $\mu_a(t)$ (математичне очікування) визначимо з детерміністичного за моделлю (6) як статистично модельоване [18]:

$$\mu_a(t) = A(t) / (1 - kV_a), \quad (8)$$

де k – коефіцієнт забезпеченості, $k = 0,05$;

V_a – коефіцієнт варіації ширини розкриття тріщин елемента, що визначається за коефіцієнтами варіації арматури V_A та бетону V_C

$$V_a = (V_A^2 + V_C^2)^{0,5}. \quad (9)$$

Середнє значення критичної ширини розкриття тріщин μ_{cr} (математичне очікування) визначається із заданого детерміністичного також як статистично модельоване:

$$\mu_a(t) = a_{cr} / (1 + kV_a), \quad (10)$$

де a_{cr} – задана критична (гранична) ширина розкриття тріщин.

Середньоквадратичне відхилення критичної ширини розкриття тріщин визначається загальною формулою математичної статистики:

$$\sigma_{ск} = (K_{блук}^2 M_C^2 + K_A^2 M_A^2)^{0,65} \text{ ю} \quad (11)$$

Аналогічно визначається середньоквадратичне відхилення ширини розкриття тріщин на час $t = \tau$:

$$\sigma_a(t) = [(R_{\text{ser}}^2 V_C^2 + R_A^2 V_A^2) f(t)]^{0,5}. \quad (12)$$

де R_{ser}, R_A – характеристичні опори бетону і арматури;

V_C, V_A – коефіцієнт варіації стисненого бетону і коефіцієнт варіації розтягнутої арматури;

$f(t)$ – функція-індикатор деградації залізобетонного елементу.

$$\beta(t) = \frac{\left(\frac{a_{cr}}{1 + kV_a} - \frac{ar \cdot (m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot m_4 \cdot m_5)^{-1} \cdot s \cdot t^2}{1 - kV_a} \right)}{\sqrt{(R_{\text{SER}}^2 \cdot V_C^2 + R_A^2 \cdot V_A^2) + (R_{\text{SER}}^2 \cdot V_C^2 + R_A^2 \cdot V_A^2) \cdot (m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot m_4 \cdot m_5)^{-1} \cdot s \cdot t^2}} \quad (13)$$

Таким чином, модель (3), в якій характеристика безпеки виражена через звичні для інженера параметри поперечного перерізу залізобетонного елемента, дає можливість обчислити надійність елемента за другою групою граничних станів. Початковими даними для моделі є обчислена ширина розкриття тріщин від постійних і тимчасових навантажень. Числовий аналіз надійності елемента за тріщиностійкістю в функції часу експлуатації за формулою (13) показав, що надійність варіюється в межах $\beta(t) = 4,2 \dots 1,5$ в залежності від параметрів матеріалу $R_{\text{ser}}, R_A, V_C, V_A, m_i$ та критичної ширини розкриття тріщин $a_{cr} = 0,01 \dots 0,03$ см.

Дещо проблематичним сьогодні є призначення граничної для експлуатації величини ширини розкриття тріщин a_{cr} . Нижче приводяться наш пропозиції придатні для практичних розрахунків.

Зауважимо, оцінка надійності за першою групою граничних станів в цьому випадку (за нормативним документом системи експлуатації ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012 [2], наприклад) нічого загрозливого не показує. Цей факт і був спонукальним мотивом для розробки моделі оцінки надійності за параметром тріщиностійкості. Такий контроль, як показують тестові розрахунки, для випадку малих прольотів ($L \leq 18\text{м}$), може виявити недопустиме зниження надійності, особливо в випадках 3 - 4 експлуатаційних станів за оцінкою

стандарту [2] (Граничне значенні характеристики безпеки за вимогами тріщиностійкості $\beta_{cr}=1,0$).

Критична ширина розкриття тріщин

Прийнята в формулюванні моделі надійності (1) критична ширина розкриття тріщин a_{cr} є умовою досягнення граничного стану за тріщиностійкістю. Встановлення обґрунтованих достовірних значень цієї величини є принциповим моментом в моделі. Нам не відомі вітчизняні дослідження такого плану. Проте є немало зарубіжних в яких теоретично і лабораторно встановлюються допустимі в експлуатації граничні значення a_{cr} [11, 16]. В табл.1, що наводиться нижче, пропонуються для практичних розрахунків граничні значення ширини розкриття тріщин залізобетонних елементів в різних умовах оточуючого середовища, за даними досліджень Американського інституту бетону (ACI).

Таблиця 1 – Граничні значення ширини розкриття тріщин за документом ACI 224R.90 [16]

Умови експлуатації	Гранична ширина розкриття тріщин, мм
Конструктивний захист від попадання вологи, сухе повітря або наявність захисного покриття	0,41
Періодичне змочування, вологе повітря, контакт з ґрунтом	0,30
Загроза попадання морської вологи	0,25
Загроза хімічного впливу	0,18

В українському документі системи експлуатації автодорожніх мостів ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012 [2] також наводиться критична ширина розкриття тріщин для 5-го експлуатаційного стану: $a_{cr} = 0,4$ мм незалежно від умов експлуатації. Проте диференціації критичної ширини розкриття тріщин в залежності від умов експлуатації в нормативному документі [2] немає.

Висновки

1. Розроблена модель оцінки надійності залізобетонних елементів автодорожнього моста за другим граничним станом в функції часу може стати ефективним апаратом управління технічним станом мостів, що знаходяться в експлуатації.

2. Модель, що пропонується можна прийняти альтернативною в системі експлуатації як найбільш обґрунтованою, з точки зору фізики руйнування залізобетону, базою для прогнозування ресурсу споруди на всіх етапах життєвого циклу, починаючи з етапу проектування.

3. Очевидно, що наша модель оцінки надійності може бути використана для теоретичного обґрунтування критичних значень ширини розкриття тріщин і встановлення оцінок зносу згинаних залізобетонних елементів мостів за вимогами тріщиностійкості в нормативному документі системи експлуатації ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012 [2].

Ця робота виконана під керівництвом д-ра техн. наук, професора Лантуха-Лященко А.І. Висловлюю йому мою щирю подяку.

Література

1. Державний стандарт України ДБН В.2.3-14: 2006. Мости і труби. Правила проектування. – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства, 2006. – 359 с.
2. Державний стандарт України ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012 «Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів». – К.: Мінрегіон України, 2012.
3. Мурашов В.И. Трещиностойкость. Жесткость и прочность железобетона. – М.: Машстройиздат, 1950.
4. Пирадов А.Б., Гвелесиани Л.О., Пирадов К.А. Длина и ширина раскрытия трещин в бетонных элементах при длительном нагружении // Известия вузов. Строительство. – 1991. – № 12. – С.88 – 90.
5. Пирадов К.А., Гузеев Е.А. Механика разрушения железобетона. – М., 1998.
6. Ржаницын А.Р. Теория расчета строите-льных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат. – 1978. – 239 с.
7. Янчук Л.Л. Ймовірна модель прогнозу ресурсу елементів мостів [Текст] /Л. Л. Янчук// Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2010. – С.150-155.
8. Янчук Л.Л. Обґрунтування моделі прогнозу життєвого циклу залізобетонних елементів мостового переходу. [Текст] /Л.Л.Янчук// Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2010. – № 664. – С. 365-371.
9. Яцко Ф.В. Довговічність захисного шару залізобетонних елементів мостів // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. Вип.33. – Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 190 -196.
10. Borosnyoi A., Balazs G. L. Models for flexural cracking in concrete: the state of the art. Structural Concrete, 2005, 6, No. 2, 53-62.
11. Comité Euro-Internationale du Béton. CEB-FIP Model Code 1990. 1993 CEB Bulletin d'Information No. 213/214.
12. Li Chun Q. Time Dependent Reliability Analysis of the Corrosion Affected Concrete Structures. International Journal of Material & Structurale Reliability Vol.3, No 2, 2005. – P. 105 – 116.
13. Qing, L.C., Melchers, R.E. Time-dependent reliability analysis of corrosion-induced concrete cracking. ACI Structure Journal, V.No.4. 2005. – P. 543 – 549.
14. Rao, S. V. K. M. and Dilger, W. H. Control of flexural crack width in cracked prestressed concrete members. ACI Structural Journal, No.2, 1992. – P. 127–138.
15. Frosch, R. J. “Flexural Crack Control in Reinforced Concrete,” ACI Special Publication. V. 204, 2001. – P. 135-154.
16. ACI 224R-90, “Control of Cracking in Concrete Structures,” ACIA 4 anual of Concrete Practice, Part 3, American Concrete Institute, Detroit, MI, 1992.
17. “AASHTO LRFD Bridge Design Specifications”. 2008. American Association of State Highway and Transportation Officials.
18. ISO 2394. General principles on reliability for structures. - European Committee for Standardization. Brussels, 1998. – 62 p.

УДК 532.5:627.13

Бондаренко Л.П., канд. техн. наук, Кондрюкова І.О., канд. техн. наук

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РІЗНИХ ФАКТОРІВ НА ОБСЯГИ ВИКИДІВ
ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ПРИ ВИРОБНИЦТВІ
АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ**

Анотація. В статті проведено дослідження впливу різних факторів на екологічний стан довкілля при виробництві асфальтобетонних сумішей

Об'єкт дослідження – асфальтобетонний завод

Предмет дослідження – викиди забруднюючих речовин при виробництві асфальтобетонних сумішей

В рамках роботи проаналізовано технологічні аспекти виробництва асфальтобетонних сумішей та побудовано еколого-технологічну схему, в якій відображено основні технологічні операції та відповідні їм джерела забруднення довкілля. Проведено класифікацію основних джерел викидів забруднюючих речовин на асфальтобетонному заводі. Відповідно до еколого-технологічної схеми, проведено розрахунки обсягів викидів забруднюючих речовин при виробництві 1 тони гарячої та холодної асфальтобетонної суміші залежно від марки бітуму та їх гранулометричного складу.

Результати досліджень можуть бути використанні для пошуку найбільш оптимальних форм управління екологічною діяльністю асфальтобетонних заводів та вирішити в комплексі проблему зменшення негативного впливу дорожньо-будівельної галузі на екологічний стан довкілля.

Ключові слова: асфальтобетонні суміші, екологічний стан, забруднюючі речовини.

Аннотация. В статье проведено исследование влияния различных факторов на экологическое состояние окружающей среды при производстве асфальтобетонных смесей

Объект исследования - асфальтобетонный завод

Предмет исследования - выбросы загрязняющих веществ при производстве асфальтобетонных смесей

В рамках работы проанализированы технологические аспекты производства асфальтобетонных смесей и построено эколого-технологическую схему, в которой отражены основные технологические операции и соответствующие им источники загрязнения окружающей среды. Проведена классификация основных источников выбросов загрязняющих веществ на асфальтобетонном заводе. Согласно эколого-технологической схемы, проведены расчеты объемов выбросов загрязняющих веществ при производстве 1 тонны горячей и холодной асфальтобетонной смеси в зависимости от марки битума и их гранулометрического состава.

Результаты исследований могут быть использованы для поиска наиболее оптимальных форм управления экологической деятельностью асфальтобетонных заводов и решить в комплексе проблему уменьшения негативного влияния дорожно-строительной отрасли на экологическое состояние окружающей среды.

Ключевые слова: асфальтобетонная смесь, экологическое состояние, загрязняющие вещества.

Abstract. In this paper, a comprehensive assessment of the impact of various factors on the environmental situation in the production of asphalt mixes

The object of study - asphalt plant

Subject of investigation - emissions in the production of asphalt mixes

As part of the technological aspects of the analyzed production of asphalt mixes and built eco-technological scheme, which reflects the basic technological operations and the corresponding sources of pollution. The classification of the main sources of emissions in the coating plant. According to the ecological and technological scheme, the calculations of emissions of pollutants in the production of 1 ton of hot and cold asphalt mix, depending on the type of bitumen and their size distribution.

The research results can be used to find the most appropriate forms of environmental governance asphalt plants and solve the complex problem of reducing the negative impact of the road construction industry on the ecological environment.

Keywords: keywords: asphalt mix, ecological condition, pollutants.

На сьогоднішній день найбільш розповсюдженим типом покриття як в Україні, так і в усьому світі залишається асфальтобетон. Разом з тим, застосування асфальтобетонних сумішей ставить дорожньо-будівельну галузь на друге місце за шкідливістю після підприємств хімічної промисловості. Це в першу чергу обумовлено застосуванням органічних в'язучих (бітумів), що входять до складу асфальтобетонних сумішей. У зв'язку з цим, актуальним питанням сьогодення є оцінка впливу на довкілля різних технологій виробництва та застосування асфальтобетонних сумішей, а також розробка організаційно-технічних заходів з мінімізації хімічного забруднення, як на стадії виробництва сумішей, так і при їх застосуванні.

Питаннями захисту та охорони навколишнього середовища в дорожній галузі займалися такі вчені як: В.Ф. Бабков, А.М. Гридчин, І.Є. Євген'єв, В.Н. Луканін, М.В. Немчинов, А.К. Платонов, В.П. Подільський, СВ. Порадек, В.В. Сілкін та ін. [1, 2]

Для комплексної оцінки впливу на довкілля технологічних процесів виробництва та застосування асфальтобетонних сумішей у дорожньому будівництві побудуємо еколого-технологічну схему виробництва асфальтобетонних сумішей (рис.1).

Бачимо, що основними класами забруднюючими речовинами, що виділяються в атмосферу під час виробництва асфальтобетонних сумішей є:

- неорганічний пил;
- продукти згорання палива;
- продукти випаровування нафтопродуктів.

Проаналізуємо обсяги викидів домішок при виробництві асфальтобетонних сумішей за кожним із цих класів та фактори, які впливають на них.

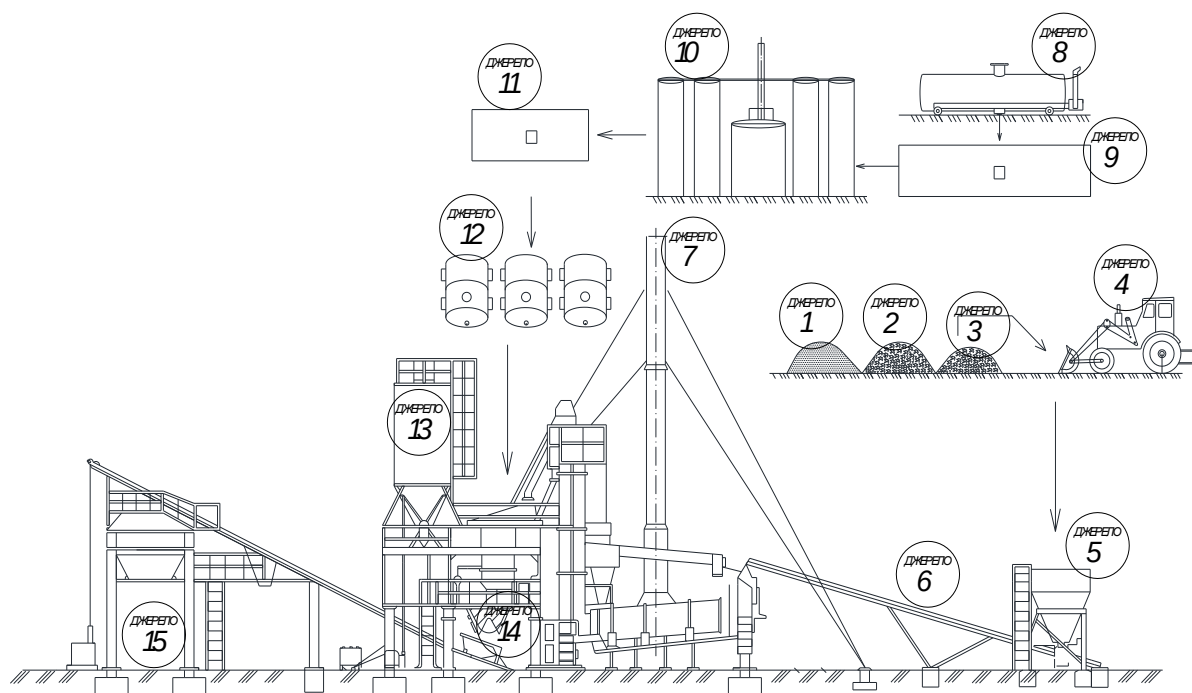


Рисунок 1 – Еколого-технологічна схема виробництва асфальтобетонних сумішей

Таблиця 1 – Класифікація джерел викидів при виробництві асфальтобетонних сумішей

Матеріали	Клас викидів	Склад домішок	Джерела
Інертні матеріали	Неорганічний пил	Неорганічний пил	№1-7, №13
Бітум, гудрон	Продукти випаровування нафтопродуктів	Бензол C_6H_6 , ксилол C_8H_{10} , толуол C_7H_8 , м-крезол C_7H_8O , фенол C_6H_6O	№8-№12, №14, №15
Мазут	Продукти згорання палива	Тверді частинки легкої золи С, сірчистий ангідрид SO_2 , оксид вуглецю CO , діоксид азоту NO_2 , оксид ванадію V_2O_5	№7, №10, №12

Продукти згорання палива

Хімічний склад газів, що відходять від асфальтозмішувальних установок, бітумних котлів, реакторних окислювальних установок, котелень та інших об'єктів, що використовують теплову енергію палива залежить в першу чергу від виду палива та технологічних особливостей його спалювання. При згоранні твердого палива та мазуту основними забруднюючими речовинами, що

виділяються в атмосферу є тверді частинки леткої золи С, сірчистий ангідрид SO_2 , оксид вуглецю CO , діоксид азоту NO_2 , оксид ванадію V_2O_5 ; при згоранні газу – оксид вуглецю CO , та діоксид азоту NO_2 .

Для оцінки впливу різних факторів на обсяги викидів продуктів згорання палива (мазуту) було проведено відповідні розрахунки в перерахунку на 1 тонну готової суміші за стандартною методикою [3]. Результати розрахунків наведено в табл.2

Таблиця 2 – Обсяги продуктів згорання мазуту при виробництві 1т асфальтобетонної суміші

Марка бітуму	Маса викиду, кг				
	С	SO_2	CO	NO_2	V_2O_5
БНД 40/60	13,5	1086,5	169,6	42,5	4,9
БНД 60/90	12,71	1021,38	159,47	39,99	4,57
БНД 90/130	11,85	952,27	148,68	37,38	4,26
БНД 130/200	11,07	889,59	138,89	34,91	3,98
МГ 130/200	9,48	761,81	118,95	29,66	3,41
СГ130/200	8,42	676,63	105,65	26,46	3,03
МГ 70/130	8,10	650,92	101,63	25,50	2,91
СГ 70/130	7,70	618,77	96,61	24,27	2,77

Аналіз результатів розрахунків (табл.2) дозволяє зробити висновок, що при виробництві гарячих асфальтобетонних сумішей обсяги викидів продуктів згорання палива більші, ніж при виробництві холодних. При цьому важливу роль відіграє також марка бітуму, що входить до складу асфальтобетонної суміші. Бачимо, що чим більша в'язкість бітуму, тим обсяги викидів більші. Це можна пояснити тим, що більш в'язкі бітуми мають більш високу робочу температуру, що обумовлює більші потреби палива.

Також з таблиці 2 можна зробити висновок, що найбільшу масову частку в продуктах згорання мазуту становить діоксид сірки SO_2 . Однак, не правильно вести оцінку впливу на довкілля лише за масовими обсягами викидів домішок. Необхідно також враховувати і їх відносну шкідливість. Величина, яка враховує як маси, так і відносні шкідливості домішок – є так званий індекс КНП, що визначається за формулою:

$$КНП = \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i}{ГДК_{сд}} \right)^{a_i}, \quad (1)$$

де n – кількість шкідливих речовин, які викидаються в атмосферу;

M_i – маса i -тої речовини, т;

$ГДК_{сд}$ – середньодобова $ГДК$ i -ї речовини, мг/м³;

a_i – безрозмірна константа, яка дозволяє порівняти ступінь шкідливості i -ї речовини зі шкідливістю сірчистого газу (табл. 3).

Таблиця 3 – Значення безрозмірної константи a_i

Константа	Клас небезпечності речовини			
	1	2	3	4
a_i	1,7	1,3	1	0,9

Результати розрахунків індексів КНП за продуктами згорання мазуту наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Індекс КНП продуктів згорання палива при виробництві 1 т асфальтобетонної суміші

Назва домішки	ГДК _{сд} мг/м ³	Клас небезпечності	Показник a_i	КНП
Зола	0,15	III	1	84,73
Сірчистий ангідрид	0,05	III	1	20427,51
Оксид вуглецю	3	IV	0,9	35,73
Діоксид азоту	0,04	II	1,3	7941,80
Оксид ванадію	0,002	I	1,7	512940,17

Бачимо, що найменше за масою викидається оксиду ванадію, однак він посідає I місце за відносною шкідливістю.

Продукти випаровування нафтопродуктів

При зберіганні нафтопродуктів (дорожніх бітумів, гудронів, мазуту, бензину і т.д.) через люки бітумних котлів, котлів-ректорів для виробництва бітуму з гудрону, дихальні клапани резервуарів для зберігання паливо-мастильних матеріалів виділяються в атмосферу вуглеводні, серед яких найбільша кількість ароматичних – бензол C_6H_6 , ксилол C_8H_{10} , толуол C_7H_8 , м-крезол C_7H_8O , фенол C_6H_6O , бензапірен $C_{20}H_{12}$, пари бензину та мінеральних масел.

Для оцінки впливу різних факторів на обсяги викидів продуктів випаровування нафтопродуктів було проведено відповідні розрахунки в перерахунку на 1 тону готової суміші за стандартною методикою [4]. Результати розрахунків наведено в табл.5.

Таблиця 5 – Обсяги викидів продуктів випаровування бітуму при виробництві 1т асфальтобетонної суміші

Марка бітуму	Маса викиду, г/т				
	Бензол	Толуол	Ксилол	Фенол	Крезол
БНД 40/60	54,07	17,45	9,53	0,61	0,0031
БНД 60/90	53,35	17,22	9,40	0,61	0,0031
БНД 90/130	53,25	17,19	9,38	0,61	0,0031
БНД 130/200	51,65	16,67	9,09	0,61	0,0031
МГ 130/200	47,09	15,19	8,25	0,48	0,0024
СГ130/200	40,93	13,19	7,11	0,48	0,0024
МГ 70/130	30,87	9,95	5,38	0,34	0,0017

Також для оцінки відносної шкідливості продуктів випаровування бітуму при виробництві асфальтобетонних сумішей було проведено розрахунок їх індексів КНП (табл.5)

Очевидно, що для даного класу домішок ситуація аналогічна продуктам згорання палива. Як показують результати розрахунків (табл.6) виробництво гарячих асфальтобетонних сумішей супроводжується більшими обсягами викидів при випаровуванні нафтопродуктів, ніж виробництво холодних. При цьому найбільш небезпечним і шкідливим є фенол, хоча маса його викиду є незначною.

Таблиця 6 – Індекс КНП продуктів випаровування бітуму при виробництві 1 т асфальтобетонної суміші

Назва домішки	ГДКсд, мг/м3	Клас небезпеки	Показник шкідливості аі	Величина КНП
Бензол	0,003	II	1,3	444509,62
Толуол	0,1	II	1,3	1069,19
Ксилол	0,1	II	1,3	479,72
Фенол	0,6	III	1	1,25
Крезол	0,02	II	1,3	0,11

Неорганічний пил

Пил виділяється практично на всіх етапах виробництва асфальтобетонної суміші та характеризується широкодіапазонним дисперсним складом (табл. 7). Найбільша його кількість виділяється на вузлах розвантаження матеріалів, при транспортуванні матеріалів з вузлів розвантаження на склади або в приймальні бункери, при роботі дробарок, грохотів та сушильних барабанів [4. 5].

Таблиця 7 – Дисперсний склад пилу у викидах асфальтозмішувальних установок

Розмір частинок, мкм	до 6	6-20	20-74	74-125	125-250	250-1000	більше 1000
Вміст частинок, %	7,4	13,2	20,8	22,7	25,1	10-24	0,5

Для оцінки викидів пилу при виробництві асфальтобетонних сумішей було проведено відповідні розрахунки залежно від їх гранулометричного складу (рис.2).

Аналіз результатів розрахунків та діаграм (рис.2) дозволяє зробити висновок, що даний клас домішок мало залежить від температурного режиму, зате є значна залежність від її гранулометричного складу. Зокрема бачимо, що найвищі обсяги викидів пилу спостерігаються при виробництві гарячих піщаних сумішей, що пояснюється більшим вмістом в них дрібних фракцій.

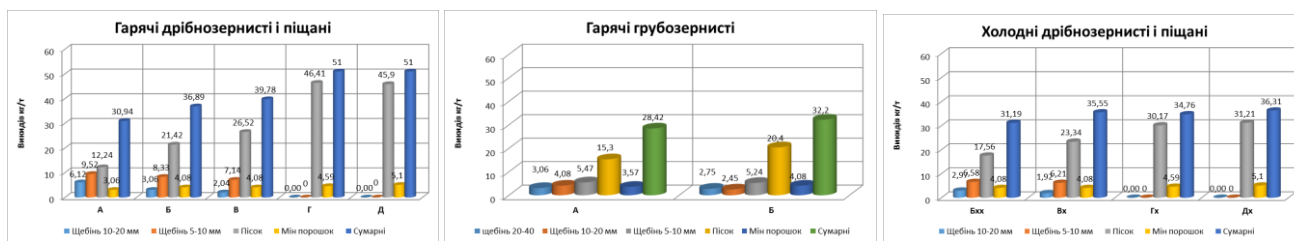


Рисунок 2 – Обсяги викидів неорганічного пилу при виробництві асфальтобетонних сумішей

Висновки

Підсумовуючі дані розрахунків за всіма класами домішок можемо зробити загальний висновок, про те, що виробництво гарячих асфальтобетонних сумішей є більш небезпечним для довкілля порівняно з виробництвом холодних сумішей. При цьому обсяги викидів за «холодною» технологією менші порівняно з «гарячою» за продуктами згорання палива та продуктами випаровування нафтопродуктів майже в 1,5 рази; за неорганічним пилом в 1,2 рази. Встановлено пряму залежність обсягів викидів забруднюючих речовин за всіма класами домішок від в'язкості бітуму, що входить до складу асфальтобетонної суміші. Також встановлено залежність обсягів викидів пилу від зернового складу асфальтобетонної суміші, що полягає у збільшенні обсягів викидів при збільшенні частки дрібних фракцій у складі асфальтобетонної суміші

Література

1. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды / Под ред. Р.В.Малова – М.: Транспорт, 1982. – 200 с.
 2. Евгенийев И.Е., Каримов Б.Б. Автомобильные дороги в окружающей среде. – М.: Трансдорнаука, 1997. – 285 с.
 3. Методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах продуктивностью до 30 т/год. – М.: Гидрометеиздат, 1985. – 25 с.
 4. Примаков А.В., Балтренак П.Б. Защита окружающей среды на предприятиях стройиндустрии. – К.: Будівельник, 1991. – 152 с.
- Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. Л. Гидрометеиздат, 1986. – 183 с.

Бородіна Н.А., канд. техн. наук

МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ

Анотація. Запропоновано методологічний підхід (алгоритм) оцінки впливу на атмосферне повітря транспортних засобів до складу якого входить удосконалена методика оцінки прогнозних рівнів забруднення атмосферного повітря при експлуатації автомобільної дороги.

Ключові слова: автомобільна дорога, оцінка впливу на навколишнє середовище, атмосферне повітря, рівні забруднення.

Аннотация. Предложен методологический подход (алгоритм) оценки влияния на атмосферный воздух транспортных средств в состав которого входит усовершенствованная методика оценки прогнозных уровней загрязнения атмосферного воздуха при эксплуатации автомобильной дороги.

Ключевые слова: автомобильная дорога, оценка влияния на окружающую среду, атмосферный воздух, уровни загрязнения.

Annotation: Methodological approach (algorithm) to assess the impact of air vehicles, which includes an improved method of estimating the forecast air pollution levels during the operation of the road was offered.

Key words: auto road, impact assessment on the environment, atmospheric air, levels of contamination.

Вступ

У [1] надано аналіз чинних нормативних документів, які встановлюють вимоги до розробки розділу «Оцінка впливу на навколишнє середовище»

(ОВНС) в складі проектної документації на нове будівництво або реконструкцію / капітальний ремонт автомобільних доріг загального користування. За результатами аналізу було визначено, що оцінку прогнозних рівнів забруднення атмосферного повітря внаслідок впливу автомобільної дороги неможливо виконати за встановленими в п. 5.2 ГБН В.2.3-218-007:2012 [2] методиками:

1. ОНД 86 Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий [3].

2. Посібник до розроблення матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (до ДБН А.2.2-1-2003) [4].

3. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів (2008 р.) [5].

У той же час, методики [3, 5] є базовими в Україні для оцінки впливу на атмосферне повітря. Також в Україні відсутня чинна галузева методика оцінки прогнозних рівнів забруднення атмосферного повітря при експлуатації автомобільної дороги. Існуючі галузеві методики не погоджені в установленому порядку з органами екологічного і санітарно-епідеміологічного нагляду. Тому стало актуальним розробити методологічний підхід (алгоритм) оцінки впливу на атмосферне повітря транспортних засобів при експлуатації автомобільної дороги, який би ґрунтувався на методиках перелік яких визначено ГБН В.2.3-218-007:2012 [2].

Основна частина

Враховуючи актуальність проблеми, розроблено новий методологічний підхід (алгоритм) оцінки впливу на атмосферне повітря транспортних засобів при експлуатації автомобільної дороги. Запропонований методологічний підхід складається з чотирьох етапів:

1. Визначення валових викидів транспортних засобів при експлуатації автомобільної дороги.

2. Кількісна оцінка розсіювання забруднюючих речовин в атмосферне повітря в зоні впливу автомобільної дороги.

3. Визначення фонових концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі.

4. Аналіз результатів розрахунку.

1. Визначення валових викидів транспортних засобів при експлуатації автомобільної дороги

Визначення валових викидів транспортних засобів при експлуатації автомобільної дороги пропонується виконувати за "Методикою розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів" [5].

Викиди забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферне повітря згідно з методикою [5] визначаються окремо по кожному типу пального транспортних засобів за залежністю:

$$B_{ij} = \Pi_{iHP} \cdot K_{ji} \cdot K_{jiTC}, \quad (кз), \quad (1)$$

де Π_{iHP} - річне споживання i -го виду палива (бензину автомобільного, газойлів (дизельного палива), стисненого і скрапленого природного газу) на потреби транспортних засобів у приватній власності населення, у населеному пункті, т;

K_{ji} - усереднений питомий викид j -ї забруднюючої речовини (крім свинцю) та парникового газу для транспортних засобів населення від споживання i -го виду палива, кг/т;

K_{jiTC} - коефіцієнти впливу технічного стану автотранспорту на викиди j -ї забруднюючої речовини від використання i -го виду палива.

Викиди свинцю у атмосферне повітря згідно з методикою [5] визначаються тільки для етилованого бензину за залежністю:

$$B_{(Pb)} = \Pi_{iHP} \cdot K_{Pb} \cdot K_3 \cdot K_{BE(Pb)TC}, \quad (кз), \quad (2)$$

де K_{Pb} - усереднений питомий викид свинцю від транспортних засобів які працюють на бензині, кг/т;

K_3 - частка бензину етилованого у загальній кількості спожитого бензину;

$K_{BE(Pb)TC}$ - коефіцієнти впливу технічного стану автотранспорту на викид свинцю від використання бензину етилованого.

Як бачимо з формул (1), (2) методика [5] не дає можливості виконати розрахунок викидів забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферне повітря від транспортних засобів при експлуатації автомобільної дороги. Тому пропонується удосконалити цю методику і дати їй назву – "Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферне повітря від транспортних засобів при експлуатації автомобільної дороги". Удосконалення методики полягає в тому, що показник Π_{III} замінюємо на Π_i - споживання i -го виду палива транспортними засобами кількість яких відповідає визначеній на ділянці дороги інтенсивності руху. Така заміна не змінює сутності розрахунку, представленого в методиці [5], але дає можливість використати дану методику для поставленої задачі – розрахунок викидів забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферне повітря від транспортних засобів при експлуатації автомобільної дороги. Формули (1), (2) приймають вигляд:

$$B_{ij} = \Pi_i \cdot K_{ji} \cdot K_{j\text{TC}}, \quad (\text{кг/добу}), \quad (3)$$

де Π_i - споживання i -го виду палива (бензину, дизельного пального, стисненого і скрапленого природного газу) транспортними засобами загальна кількість яких відповідає визначеній на ділянці дороги добовій інтенсивності руху, т/добу;

$$B_{(\text{Pb})} = \Pi_{\text{BE}} \cdot K_{\text{Pb}} \cdot K_3 \cdot K_{\text{BE}(\text{Pb})\text{TC}}, \quad (\text{кг/добу}), \quad (4)$$

де Π_{BE} - споживання бензину етилованого транспортними засобами кількість яких відповідає інтенсивності руху транспортних засобів з бензиновими двигунами, т/добу.

Споживання i -го виду палива, у тому числі бензину етилованого, пропонується визначати за залежністю:

$$\Pi_i = Q_{i(\text{км})} \cdot L \cdot I_{i(\text{добу})}, \quad (5)$$

де $Q_{i(\text{км})}$ - середня витрата i -го виду палива одним середньостатистичним автомобілем на 1 км дороги, т/км;

L - довжина ділянки дороги, що проектується, км;

$I_{i(\partial o \partial)}$ - добова інтенсивність руху транспортних засобів, які працюють на i -му виді палива (бензину, дизельного пального, стисненого і скрапленого природного газу), авто/добу:

$$I_{i(\partial o \partial)} = I_{\partial o \partial} \cdot \chi_i, \quad (6)$$

де $I_{\partial o \partial}$ - добова інтенсивність руху транспортних засобів, авто/добу;

χ_i - частка транспортних засобів, які працюють на i -му виді палива (бензину, дизельного пального, стисненого і скрапленого природного газу) в загальній добовій інтенсивності руху транспортних засобів.

2. Кількісна оцінка розсіювання забруднюючих речовин в атмосферне повітря в зоні впливу автомобільної дороги

Розрахунок розсіювання забруднюючих речовин в атмосферне повітря у зоні впливу автомобільної дороги пропонується виконувати за удосконаленою методикою ("Методика розрахунку концентрацій забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферному повітрі на прилеглий до автомобільної дороги території") в основу якої покладено:

- 1) положення ОНД 86 [3];
- 2) формула (10.1) ГСТУ 218-02071168-096 [6].

Згідно з формулою (10.1) ГСТУ 218-02071168-096 [6] концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі розраховуються за формулою:

$$C = \frac{M \cdot 1000 \cdot \eta \cdot \Delta}{W_B \cdot p \cdot x} \exp \left[-\frac{H}{p \cdot x} \right] + C_\phi, \text{ мг/м}^3, \quad (7)$$

де $\dot{M}$ – викид забруднюючої речовини на погонну довжину лінійного джерела 1 м, г/с;

1000 – перевідний коефіцієнт;

η – коефіцієнт впливу забудови;

Δ – коефіцієнт впливу озеленення дороги;

W_B – швидкість вітру, перпендикулярна напрямку дороги, м/с;

p – коефіцієнт, що враховує вплив кута розсіювання забруднюючої речовини у вертикальній площині за рахунок турбулентності атмосфери;

x – відстань від джерела забруднення (краю проїзної частини) до розрахункової точки;

H – висота джерела над проїзною частиною;

C_ϕ – фонові концентрації забруднюючої речовини в атмосферному повітрі, мг/м³.

Викид забруднюючої речовини на погонну довжину лінійного джерела 1 м пропонується визначати не згідно з формулою (10.6) ГСТУ 218-02071168-096, а за новими - залежністю (8), (9) виходячи з умов:

– ОНД 86: маса забруднюючої речовини, яка викидається в атмосферне повітря в одиницю часу ($\dot{I}$, г/с), визначається відносно 20-30 хвилинного періоду від'єднання;

– середня швидкість руху транспортних засобів, км/год. (приймаємо 90 км/год.):

$$\dot{I}_{ij} = \frac{\ddot{I}_{i(30)} \cdot \dot{E}_{ji} \cdot K_{ji\text{ON}}}{30 \cdot 60 \cdot 1000 \cdot L_{(30)}}, \quad (\tilde{a}/\tilde{n}), \quad (8)$$

де $\Pi_{i(30)}$ – споживання за 30 хвилин i -го виду палива (бензину, дизельного пального, стисненого і скрапленого природного газу) транспортними засобами кількість яких відповідає тридцятихвилинній інтенсивності руху транспортних засобів, т;

30, 60 – коефіцієнти часу;

1000 – перевідний коефіцієнт ваги;

$L_{(30)}$ – довжина ділянки автомобільної дороги, яку проходить транспортний засіб за прийнятий період від'єднання при визначеній швидкості руху, м. За визначених умов (а саме: період від'єднання – 30 хвилин, швидкість руху транспортних засобів 90 км/год.) транспортний засіб пройде 45000 м, тобто $L_{(30)} = 45000$.

$$M_{Pb} = \frac{\Pi_{BE(30)} \cdot K_3 \cdot K_{Pb} \cdot K_{jTC}}{30 \cdot 60 \cdot 1000 \cdot L_{(30)}}, \quad (г/с), \quad (9)$$

де: $\Pi_{BE(30)}$ - споживання за 30 хвилин бензину етилованого транспортними засобами кількість яких відповідає тридцяти-хвилинній інтенсивності руху транспортних засобів з бензиновими двигунами, т.

Споживання за 30 хвилин i -го виду палива, у тому числі бензину етилованого, визначаємо за формулою:

$$\Pi_{i(30)} = Q_{i(30)} \cdot I_{i(30)}, \quad (10)$$

де: $Q_{i(30)}$ - середня за 30 хвилин витрата i -ого виду палива (бензину, дизельного пального, стисненого і скрапленого природного газу) одним середньостатистичним автомобілем, т;

$I_{i(30)}$ - тридцяти-хвилинна інтенсивність руху транспортних засобів, які працюють на i -му виді палива (бензині, дизельному пальному, стисненому і скрапленому природному газі), авто:

$$I_{i(30)} = \frac{I_{\text{дооб}} \cdot \chi_i}{48}, \quad (11)$$

де 48 - - коефіцієнт часу.

Враховуючи залежності (10), (11) та значення показника $L_{(30)}$ залежності (8), (9) приймають вигляд:

$$M_{ji} = 0,257 \cdot 10^{-12} \cdot Q_{i(30)} \cdot I_{\text{дооб}} \cdot \chi_i \cdot K_{ji} \cdot K_{jiiT}, \quad (z/c), \quad (12)$$

$$M_{ji} = 0,257 \cdot 10^{-12} \cdot Q_{BE(30)} \cdot I_{\text{дооб}} \cdot \chi_{BE} \cdot K_3 \cdot K_{Pb} \cdot K_{jiiT}, \quad (z/c), \quad (13)$$

3. Визначення фонових концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі

Фонові концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі визначаються для розрахунку концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі (7), тобто для оцінки рівня забруднення атмосферного повітря, що створюватиметься проєктованим об'єктом з урахуванням фонового рівня забруднення. Фонові концентрації забруднюючих речовин в

атмосферному повітрі (C_{ϕ}) приймаються згідно з "Порядком визначення величин фонових концентрацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі" [7].

4. Аналіз отриманих результатів оцінки

В рамках аналізу отриманих результатів оцінки пропонується:

1) Надавати порівняльну характеристику концентрацій забруднюючих речовин за нормальних метеорологічних умов без врахування і з врахуванням їх фонових концентрацій на межі орієнтовної резервно-технологічної смуги, орієнтовної захисної смуги, орієнтовної смуги впливу.

2) Встановлювати відстань від краю проїзної частини на якій, за результатами розрахунку, прогностні концентрації забруднюючих речовин за нормальних метеорологічних умов не будуть перевищувати їх фонові значення. Ця відстань визначатиме межу смуги впливу автомобільної дороги на прогностний період за впливом на атмосферне повітря.

3) Встановлювати відстань від краю проїзної частини на якій за результатами розрахунку прогностні значення концентрацій забруднюючих речовин з врахуванням їх фонових концентрацій за звичайних метеорологічних умов не будуть перевищувати ГДК (гранично допустимих концентрацій). Ця відстань визначатиме межу захисної смуги автомобільної дороги на прогностний період за впливом на атмосферне повітря.

4) Надавати порівняльну характеристику значень концентрацій забруднюючих речовин за несприятливих метеорологічних умов без врахування і з врахуванням їх фонових концентрацій на межі орієнтовної резервно-технологічної смуги, орієнтовної захисної смуги, орієнтовної смуги впливу.

5) Встановлювати відстань від краю проїзної частини на якій за результатами розрахунку прогностні значення концентрацій забруднюючих речовин з врахуванням їх фонових концентрацій за несприятливих метеорологічних умов не будуть перевищувати ГДК (гранично допустимих

концентрацій). Ця відстань визначатиме межу резервно-технологічної смуги автомобільної дороги на прогнозний період за впливом на атмосферне повітря.

Висновки

1. Оскільки розроблений і представлений в статті методологічний підхід оцінки впливу на атмосферне повітря транспортних засобів ґрунтується на методиках, перелік яких визначено ГБН В.2.3-218-007:2012, він може бути використаний при розробці розділу ОВНС в складі проектної документації на нове будівництво або реконструкцію / капітальний ремонт автомобільних доріг загального користування.

2. Розроблені методики ("Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферне повітря від транспортних засобів при експлуатації автомобільної дороги"; "Методика розрахунку концентрацій забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферному повітрі на прилеглий до автомобільної дороги території") потребують апробації та в подальшому затвердження в установленому порядку.

Література

1. Бородіна Н.А. "ГБН В.2.3-218-007:2012 «Екологічні вимоги до автомобільних доріг. проектування» - аналіз вимог з оцінки впливу на атмосферне повітря" // Автошляховик України.

2. ГБН В.2.3-218-007:2012 Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Проектування.

3. ОНД 86 Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий.

4. Посібник до розроблення матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (до ДБН А.2.2-1-2003). Харків:Інститут "УкрНДПНТВ" Мін буду України, 2005. – 332 с.

5. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів (затверджено наказом Держкомстату від 13.11.2008 р. № 452).

6. ГСТУ 218-02071168-096-2003 Оцінка та прогнозування екологічного стану доріг та виробничих баз.

Порядок визначення величин фонових концентрацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі (затверджено наказом Міністерства Екології та природних ресурсів України № 286 від 30.07.2001, Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 15.01.2001 р. за № 700/5891).

УДК 625.75

Гайдукевич В. А., канд. техн. наук, Коник М. В.

ОЦІНКА ВІДПОВІДНОСТІ ДОРОЖНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ФУНКЦІОНАЛЬНОМУ СТАНУ ВОДІЯ

Анотація. Об'єктом дослідження є дорожнє середовище та його вплив на психофізіологію водія. Метою дослідження є отримання залежності між ФСВ та ДУ-ТП, за яким з'являється можливість аналізу, вивчення та прогнозування стану водія у різних дорожніх умовах руху та пропозиції щодо покращення ДУ-ТП.

Експериментальні дослідження функціонального стану водія проводились шляхом реєстрації таких відомих в дослідженнях фізіологічних параметрів водія як пульс, шкіро-гальванічна реакція, кількість фіксацій погляду водія, тривалість фіксацій ока водія та малодосліджених параметрів, таких як пневмограма і прирощення діаметру зіниці ока. Для реєстрації фізіологічних параметрів водія в процесі руху використовувалась апаратно – програмна система збору даних «Траса».

Результати дослідження оброблено за допомогою методів математичної статистики. Таким чином було отримано залежності між показником фізіологічного стану водія і факторами дорожніх умов. Що впливають на нього. У вигляді лінійних рівнянь регресії. Статистична обробка дослідних даних для кожного параметру виконана за допомогою електронних таблиць, розроблених у програмі Microsoft Excel.

В результат експериментальних досліджень підтверджений прогнозований взаємозв'язок між дорожніми умовами та психофізіологічним станом водія. Наведено методику визначення коефіцієнта відповідності дорожніх умов та транспортних потоків.

Подальші дослідження в цьому напрямку є актуальними і важливими для розробки принципів проектування та експлуатації автомобільних доріг з врахуванням психофізіології водія.

Ключові слова: дорожнє середовище, психофізіологія водія, коефіцієнт відповідності.

Аннотация. Объектом исследования является дорожная среда и её влияние на психофизиологию водителя. Целью исследования является получение зависимости между ФСВ и ДУ-ТП, по которому появляется возможность анализа, изучения и прогнозирования состояния водителя в различных дорожных условиях движения и предложения по улучшению ДУ-ТП.

Экспериментальные исследования функционального состояния водителя проводились путем регистрации таких известных в исследованиях физиологических параметров водителя как пульс, кожно-гальваническая реакция, количество фиксаций взгляда водителя, продолжительность фиксаций глаза водителя и малоисследованных параметров, таких как пневмограма и приращение диаметра зрачка глаза. Для регистрации физиологических параметров водителя в процессе движения использовалась аппаратно - программная система сбора данных «Трасса».

Результаты опыта обработано с помощью методов математической статистики. Таким образом было получены зависимости между показателем физиологического состояния водителя и факторами дорожных условий, влияющие на него, в виде линейных уравнений регрессии. Статистическая обработка опытных данных для каждого параметра выполнена с помощью электронных таблиц, разработанных в программе Microsoft Excel.

В результат экспериментальных исследований подтвержден прогнозируемый взаимосвязь между дорожными условиями и психофизиологическим состоянием водителя. Приведена методика определения коэффициента соответствия дорожных условий и транспортных потоков.

Дальнейшие исследования в этом направлении являются актуальными и важными для разработки принципов проектирования и эксплуатации автомобильных дорог с учетом психофизиологии водителя.

Ключевые слова: дорожное среда, психофизиология водителя, коэффициент соответствия.

Annotation: Object is a road environment and it expired on psychophysiology driver. The aim of the study is to obtain relationship between FSV and road conditions - traffic flows by which it is possible to analyze, study and forecasting of

the driver in different road conditions and traffic proposals for improving road conditions - traffic flows.

Experimental study of the functional state of the driver performed by recording such well-known physiological parameters in studies of driver as heart rate, galvanic skin-response, the number of commits point of view of the driver, the driver's eye fixations duration and unexplored parameters such as diameter increment pnevmohrama and pupil. To register physiological changes in the movement of the driver used hardware - software system for data collection "Route".

The experimental results processed by methods of mathematical statistics. Thus was obtained relationship between the indicator of the physiological state of the driver and the factors driving conditions. What affect it. In a linear regression equations. Statistical analysis of experimental data for each parameter is made using a spreadsheet program developed in Microsoft Excel.

As a result of experimental studies confirmed the predicted relationship between the road conditions and physiological condition of the driver. The method of determining the coefficient accordance road conditions and traffic.

Further research in this direction is relevant and important to develop design principles and operation of roads in view of neuroscience driver.

Key words: road environment, psychophysiology driver, coefficient of conformity.

Постановка проблеми

Транспортна робота по перевезенню людей та вантажів має бути оптимально ефективною і, головне, безпечною. Основною ланкою для вирішення даної проблеми є забезпечення відповідності дорожнього середовища психофізіологічному стану водія.

Аналіз досліджень і публікацій. Функціональний стан водія (ФСВ), що перебуває у контакті з ДУ-ТП, описується рядом показників, якими є його фізіологічні параметри (ФП) [5; 7; 2] Зручність дороги для водія буде найбільшою, коли при русі показники ФСВ будуть близькі до оптимальних [1].

Метою дослідження є отримання залежності між ФСВ та ДУ-ТП, за яким з'являється можливість аналізу, вивчення та прогнозування стану водія у різних дорожніх умовах руху та пропозиції щодо покращення ДУ-ТП.

Основний зміст і результати дослідження

На основі отриманих залежностей і даних про оптимальні значення ФП водія, можна отримати коефіцієнт відповідності ДУ-ТП (надалі K_e), який є

відносним показником комфортності тієї чи іншої траси дороги для водія, який по ній рухається.

Експериментальні дослідження функціонального стану водія проводились шляхом реєстрації таких відомих в дослідженнях фізіологічних параметрів водія як пульс, шкіро-гальванічна реакція, кількість фіксацій погляду водія, тривалість фіксацій ока водія та малодосліджених параметрів, таких як пневмограма і прирощення діаметру зіниці ока[6; 4]. Для реєстрації фізіологічних параметрів водія в процесі руху використовувалась апаратно – програмна система збору даних «Траса».

Система призначена для збору фізіологічних параметрів водія, фіксації дорожньої обстановки, параметрів руху автомобіля з метою подальшої обробки.

Система працює в двох режимах: ЗАПИС та ОБРОБКА. В режимі ЗАПИС система забезпечує запис дорожньої обстановки з телекамери, закріпленої на голові водія та вимірювальних параметрів у кодованому вигляді на відеомагнітофон формату VHS;

Система вимірює та записує такі параметри:

P1 – швидкість автомобіля від штатного датчика з електричним виходом;

P2 – час вдиху та час видиху водія;

P3 – пульс водія в діапазоні 40 – 300 ударів за хвилину;

P4 – шкіро-гальванічну реакцію водія у відносних одиницях;

P5 – зовнішню освітленість в зоні обличчя водія в діапазоні 50 – 100 лк;

P6 – координату X переміщення зіниці водія з частотою не менше 20 Гц.

P7 - координату Y переміщення зіниці водія з частотою не менше 20 Гц.

P8 – діаметр зіниці водія у відносних величинах;

В режимі ОБРОБКА система забезпечує:

— відтворення записаної дорожньої обстановки через персональний комп'ютер з можливістю пошуку заданого фрагменту, прокрутку вперед та назад, зміну масштабу часу;

— накладення координат зору водія у вигляді курсору на картину дорожньої обстановки;

— визначення параметрів: амплітуди – P9 та частоти – P10 переміщень точки зору водія;

— декодування записаних параметрів P1 – P5, P8 – P10 і відтворення їх у вигляді графіків синхронно з картиною дорожньої обстановки;

— можливість запису на жорсткий диск ПК вибраних фрагментів чи всього експерименту в окремі файли;

— індикацію швидкості автомобіля;

— індикацію проведеного кілометражу від початку запису;

— індикацію часу запису.

Живлення блока обробки сигналів та пристроїв збору даних здійснюється від акумулятора з номінальною напругою 12.6 В, ємністю не менше 5 А*год.

Пристрій збору даних виконаний у вигляді шолома з алюмінію (Рис. 1).

До якого через поролонову вставку 2 закріплена підкладка 3 з матерії. До кінців підкладки пришиті дві смужки стрічки «липучки» 4, призначені для кріплення шолома на голові водія. В центрі обода встановлена ТК 5. нахил якої у вертикальній площині може регулюватися гвинтом 6. В корпус ТК вмонтований датчик 7 освітленості. До підкладки в районі виска водія закріплений датчик 8 пульсу.

До кінців обода через спеціальні вставки гвинтами 9 кріпиться скоба 10, на якій закріплені телекамера 11 для визначення координат зору і діаметра зіниці водія та датчик 12 вдоху – видиху водія. Конструкція кріплення скоби до обода дозволяє регулювати її нахил на довжину. Скоба виготовлена з алюмінієвого сплаву спеціального профілю, що забезпечує стійкість до вібрацій. Кріплення телекамери 11 дозволяє регулювати її положення: вверх – вниз і поворот – переміщенням осі 13; зміщення – поворотом кронштейна 14; нахил – затискачем 15.

Всі під'єднувальні кабелі та проводи сходяться з правої сторони обода і одним пучком 16 виведені на з'єднання 17 для підключення БОС.

Після запису експерименту проводиться відтворення з передачею зображення ВМ на ПК, для чого останній має вмонтовану плату вводу зображень. Під час відтворення проводиться декодування записаних сигналів з датчиків, при цьому сигнали координат зіниці обробляються і відображається у вигляді курсору на картинці зображення дороги, а решта сигналів – у вигляді графіків у нижній частині екрана дисплея.

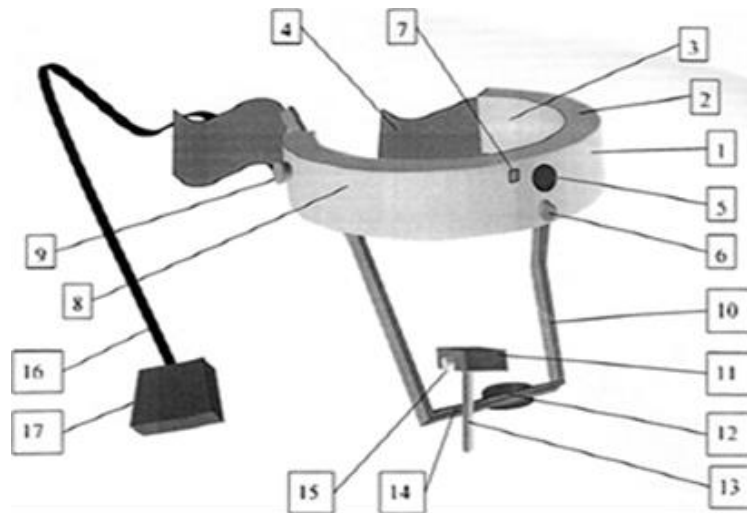


Рисунок 1 - Пристрій збору даних

Результати дослідів оброблено за допомогою методів математичної статистики[3]. Таким чином було отримано залежності між показником фізіологічного стану водія і факторами дорожніх умов. Що впливають на нього. У вигляді лінійних рівнянь регресії. Статистична обробка дослідних даних для кожного параметру виконана за допомогою електронних таблиць, розроблених у програмі Microsoft Excel.

Пульс водія:

$$y=92,125-4,375x_1+8,833x_3+4,292x_4+2,083x_1x_3-1,542x_2x_4 \quad (1)$$

Шкірно-гальванічна реакція:

$$y=2,9-0,158x_1-0,596x_2+0,346x_3+0,113x_1x_2+0,196x_1x_3+0,217x_1x_4+0,342x_2x_3+0,138x_3x_4 \quad (2)$$

Пневмограма водія:

$$y=0,341+0,044x_2-0,057x_3-0,018x_4+0,001x_1x_4-0,3x_2x_3-0,007x_2x_4-0,006x_3x_4 \quad (3)$$

Приросту діаметра зіниці:

$$y=4,728-0,2x_1-0,123x_2+0,054x_2-0,002x_4+0,007x_2x_4 \quad (4)$$

$$y=2,113-0,292x_3-0,074x_4-0,108x_1x_3-0,125x_2x_3 \quad (5)$$

Тривалість фіксації ока:

$$y=3,95+0,521x_2-0,646x_3 - 0,208 x_4 +0,025x_1x_3-0,158x_2x_3-0,171x_2x_4-0,138x_3x_4 \quad (6)$$

На підставі отриманих рівнянь регресії будуються номограми для визначення прогнозованих фізіологічних параметрів.

На підставі експериментально отриманих даних про ФП водія і відомостей про оптимальне значення цих показників виникає можливість зробити висновок на предмет залежності між функціональним станом водія та ДУ-ТП. Інтегральним показником, що свідчитиме про відповідність ДУ-ТП через проміжний елемент, яким є водій, є коефіцієнт відповідності ДУ-ТП K_e , який чисельно дорівнює сумі середніх значень відносних інтенсивностей впливу ФП водія, помноженій на довжину досліджуваної ділянки траси дороги.

Відносна інтенсивність впливу ФП на водія визначається за формулою:

$$\varphi_{mn} = \frac{|y_{mn}-y_{mno}|}{y_{mno}} \quad (7)$$

де y_{mn} – значення m параметра на n ділянці траси; y_{mno} оптимальне значення m параметра на n ділянці траси.

Значення коефіцієнта ДУ-ТП для n ділянки траси при кількості ФП і становитиме:

$$k_{bn} = L_n \frac{\varphi_{1n} + \varphi_{2n} + \dots + \varphi_{in}}{i} = L_n \frac{\sum_1^i \varphi_{in}}{i} = \frac{L_n}{i} \sum_1^i \frac{|y_{in} - y_{ino}|}{y_{ino}} \quad (8)$$

де L_n – довжина n ділянки траси; φ_{in} – відносна інтенсивність впливу ФП на n ділянці.

Сумарне значення K_e для траси дорівнює:

$$k_{bn} = k_{b1} + k_{b2} + \dots + k_{bj} = \sum_1^j k_b = \frac{1}{i} \sum_1^j L_i \frac{|y_{ij} - y_{eij}|}{y_{eij}}, \quad (9)$$

де j – кількість ділянок траси.

При визначенні коефіцієнта відповідності ДУ-ТП по ділянці або по дорозі в цілому відповідно знаходиться сума всіх фрагментів.

Висновки з даного дослідження. В результат експериментальних досліджень підтверджений прогнозований взаємозв'язок між дорожніми умовами та психофізіологічним станом водія. Наведено методику визначення коефіцієнта відповідності дорожніх умов та транспортних потоків.

Подальші дослідження в цьому напрямку є актуальними і важливими для розробки принципів проектування та експлуатації автомобільних доріг з врахуванням психофізіології водія.

Література

1. Гаврилов Е.В. Теоретические основы проектирования и организации условий дорожного движения с учетом закономерности поведения водителей. Дис....док.техн.наук:05.22.11 / Гаврилов Едуард Васильевич; ХНАДУ. - Харьков, 1990. – 300 с.
2. Гайдукевич В. А. Оцінка дорожніх умов через функціональний стан водія./В.А.Гайдукевич // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. - К., 2004. - Вип. 70. - С. 287-293.
3. Галушко В.Г. До питання статистичної оцінки заданих дорожніх умов./ В.Г.Галушко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. К., 1968 – Вип.4. – С.13-16.
4. Ефремов В.В., Островский М.А. Влияние распределения яркости в поле зрения водителя на скорость зрительного восприятия./В.В.Ефремов, М.А.Островский // Светотехника – 1974. - №6. – С.6-7.
5. Лобанов Е. М. Проектирование дороги организация движения с учётом психофизиологии водителя./Е.М.Лобанов. – М.: Транспорт,1980 – 307 с.
6. Селюков Д.Д. Теоретические основы, обоснования технических параметров автомобильных дорог с учетом физиологических и функциональных требований автотранспортной системы: автореф. дис....докт. техн.наук.: 05.23.11 /Селюков Дмитрий Дмитриевич; Белорусской государственная политехническая академия. – М., 1997 – 34 с.
7. Справочник по безопасности дорожного движения. Обзор мероприятий по безопасности дорожного движения. – Осло/Копенгаген: ин-т экономики транспорта, 1996. – 646 с.

Смирнова Н.В., канд. тех. наук.

АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ПРИ ЗАДАННОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННОМ СОСТОЯНИИ ДОРОГИ

Аннотация. Представлен алгоритм и результаты моделирования движения транспортных потоков при заданном эксплуатационном состоянии дороги. Выполнен анализ зависимостей изменений характеристик потока.

Ключевые слова: транспортный поток, интенсивность движения, скорость свободного движения, средние скорости.

Анотація. Представлено алгоритм і результати моделювання руху транспортних потоків при заданому експлуатаційному стані дороги. Виконано аналіз залежностей змін характеристик потоку.

Ключові слова: транспортний поток, інтенсивність руху, швидкість вільного руху, середні швидкості.

Abstract. An algorithm for the simulation results and traffic flow at a given operating condition of the road represented. The analysis of dependencies changes the flow characteristics performed.

Keywords: traffic flow, intensity of movement, free movement velocity, average speed.

Введение

Роль показателей технического уровня дороги и её эксплуатационного состояния в режимах движения автомобилей в транспортном потоке характеризуется, главным образом, показателями ровности проезжей части и сцепными свойствами покрытия. Определяющим также является и уровень оснащённости эксплуатационной организации ресурсами для содержания дороги (финансовыми, материалами, дорожно-эксплуатационными машинами,

кадрами и пр.). В отдельные периоды эксплуатации дороги сцепные свойства могут резко снижаться и быть меньше минимально допустимых, например, в периоды зимних метелей и гололеда. Даже при уровне финансирования 100% в эти периоды практически невозможно повысить коэффициент сцепления до нормы из-за погрешностей прогноза погодно-климатических явлений.

Основная часть

В силу указанных причин моделирование движения транспортных потоков при заданном эксплуатационном состоянии дороги, существенно отличным от нормативного, является актуальным для прогнозирования транспортно-эксплуатационных свойств дороги на длительный период её типичного жизненного цикла эксплуатации.

Далее приведены алгоритмы и примеры моделирование движения транспортных потоков при заданном эксплуатационном состоянии дороги.

Алгоритм вычислительных процедур моделирования режимов движения транспортных потоков на дорогах II – IV категорий составлен следующим образом.

1. Моделируют по зависимостям [1, 2] в программе *Road_1* свободное движение всех групп автомобилей расчетного потока грузовых, автобусов, легковых (малых, средних, больших) автопоездов по всей дороге с шагом по длине, например, $\Delta x = 20$ м. В каждой точке x получают средние скорости свободного движения тех же типов автомобилей и средние квадратические отклонения (СКО) скорости. Также в программе *Road_1* вычисляют – расстояние видимости встречного автомобиля для последующего назначения режимов движения потока.

2. Считывают результаты моделирования свободного движения по всем пикетам во внутреннюю базу, из которой будут выбираться нужные данные для моделирования на всех пикетах дороги как в прямом, так и в обратном направлении. При интенсивности потока по дороге Q и в зависимости от загрузки k_1 и k_2 полос 1 (правой) и 2 (левой) принимают $Q_1 = k_1 Q$ и $Q_2 = k_2 Q$.

3. Поскольку характеристики потоков как правой (1) так и левой (2) полос взаимно зависимы, то моделирование необходимо выполнять итерационным способом, уточняя с каждой итерацией эти характеристики. Опытные прогоны программы показали, что достаточно двух прогонов: 1 и 2.

Назначают прогон $Pr=1$, полосу $lan=1$, интенсивность $q= Q_{lan}/3600$, начальный пикет $i_x = 0$.

4. Моделирование ведут по всем пикетам i_x дороги. Для пикета i_x вычисляют значения плотности вероятности скорости свободного движения всех автомобилей, входящих в поток и с учетом состава потока как средневзвешенную находят общую плотность вероятности скорости свободного движения $f(v)$. Как математическое ожидание находят среднюю скорость свободного движения $v_{св}$ всех автомобилей потока.

Если прогон первый и полоса 1, то скорость встречного потока v_{2N} , неизвестна и первоначально её принимают равной скорости свободного движения потока $v_{св}$ на полосе 2, а затем уточняют в п. 7, 8, 9 в зависимости от того, какой режим движения потока будет на данном пикете. Если прогон второй и полоса 1, то скорость встречного потока v_{2N} , принимают равной скорости потока на полосе 2, вычисленной при предыдущем прогоне. Если прогон второй и полоса 2, то скорость встречного потока v_{2N} , принимают равной скорости потока на полосе 1, вычисленной при предыдущем прогоне.

В предположении возможности обгона на данном пикете i_x и на данной полосе моделируют стационарный режим, вычисляя $P_1(v)$, $P_2(v)$, $P_3(v)$ и вероятность свободного движения $P(v)$ по формулам [1]. Далее вычисляют распределение вероятности скорости в потоке $\Phi(v)$ скорость потока v_N на данной полосе. Вычисляют плотность потока $r = q/v_Q$.

По расстоянию видимости встречного автомобиля с пикета i_x устанавливают возможность обгона. Вид режима движения потока (1- стационарный, 2 - переходной режим без обгонов и 3 переходной режим движения с обгонами) устанавливают в зависимости от возможности обгона на данном пикете и от того, какой режим движения был на предыдущем пикете.

5. Если обгоны на данном пикете не возможны, то режим потока 2. Если пикет $i_x = 0$, принимают, что предыдущим был стационарный режим и для него начальные вероятности свободного движения $P(v)$ такие, как в [2]. Если $i_x > 0$, то начальные вероятности $P(v)$ такие, какие были в конце предыдущего пикета. Для моделирования движения без обгонов переходят к п. 8.

6. Если обгоны на данном пикете возможны и на предыдущем пикете был режим 1, то на данном пикете режим потока 1, а если на предыдущем пикете не закончился режим 3, то на данном пикете будет продолжаться режим потока 3. Если обгоны на данном пикете возможны и на предыдущем пикете был режим 2, то на данном пикете начинается режим потока 3 – переходной режим с обгонами. Для моделирования стационарного режима 1 переходят к п. 7. Для моделирования режима 3 переходят к п. 9.

7. Моделирование стационарного режима 1. Вычисляют для полосы lan : а) интервал $t_{бд}$ и минимально-безопасный интервал t_0 по формулам [1]. Если $qt_0 > 0.99$, то превышена пропускная способность на пикете i_x и переходят к п.12. В противном случае продолжают, рассчитывая фиктивную плотность потока r' , вероятность свободного движения $P(v)$, распределение вероятностей свободного движения и скорость потока v_N на данной полосе в данном пикете i_x по формулам [1].

Вычисляют плотность потока $r = q / v_Q$, которая будет отличаться от плотности, вычисленной в п. 4. Поэтому, принимая среднее значение плотности из двух указанных, продолжают итерационным способом вычисления с начала настоящего пункта, пересчитывая $t_{бд}$, t_0 , r' , $P(v)$, $\Phi(v)$ и v_N , уточняя плотность r . Пересчеты продолжают, пока отличие плотности r на данной итерации от значения r на предыдущей итерации будет не более, чем 1-2%. Сходимость итерационного процесса обеспечивается. По завершению моделирования переходят к п.10.

8. Моделирование переходного режима движения без обгонов. Вычисляют для полосы lan : а) интервал $t_{бд}$ и минимально-безопасный интервал t_0 по формуле и б) фиктивную плотность потока r' по формулам [1]. Если $qt_0 > 0.99$, то превышена пропускная способность на пикете i_x и переходят к п.12.

В противном случае продолжают, рассчитывая вероятность свободного движения $P(v)$, распределение вероятностей свободного движения и скорость потока v_N на данной полосе в данном пикете i_x^* . Вычисляют плотность потока $r = q / v_Q$, которая будет отличаться от плотности, вычисленной в п. 4. Поэтому, принимая среднее значение плотности из двух указанных, продолжают итерационным способом вычисления с начала настоящего пункта, пересчитывая $t_{бд}$, t_0 , r' , $P(v)$, $\Phi(v)$ и v_N уточняя плотность r . Пересчеты продолжают, пока отличие плотности r на данной итерации от значения r на предыдущей итерации будет не более, чем 1-2%. Сходимость итерационного процесса обеспечивается. По завершению моделирования переходят к п.10.

9. Моделирование переходного режима движения с обгонами. Вычисляют для полосы lan : а) интервал $t_{бд}$ и минимально-безопасный интервал t_0 и б) фиктивную плотность потока r' по формулам [35]. Если $(q t_0) > 0.99$, то превышена пропускная способность на пикете i_x и переходят к п.12.

В противном случае продолжают, рассчитывая вероятность свободного движения $P(v)$ по формулам [2]. Если участку движения с обгонами предшествовал участок движения без обгонов, то $P_{30}(v) = 0$ для всех v .

С найденными вероятностями $P_1(v)$, $P_2(v)$, $P_3(v)$ вычисляют распределение вероятностей свободного движения по формулам [2] скорость потока v_N на данной полосе в данном пикете i_x . Вычисляют плотность потока $r = q / v_Q$, которая будет отличаться от плотности, вычисленной в п. 4. Поэтому, принимая среднее значение плотности из двух указанных, продолжают итерационным способом вычисления с начала настоящего пункта, пересчитывая $t_{бд}$, t_0 , r' , $P(v)$, $\Phi(v)$ и v_N уточняя плотность r . Пересчеты продолжают, пока отличие плотности r на данной итерации от значения r на предыдущей итерации будет не более, чем 1-2%. Сходимость итерационного процесса обеспечивается.

Переходной режим движения с обгонами считается завершенным на данном пикете, если скорость v_Q , вычисленная в данном пункте, достигнет скорости стационарного режима на данном пикете, в предположении возможности обгонов на всей дороге (см. п.4) Завершив моделирование, переходят к п.10.

10. При известной интенсивности потока Q авт/ч вычисляют по формуле (4.34) значения Q_1 , Q_2 и Q_3 (авт/ч) – интенсивности частей потока движущихся 1) – свободно, 2) – связно, не свободно, 3) с обгонами.

11. Переходят к следующему пикету i_x . Если не достигнут конец участка, то продолжают моделировать движение потока в данном направлении, переходя к п.4. Если достигнут конец участка и номер полосы $lan=1$, то принимают $lan=2$ и начинают моделировать движение потока в обратном направлении, переходя к п.4. Если достигнут конец участка и номер полосы $lan=2$, то проверяют номер прогона Pr ; если $Pr=1$, то назначают $Pr=2$, принимают $lan=1$ и начинают второй прогон моделирования движения потока в прямом направлении, переходя к п.4. Если при втором прогоне достигнут конец участка и номер полосы $lan=2$, то моделирование завершено.

12. Так как $qt_o > 0.99$, то выводят сообщение о превышении пропускной способности на пикете i_x и завершают моделирование при заданной интенсивности, рекомендуя её уменьшить.

Результаты моделирования Основные параметры дороги в примере следующие: категория – III; длина участка – 3 км; начало на ПК 20, конец на ПК 50. Параметры поперечного профиля и проезжей части: количество полос движения – 2; ширина полосы движения 3.75 м, обочин 3.0 м; покрытие – асфальтобетонное с коэффициентом сцепления 0.4; ровность проезжей части 60 см/км; обочины укреплены засеваем трав. В плане дорога имеет две кривые.

Продольный профиль показан на рис. 1.

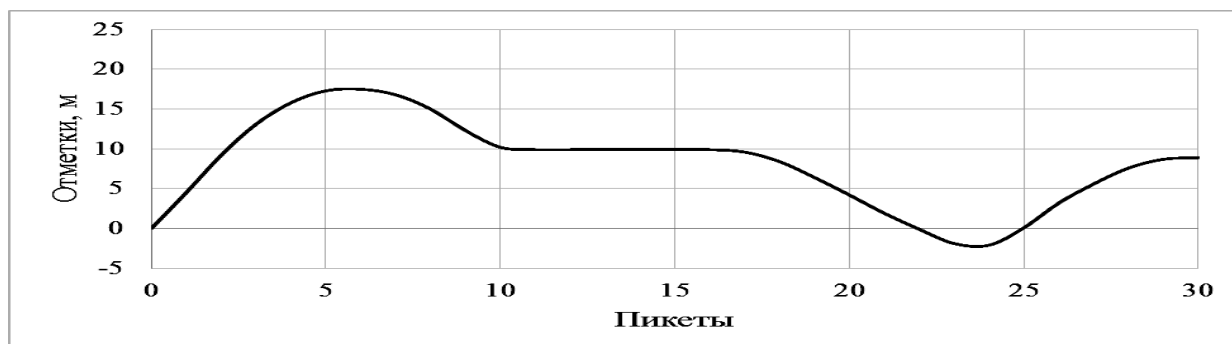


Рисунок 1 – Продольный профиль дороги

Мост с габаритом равным ширине проезжей части расположен на ПК 23+90 – ПК 24+10. Малый населенный пункт с двухсторонней застройкой (расстояние от дороги до застройки 10 м) расположен на ПК 43 – ПК 47; тротуаров и полос местного движения нет.

Оснащенность эксплуатационной организации ресурсами для содержания дороги 60%.

Расчетная интенсивность движения для моделирования: среднее значение 300 авт/час, пиковое 600 авт/час. Состав потока приведен в табл. 1.

Таблица 1 - Состав движения

Типы автомобилей	Грузовые					Автобусы			Легковые		
	мал	сред	бол	A+пр	A+ппр	мал	сред	бол	мал	сред	бол
%	2	3	4	5	6	7	8	9	20	14	22

Обозначения в табл. 2: мал – малые, сред – средние, бол – большие, A+пр – автомобиль с прицепом, A+ппр – автомобиль с полуприцепом.

Моделирование выполняется в два этапа:

- 1) свободное движение - в программах *Road_0*, и *Road_1*,
- 2) движение транспортных потоков - в программе *Road_3*.

Для моделирования свободного движения исходные данные примера введены в программы *Road_0*, и *Road_1* [40]. Для последующего моделирования движения транспортных потоков результаты моделирования свободного движения в прямом и обратном направлениях записывают в файлы *STFOR.001* и *STFOR.002*. Файлы *STFOR.001* и *STFOR.002* считываются программой *Road_3*, в которой и выполняется моделирования движение транспортных потоков.

Выполнен анализ зависимостей характеристик потока.

Теоретические возможности настоящего метода моделирования движения транспортных потоков позволяют находить значения скорости свободного движения, скорости при различных значениях интенсивности, количество обгонов и разброс скорости.

Таблица 2 - Изменение характеристик потока прямого направления с ростом интенсивности (фрагмент)

ПК	Скорости, км/ч					R, авт/км				Обгоны, обг/час				СКО, км/ч			
	Св	300	600	1200	1800	300	600	1200	1800	300	600	1200	1800	300	600	1200	1800
20	82	75	72	60	38	2.0	4.2	10.1	23.5	0	0	0	0	31	30	25	7
21	80	72	68	55	38	2.1	4.4	10.9	23.8	0	0	0	0	29	28	21	6
22	75	67	63	52	38	2.2	4.8	11.6	23.8	0	0	0	0	23	22	16	6
23	69	63	60	51	38	2.4	5.0	11.8	23.8	0	0	0	0	15	15	12	6
24	74	67	64	53	38	2.2	4.7	11.3	23.7	0	0	0	0	11	12	12	6

Выводы

Анализ результатов моделирования с расчетом различных скоростей, убеждает в том, что фактические скорости определяются, прежде всего, особенностями технического уровня дороги, параметрами плана, продольного профиля и параметрами дорожной обстановки, показателями эксплуатационного состояния дороги. Анализ средних скоростей потока показывает, что рост интенсивности потоков в большей степени влияет на значения скорости, чем все остальные дорожные факторы – с ростом интенсивности скорости всех автомобилей все более сближаются. Эта же тенденция присуща и разбросу скорости. Количество обгонов растет с ростом интенсивности, но затем падает до нуля при интенсивности, близкой к пропускной способности.

Литература

1. Смирнова Н.В. Моделирование движения транспортных потоков и расчет показателей функционирования дороги //Матеріали 75-ї студентської наукової конференції та 77-ї науково-методичної конференції ХНАДУ. – Харків, 2013. – С. 102-105.

Филиппов В.В., Смирнова Н.В. Моделирование режимов движения транспортных потоков на дорогах II – IV категорий // Науковий вісник будівництва – Харків – 2013– Вип.73. – С.351-359.

Пронин С.В., канд. техн. наук (ХНАДУ)

СОЗДАНИЕ СИСТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА

Анотація: У статті розглядається підхід до створення систем моделювання транспортних процесів мультиагентного підходу.

Ключові слова: транспортна система, транспортний процес, моделювання, мультиагентна система, агент.

Аннотация: В статье рассматривается подход к моделированию транспортных процессов и систем с помощью мультиагентных систем. Рассматриваются основные этапы моделирования, архитектура модели.

Ключевые слова: транспортная система, транспортный процесс, имитационное моделирование мультиагентная система, агент.

Abstract: This paper presents an approach to systems modeling of transport processes multi-agent approach.

Keywords: transport system, the transport process modeling, multi-agent system, agent.

Введение

В настоящее время темпы роста количества автомобилей значительно опережают темпы развития дорожно-транспортной сети, в результате возникают транспортные заторы, снижается безопасность дорожного движения. Быстрый рост количества автомобилей приводит к увеличению интенсивности движения в городах, следствие которого проявляется в обострении транспортных проблем, особенно остро проявляющихся в узловых пунктах улично-дорожной сети – перекрестках. Обеспечение быстрого и безопасного движения в современных городах требует применения комплекса

организационных, архитектурно планировочных мероприятий способствующих упорядочению движения на уже существующей улично-дорожной сети. В то время как реализация мероприятий архитектурно-планировочного характера требует, помимо значительных капиталовложений, довольно большого периода времени, организационные мероприятия

Планирование транспортных процессов является многоцелевой задачей. Для ее реализации важным является математическая возможность сравнить несколько сценариев развития транспортных процессов и получить количественный и качественный прогноз по каждому из них.

Перечисленные проблемы можно решить, применяя новые формы и методы организации движения. Данная задача представляет из себя задачу создания прежде всего эффективных моделей дорожного движения. Вместе с тем повышение возможностей компьютерной техники в последнее время позволяет решать данную задачу с большей эффективностью. Отсюда можно сделать вывод, что решение задачи моделирования транспортных процессов и систем должно решаться с помощью компьютерного моделирования.

Анализ литературы

Наиболее отвечающим поставленным требованиям решения задачи являются математические имитационные модели, с помощью которых возможно оценить эффективность планируемых мероприятий по улучшению организации дорожного движения [1].

С помощью имитационных моделей возможно оценить скорость движения, задержки на перекрестках, длину и динамику образования заторов и т.д., способны привести к сравнительно быстрому эффекту. В ряде случаев организационные мероприятия выступают в роли единственного средства для решения транспортной проблемы. Эффективным методом поиска оптимальных решений может служить имитационное моделирование городских транспортных потоков на перекрестках [2].

К имитационному моделированию относят дискретно-событийное моделирование, системную динамику, мультиагентные системы. Подробнее остановимся на последнем методе [2].

Вычислительные мультиагентные модели применяются для имитирования поведения, действий и взаимодействий автономных индивидуумов (агентов), объединенных в систему. Целью такого моделирования является оценка влияния поведения каждого агента на систему в целом. Имитирование действий каждого агента позволяет воспроизводить и предсказывать поведение системы. Считается, что мультиагентное моделирование дополняют традиционные аналитические методы. Последние позволяют охарактеризовать состояние равновесия системы, в то время как моделирование дает возможность исследования способов получения такого состояния.

В данной статье предлагается подход к моделированию транспортных систем на основе именно мультиагентного подхода. В основе подхода лежит предположение о том, что каждый участник движения действует индивидуально взаимодействуя с остальными участниками движения на основе общих правил движения [3,4]. Для решения оптимизационных транспортных задач предложена модель управления процессом отсева решений и выбора наиболее оптимального варианта [6-8].

Целевая функция мультиагентной системы

В теории мультиагентных систем различают функцию оценки или выигрыша и целевую функцию. Функция оценки рассчитывается для каждого бегущего такта взаимодействия агента со средой, исходя из воспринятого агентом состояния среды в этом такте (функцию оценки иногда называют откликом среды на действие агента). Целевая функция рассчитывается на основе бегущего значения функции выигрыша и значений функции выигрыша в предыдущих тактах взаимодействия. Функция оценки определяет каким образом агент накапливает свой интегральный ("итоговый") выигрыш, на основе которого он принимает решение о выборе своих следующих действий.

Обычный задание целевой функции заключается в том, чтобы запрограммировать агента или многоагентную систему, то есть указать в которых обстоятельствах, которую последовательность действий необходимо выполнять (так называемое программное управление). Если мы имеем дело с

непредусмотренными или неизвестными заведомо обстоятельствами, то эта процедура задания агента не подходит.

Также целевая функция агента определяет каким образом показатели эффективности по разным состояниям среды или по разным поведениям агента объединяются в одну величину, которая учитывается блоком принятия решений при выборе следующих действий агента.

$$\begin{matrix} \varphi(u) \\ Ag: RE \rightarrow Ac, \end{matrix} \quad (1)$$

где $AG = \{agl\}$, $i = 1, \dots, N$ – коллектив агентов;

R – множество всех возможных оконченных последовательностей взаимодействия агента со средой;

Как правило, перед агентом ставятся задачи максимизировать значение целевой функции $\varphi(u)$. Вид целевой функции выбирается разработчиком в зависимости от задачи, для решения которой проецируется агент. В частности в нашем случае так как одним из критериев оптимизации дорожного движения является минимизация времени передвижения то в качестве целевой функции можно выбрать функцию минимизации временных потерь.

Целевая функция коллектива отображает предыдущую историю развития событий в коллективное поведение.

$$\begin{matrix} W(U) \\ AG: R \rightarrow AD, \end{matrix} \quad (2)$$

где $AG = \{agl\}$, $i = 1, \dots, N$ – коллектив агентов;

R – множество всех возможных оконченных последовательностей взаимодействия агента со средой;

$AD = \{Adi\}$, $i = 1, \dots, N$ – коллективное действие (совокупность действий всех агентов коллектива).

Модель коммуникации агентов

Теперь подробнее остановимся на коммуникации агентов. Здесь ключевым элементом оказывается «процесс ведения переговоров», направленных на достижение равновесия. Обычно предполагается, что правила ведения переговоров установлены заранее и известны всем агентам.

Соответственно, важнейшей сферой исследований в области коммуникации агентов является построение протоколов для «ведения переговоров». К разработке протоколов обычно предъявляются следующие требования:

- простота;
- децентрализация (переговоры осуществляются напрямую, без централизованного управления);
- симметричность (все агенты являются равноправными участниками переговоров);
- устойчивость (протоколы переговоров не должны позволять агентам, отклонившимся от установленных правил ведения переговоров, извлекать дополнительную пользу);
- эффективность (как по отношению к отдельным агентам, так и по отношению к их коалициям).

Как правило агенты задаются на максимизацию результата своей деятельности поэтому заключенные между ними соглашения имеют вид взаимовыгоды. Соглашение выгодно для всех агентов, если оно максимизирует функции полезности агентов на множестве допустимых соглашений. Однако, взаимовыгодность представляет собой необходимое, но не достаточное условие для устойчивости соглашений в МАС.

Построение протокола ведения переговоров включает три шага:

- определение пространства возможных соглашений;
- введение правил взаимодействия (например, на основе теории речевых актов в терминах «предложение – контрпредложение»);
- задание оптимальных стратегий агентов.

Для описания «переговорных процессов» в основном используются методы теории полезности и теории игр, в частности, известные модели и условия

оптимальности, выраженные в виде принципов равновесия. Так принцип Парето применяется для сильно централизованных систем, подсистемы которых имеют широкие возможности обмена информацией о принимаемых решениях, а равновесие по Нэшу характеризует децентрализованные системы. Эти типы оптимальности имеют разные «идейные основания»: основой оптимальности по Нэшу является устойчивость системы, обусловленная интересами и возможностями отдельных подсистем, тогда как принцип оптимальности по Парето опирается на идею полезности, выгоды для системы в целом, понимаемой как выгода сразу для всех ее подсистем. С учетом вышеприведенных требований к разработке протоколов в МАС большее применение находит арбитражная схема Нэша или математически эквивалентная ей модель Зейтена[3].

Арбитражное решение Нэша представляет собой некоторую систему требований, с помощью которых для любой ситуации выделяется ее единственное решение и должно удовлетворять следующим условиям:

- коллективная рациональность - ситуация с выигрышем является оптимальной по Парето;
- индивидуальная рациональность - требование индивидуальной рациональности означает, что при оптимальном исходе каждый агент должен получить не меньше, чем его максимальный гарантированный выигрыш;
- линейность - оптимальное решение не должно зависеть от выбора начала отсчета и масштаба измерения выигрышей;
- симметрия - если множество выигрышей симметрично, т.е. если агенты изначально были равноправны, то и в случае их объединения они должны получить одинаковый выигрыш;
- независимость от посторонних альтернатив - решение для данного множества ситуаций является также арбитражным решением для любого своего подмножества, в которое оно попадает. Другими словами, добавление новых ситуаций не должно менять предпочтения старых.

Множеством допустимых результатов в пространстве выигрышей агентов будет иметь вид:

$$W = \{(u, v) : u = f(x, z), v = g(x, z), (x, z) \in S\}, \quad (3)$$

где $u = f(x, z)$ - выигрыш первого агента;

$v = g(x, z)$ - выигрыш второго агента;

S - множество допустимых исходов.

Множество допустимых исходов будет иметь вид:

$$\bar{S} = \{(x, z) : x \in D, z \in G\}, \quad (4)$$

где D - множество возможных стратегий первого агента;

G - множество возможных стратегий второго агента.

Гарантированные выигрыши игроков в рассматриваемой игре можно записать в виде:

$$\bar{u} = \max_{x \in D} \min_{z \in G} f(x, z), \quad \bar{v} = \max_{z \in G} \min_{x \in D} g(x, z). \quad (5)$$

Тогда арбитражная схема удовлетворяющая решению будет иметь вид:

$$(u^*, v^*) = A(W, \bar{u}, \bar{v}). \quad (6)$$

где A - отображение удовлетворяющее определенным свойствам, которое каждой арбитражной задаче $(W, \bar{u}, \bar{v})$ ставит в соответствие арбитражное решение (u^*, v^*) .

Выводы

В статье были рассмотрены основные аспекты создания систем моделирования транспортных процессов и систем с помощью мультиагентных технологий. Данный подход позволяет моделировать в частности поведение каждого участника движения, что достаточно важно с учетом стохастического характера транспортных процессов.

Литература

1. Р. Шеннон Имитационное моделирование систем – искусство и наука/ Р. Шеннон – М.: Мир, 1978. – 418 с.
 2. Васильева Е. М., Игудин Р. В., Лившиц В. Н. Оптимизация планирования и управления транспортными системами. – М.: Транспорт, 1987.
 3. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В. Б Тарасов – М.: УРСС, 2002.
 4. Скобелев П. О. Открытые мультиагентные системы для поддержки процессов принятия решений при управлении предприятиями / Скобелев П. О./ Известия Самарского научного центра Российской академии наук – 2001 – Т. 3, № 1.
 5. Muller, J. – P., Pischel M., Thiel M. Modeling Reactive Behaviour in Vertically Layered Agent Architectures // Intelligent Agents / Ed. By M. Wooldridge and N. R. Jennings. – Berlin: Springer-Verlag. – P. 261-276.
 6. Brainov S. Altruistic Cooperation Between Self-Interested Agents// Proceedings of ECAI'96. – P.519-523.
 7. Sandholm T.W. An Implementation of Contract Net Protocol Based on Marginal Cost Calculations// Proc. of 11 AAAI National Conference, 1993. – P. 256-262.
- Sandholm T.W., Lesser V.R. Coalition Formation among Bounded Rational Agents// Proc. of 14 Joint Conference on AI (IJCAI-95, Montreal, Canada). – P. 662-669.