

ВИШУКУВАННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ ДОРІГ ТА ПЕРЕХОДІВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ

УДК 625.7

Ковальова О.В., Олійник Р.В., канд. фіз.-мат. наук

АНАЛІЗ РЕГІОНАЛЬНОЇ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ МЕТОДОМ ІЄРАРХІЧНОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ

Анотація. Статистичний групувальний аналіз регіональної дорожньо-транспортної мережі, проведений методом ієрархічної агломеративної кластеризації, дав змогу виявити регіони зі спільними характеристиками та встановити відмінності у забезпеченості дорогами різних категорій регіонів з урахуванням їх територіальних та демографічних особливостей.

Ключові слова: дорожньо-транспортна мережа, категорії доріг, кластер, кластерний аналіз.

Аннотация. Статистический группировочный анализ региональной дорожно-транспортной сети, проведенный методом иерархической агломеративной кластеризации, позволил выявить регионы с общими характеристиками и установить различия в обеспеченности дорогами различных категорий регионов с учетом их территориальных и демографических особенностей.

Ключевые слова: дорожно-транспортная сеть, категории дорог, кластер, кластерный анализ.

Annotation. Statistical group analysis regional road network, organized by agglomerative hierarchical clustering, allowed to identify regions with common characteristics and to establish differences in the provision of roads of different categories of regions with their territorial and demographic features.

Keywords: road-transport network, road category, cluster, cluster analysis.

Вступ

Україна має реальні перспективи щодо посилення своєї ролі як транзитної держави, цьому сприяє передусім її географічне розташування. Забезпеченість України сучасними міжнародними транспортними коридорами зробило б її ще більш привабливою для логістичної системи Євросоюзу.

Проте інфраструктура державної дорожньо-транспортної мережі та її стан загалом сьогодні не відповідають європейським стандартам. Так, протяжність автомобільних доріг загального користування в Україні одна з найменших в Європі [1] (табл. 1), серед них дороги державного значення складають всього 8 % від загальної протяжності доріг, решта – це дороги місцевого значення [2].

Таблиця 1 – Загальні статистичні показники дорожньо-транспортної мережі України за категоріями доріг

Приведені загальнодержавні показники дорожньо-транспортної мережі	Протяжність доріг, км				
	Категорія доріг				
	I	II	III	IV	V
середньоарифметичне значення по регіону	104	513	1162	4231	607
територіальне значення на 1 км^2	0,004	0,022	0,049	0,171	0,034
демографічне значення на 10^3 чол.	0,059	0,31	0,75	2,69	0,45

Надзвичайно низька протяжність доріг I категорії, практично відсутні дороги з багаторядним рухом. Загальна протяжність швидкісних автомобільних доріг європейського зразка в Україні складає 280 км, тоді як у Франції – понад 8 тис. км. Дві третини всіх доріг України – це дороги IV та V категорій. При цьому показник щільності автомобільних доріг в Україні дорівнює $0,28\text{ км/км}^2$, для порівняння в Німеччині, цей показник становить $2,0\text{ км/км}^2$, а у Франції – $1,46\text{ км/км}^2$ [1].

Глибокий статистичний групувальний аналіз регіональної дорожньо-транспортної мережі дасть змогу виявити регіони зі спільними проблемами та встановити відмінності у забезпеченості різних регіонів певними категоріями доріг з урахуванням їх територіальних та демографічних особливостей.

Основна частина

Розбиття множини досліджуваних областей за їх ознаками (протяжність доріг різних категорій) на однорідні в деякому сенсі групи (кластери), реалізовано за допомогою кластерного аналізу (далі – КА). Відмінність КА від інших методів класифікації полягає у відсутності навчаючої статистичної вибірки. Суттєвою перевагою даного аналізу є можливість проведення групування одразу за низкою ознак – категорія доріг, покриття доріг тощо. Основне завдання КА полягає в тому, щоб на основі статистичних даних про стан регіональних дорожньо-транспортних мереж, розбити множину об'єктів (24 області та Автономна республіка Крим) на ціле число кластерів так, щоб кожна область належала тільки одній підмножині розбиття. При цьому області, які належать до одного кластеру, повинні бути схожими за своїми ознаками, а області, що увійшли до різних кластерів – різнорідні. Розбиття треба провести так, щоб воно задовольняло критерію оптимальності. Роль критерію може виконувати деяка цільова функція, наприклад, внутрішньогрупова сума квадратів відхилень протяжності доріг певної категорії.

При розрахунку матриці відстаней між точками, які відбивають положення об'єктів в k -мірному просторі, категорія доріг, що має великі значення (IV категорія), буде практично повністю домінувати над категорією доріг з малими значеннями (I категорія). Для того, щоб уникнути зміщеного аналізу в бік даних, які мають велику дисперсію, попередньо було проведено стандартизацію змінних, яка приводить всі перетворені змінні до єдиного діапазону значень, шляхом вираження через відношення цих значень до деякої величини, що відбиває певні властивості конкретної ознаки (наприклад, середнє арифметичне значення для всіх областей). Ієрархічний метод КА, проведений на основі агломеративних процедур, особливо доцільний при невеликих обсягах вибірки. При групуванні масиву областей в підгрупи (кластери) необхідно, щоб в один кластер потрапляли максимально схожі дорожньо-транспортні мережі. Кількісний показник подібності, що розраховується для кожного кластеру, називається метрикою (відстанню об'єднання).

Найбільш інформативним виявився метод повного зв'язку, в якому відстань між двома регіонами одного кластеру не перевищувала деяке граничне значення. Ця відстань (метрика) визначає максимальний діаметр підмножини, яка утворює кластер і може слугувати його розміром.

Для встановлення відстаней об'єднання регіонів у кластери використовувалася метрика Евкліда – геометрична відстань в k -мірному просторі, де k -змінними розглядаються регіональні дороги I-V категорії:

$$d_E(X_i, X_j) = \left(\sum_k (x_{ik} - x_{jk})^2 \right)^{1/2}, \quad (1)$$

де X_i, X_j – вектор протяжності доріг i -ої, j -ої області в k -мірному просторі ($k=5$).

Результати ієрархічної кластеризації наочно приведені у вигляді дендрограм (рис. 1), які описують послідовність об'єднання об'єктів та встановлюють відстані об'єднання в кластери.

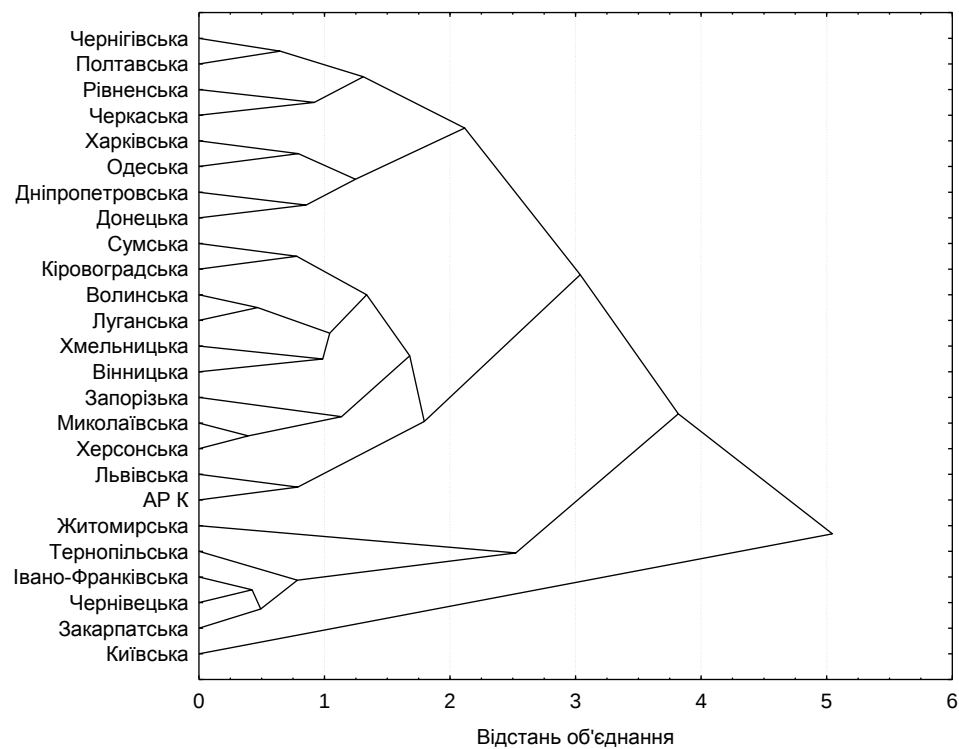
Області, які об'єднуються і формують кластер, мають спільний вузол, координата якого визначає відстань об'єднання. Даний метод послідовно зв'язує об'єкти із зростаючими відмінностями. Як видно з рис.1.а, повне об'єднання всіх регіональних мереж в один кластер відбулося при $d_{\max} = 5,0$. Рухаючись вздовж дендрограми у зворотному напрямку, спостерігається поступове розщеплення основного кластеру.

Якщо вилучити з аналізу дороги Київської та Житомирської областей, що мають найвищі показники забезпеченості автомобільними дорогами за всіма категоріями, то на дендрограмі чітко буде видно три кластери з відповідними відстанями об'єднання: $d_1 = 0,75$; $d_2 = 1,75$; $d_3 = 2,10$.

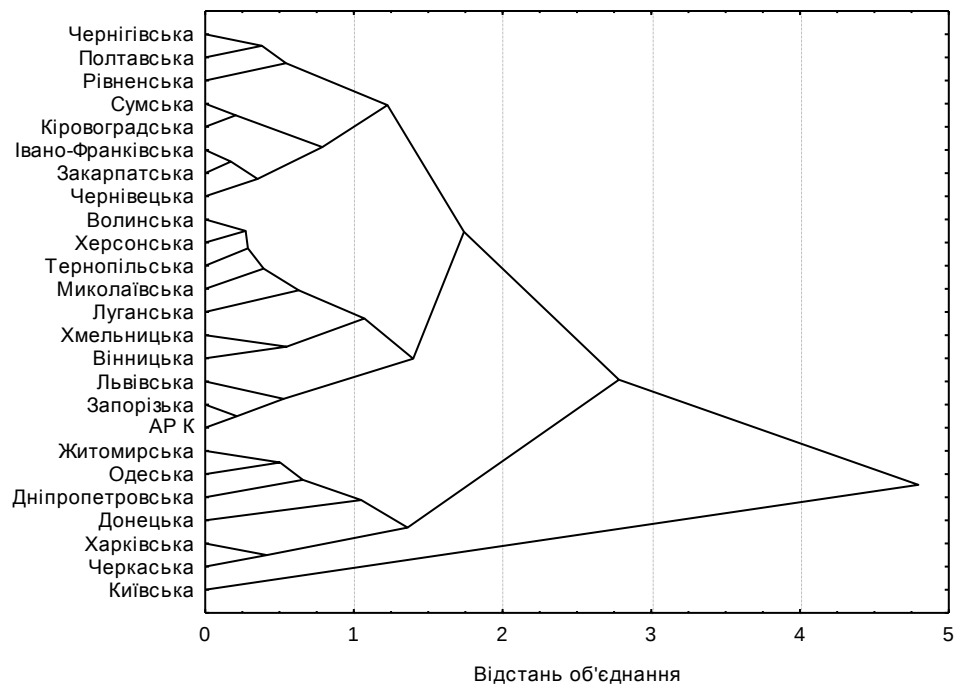
Аналогічна картина спостерігається для регіональних дорожньо-транспортних мереж I-III категорії (рис. 1-б), де весь масив доріг також розщепився на три кластери з досить близькими відстанями об'єднання ($d_1 = 1,25$; $d_2 = 1,35$; $d_3 = 1,35$), тобто утворені кластери домірні, а розбіжності в значеннях об'єктів, що їх наповнюють, незначні, що говорить про якісну кластеризацію. При цьому, необхідно відмітити, що Житомирська область увійшла до складу третього кластеру.

Результати кількісної оцінки КА наведені в таблиці 2, де в якості розміру кластера розглядаються відстані об'єднання (d_E – Евклідова метрика), проекціями вектора протяжності доріг $X_{i,j}$, виступають середньоарифметичні значення доріг відповідних категорій для регіонів, що увійшли в даний кластер. Наповнення кластерів помітно різниться залежно від регіональних приведених

значень, окрім “стійкого кластеру”, в який увійшли Тернопільська, Івано-Франківська, Закарпатська та Чернівецька області.



а)



б)

Рис. 1. Дендрограма ієрархічної кластеризації регіональних дорожньо-транспортних мереж, приведених до середньоарифметичного значення областей: а) дороги I-V категорії; б) дороги I-III категорії

Таблиця 2 – Статистичні показники дорожньо-транспортної мережі регіонів

№ n	Кластеризація за приведеними значеннями до середнього по всіх областях							Кластеризація за приведеними територіальними значеннями (км/км ²)							Кластеризація за приведеними значеннями до чисельності населення (км/10 ³ чол.)						
	d _E	Кластер	Проекції вектора протяжності доріг					d _E	Кластер	Проекції вектора протяжності доріг					d _E	Кластер	Проекції вектора протяжності доріг				
			I	II	III	IV	V			I	II	III	IV	V			I	II	III	IV	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	14	15	16	17	18	19	20	21
I	0,75	Терноп. Ів.-Франк. Закарп. Чернів.	22,0	339,8	608,8	1487,0	1383,0	1,55	Волин. Луган. АР Крим Запор. Львів. Хмелин. Вінниц.	0,002	0,027	0,056	0,182	0,023	1,20	Терноп. Ів.-Франк. Закарп. Чернів.	0,019	0,294	0,527	1,287	1,197
II	1,75	Сумська Кіровогр. Волин. Луган. Хмельн. Вінниц. Запор. Микол. Херсон. Львів. АР Крим	42,2	548,3	1225,6	4244,9	442,3	1,75	Житом. Харк. Черк. Дніпроп. Донец.	0,008	0,022	0,046	0,192	0,023	1,70	Львів. Луган. АР Крим Запор. Микол. Херсон. Харків. Дніпроп. Одеська Донец.	0,050	0,285	0,464	2,025	0,150

Продовження табл. 2

№ n	Кластеризація за приведеними значеннями до середнього по всіх областях							Кластеризація за приведеними територіальними значеннями (км/ км ²)							Кластеризація за приведеними значеннями до чисельності населення (км/10 ³ чол.)						
	d _E	Кластер	Проекції вектора протяжності доріг					d _E	Кластер	Проекції вектора протяжності доріг					d _E	Кластер	Проекції вектора протяжності доріг				
			I	II	III	IV	V			I	II	III	IV	V			I	II	III	IV	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	14	15	16	17	18	19	20	21
III	2,10	Черніг. Полтав. Рівнен. Черк. Харків. Одеська Дніпроп. Донец.	177,5	497,3	1054,3	5672,6	313,8	1,80	Черніг. Полтав. Рівнен. Одеська Сумська Кіровогр. Микол. Херсон.	0,003	0,013	0,034	0,181	0,010	2,30	Черніг. Сумська Волин. Рівнен. Полтав. Черк. Вінниц. Хмелин. Кіровогр.	0,061	0,279	0,949	3,831	0,332
IV			—	—	—	—	—	2,30	Терноп. Ів.-Фран. Закарп. Чернів.	0,002	0,028	0,050	0,122	0,114							

Особливість територіальної кластеризації безпосередньо виявилася у розщепленні загального масиву на чотири кластери, проте це ніяк не вплинуло на їх розміри, що обумовлено високою розбіжністю вихідних даних. Порівняння середніх загальнодержавних показників (табл. 1) з відповідними показниками кластерів (табл.2) висвітлює проблемні регіони – це передусім Кіровоградська, Миколаївська, Одеська, Полтавська, Рівненська, Сумська, Херсонська та Чернігівська області, в яких сумарна територіальна щільність доріг I-II та I-III категорії значно нижча ніж відповідні загальнодержавні показники. Для всіх інших регіонів територіальні показники щільності доріг I-II категорії виявилися на 10-15% вищими ніж відповідні загальнодержавні показники.

Кластеризація доріг за демографічними показниками регіонів показала, що найкраще забезпечене дорогами I-II, I-III та I-IV категорії населення областей, які увійшли до складу III кластеру. В інших регіонах цей показник значно нижчий ніж відповідний загальнодержавний показник.

Висновки

Ієрархічний метод КА, проведений на основі агломеративних процедур, дав змогу згрупувати регіони в кластери зі спільними властивостями – щільність доріг, протяжність доріг відповідних категорій, рівень забезпеченості населення регіонів дорогами відповідних категорій. Отриманий статистичний матеріал може бути використаний для реконструкції існуючої регіональної дорожньо-транспортної мережі, а також бути корисним при проектуванні нових міжнародних транспортних коридорів.

Література

1. Концепція реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування // Розпорядження КМУ від 20.08.08 № 1096-р.
2. Протяжність і характеристика автомобільних доріг загального користування на 1 січня 2010 року // Офіційний сайт державної служби автомобільних доріг України «Укравтодор». [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://www.ukravtodor.gov.ua/clients/ukrautodor.nsf/0/F1075DA5B62B391AC22572B>.

Олійник М.О., канд. техн. наук

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ РАДІУСА УГНУТИХ ВЕРТИКАЛЬНИХ КРИВИХ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ДІЇ ВІДЦЕНТРОВОГО ПРИСКОРЕННЯ

Анотація. У роботі наведено метод проектування червоної лінії поздовжнього профілю автомобільних доріг кривими змінного радіуса із розробкою алгоритмів визначення проектних відміток. Досліджена визначення радіуса угнутої вертикальної кривої в залежності від дії відцентрового прискорення при проектуванні червоної лінії поздовжнього профілю автомобільних доріг.

Ключові слова: профіль, радіус, прискорення.

Аннотация. В работе приведен метод проектирования красной линии продольного профиля автомобильных дорог кривыми переменного радиуса с разработкой алгоритмов определения проектных отметок. Исследовано определение радиуса вогнутой вертикальной кривой в зависимости от действия величины центробежного ускорения при проектировании красной линии продольного профиля автомобильных дорог.

Ключевые слова: профиль, радиус, ускорение.

Annotation. The thesis covers the method of designing of the red line of longitudinal profile of roads on the basis of changing-radius curves with elaboration of algorithm of definition marks determination. We also investigated the change of the radius of the concave vertical curve depending on its centrifugal speedup, during designing of the red line of longitudinal profile of roads.

Keywords: profile, radius, acceleration.

При русі по угнутому перелому, що не має пом'якшуючої кривої, автомобіль отримує поштовх тим більший, чим більший перелом. Щоб уникнути цього поштовху, в угнутий перелом вписується крива. Оскільки в угнутому переломі видимість забезпечена, то розрахунок цієї кривої необхідно виконувати тільки виходячи з умови пом'якшення поштовху.

Необхідно зазначити, що при малих радіусах угнутих кривих при русі вночі світло фар автомобіля освітлює проїзну частину на близькій відстані і видимість на такій кривій значно менше, ніж на прямій. Тому, чим більше інтенсивність руху на проектуємій дорозі вночі і чим більша розрахункова швидкість, тим більшими мають бути радіуси вертикальних кривих.

При русі по вертикальній угнутій кривій, на автомобіль діє відцентрова сила, прискорення якої необхідно обмежити, щоб уникнути несприятливого впливу на психофізичний стан водія та пасажирів, обмежити перевантаження ресор і поштовхів при в'їзді на криву. Якщо допустиме прискорення a_0 , то:

$$a_0 = \frac{v^2}{R}, \quad R = \frac{v^2}{a_0}, \quad (1)$$

де a_0 – відцентрове прискорення, м/с²;

v – швидкість автомобіля, м/с;

R – радіус угнутої вертикальної кривої, м.

Таким чином,

$$R_{min} = \frac{v^2}{0,5} = 2 \times v^2, \quad (2)$$

де R_{min} – мінімальний радіус угнутої вертикальної кривої, м.

Таблиця 1 – Залежність радіусів угнутих вертикальних кривих від розрахункової швидкості (ДБН В.2.3 – 4:2007)

Найменування елементів	Розрахункові швидкості, км/год.									
	150	140	120	110	100	90	80	60	50	30
Найменший радіус угнутої кривої у поздовжньому профілі, м;										
	8000	7000	5000	4000	3000	2500	2000	1500	1200	600

Радіус вертикальної кривої при угнутому переломі профілю визначають за умови, щоб додаткове навантаження на ресори, викликане відцентровою силою, не перевищувало частки p від власної ваги автомобіля:

$$\frac{mv^2}{R} \leq pgt, \quad (3)$$

де m – маса автомобіля, кг;

$pg = a$ – відцентрове прискорення, м/с².

$$\text{Звідси:} \quad \frac{v^2}{R} \leq pg, \quad R \geq \frac{v^2}{a}. \quad (4)$$

Через те, що відцентрове прискорення направлене вертикально вниз і не впливає на перекидання та ковзання автомобіля вниз, несприятливо впливає на психофізичний стан водія та пасажирів. Враховуючи дію відцентрове прискорення на водіїв та пасажирів, можна приймати $a = 1 \text{ м/с}^2$, що дає можливість значно зменшити радіус угнутої вертикальної кривої.

Таблиця 2 – Розрахунок мінімальних радіусів угнутих вертикальних кривих при умові, що відцентрове прискорення $a = 0,5 \text{ м/сек}^2$ та $a = 1 \text{ м/сек}^2$

$R \geq \frac{v^2}{a}$	V=150	V=140	V=120	V=110	V=100	V=90	V=80	V=60	V=50	V=30
$a = 0,5$	3472	3025	2222	1867	1543	1250	988	556	386	139
$a = 1,0$	1736	1512	1111	934	772	625	494	278	193	69

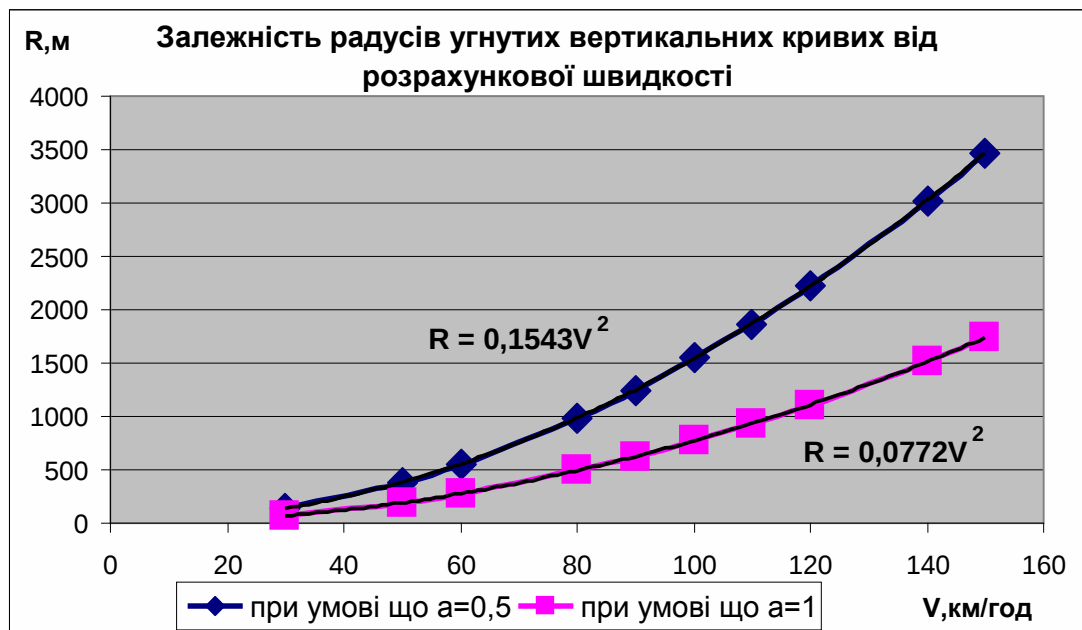


Рис. 1. Залежність радіусів угнутих вертикальних кривих від розрахункової швидкості, при умові що відцентрове прискорення $a = 0,5 \text{ м/сек}^2$ та $a = 1 \text{ м/сек}^2$, із визначенням степеневі залежності

Звідси можна зробити висновок, що при $a = 0,5 \text{ м/сек}^2$ рівняння визначення мінімального радіуса угнутої вертикальної кривої буде мати вигляд:

$$R = 0,1543V^2. \quad (5)$$

При $a = 1,0 \text{ м/сек}^2$:

$$R = 0,0772V^2.$$

(6)

У поздовжньому профілі при проектуванні вертикальних кривих, враховується відцентрове прискорення тільки для угнутих вертикальних кривих.

Відцентрове прискорення є різницею між вагою автомобіля і відцентровою силою. Через це, відцентрове прискорення має незначну величину, що не впливає на визначення радіуса опуклої кривої, у зв'язку з чим, радіус кривої визначається за допустимою відстанню і видимості поверхні дороги. Для угнутої вертикальної кривої ці сили сумуються і відцентрове прискорення збільшується. Через те, що відцентрове прискорення направлене вертикально вниз і не впливає на перекидання та ковзання автомобіля вниз, несприятливо впливає на психофізичний стан водія та пасажирів. Враховуючи дію відцентрового прискорення на водія та пасажирів, за даними медиків про вплив відцентрового прискорення на самопочуття пасажирів та водіїв, можна приймати $g = 1 \text{ м/сек}^2$, що дає можливість значно зменшити радіус угнутої вертикальної кривої.

Відцентрове прискорення приймається при розрахунку перевантажень при зльоті та посадці літаків – складає $1 \text{ м}^2/\text{сек}.$, тому враховуючи ці висновки, які викладені М.Г. Котиком, А.В. Павловым, И.М. Пашковским, Ю.С. Сардановским, Н.Г. Щитаевым щодо випробування літаків, приймаємо значення допустимого відцентрового прискорення рівним $1 \text{ м}^2/\text{сек}.$

Відцентрове прискорення визначається як перша похідна за часом, тому на прямолінійних ділянках ця характеристика рівна нулю.

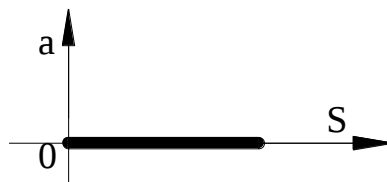


Рис. 2. Значення відцентрового прискорення на прямолінійних ділянках

При русі автомобіля по криволінійній ділянці відцентрове прискорення визначають за формулою:

$$a = \frac{v^2}{\rho}, \quad (7)$$

де v – швидкість, в м/сек²;

ρ – радіус кривизни у точці, що розглядається, м.

Зростання відцентрового прискорення, що визначається як перша похідна за часом:

$$I = \frac{da}{dt}. \quad (8)$$

На ділянках запроектованих коловими кривими відцентрове прискорення має певне значення.

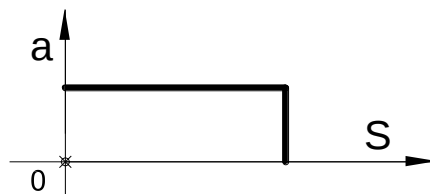


Рис. .3. Значення відцентрового прискорення на ділянках колових кривих

При використанні кубічної параболи, яка характеризується такими параметрами:

$$y = \frac{x^3}{6RL}, \quad (9)$$

$$C = L \times R, \quad (10)$$

де R – радіус кривизни в кінцевій точці кривої, м;

L – довжина кривої, м.

Відцентрове прискорення знаходимо за виразом:

$$\rho = \frac{[1 + (y')^2]^{3/2}}{|y''|}, \quad (11)$$

$$\rho = x \times \frac{\left[\frac{1 + x^4}{4c^2} \right]^{3/2}}{c}, \quad (12)$$

$$\frac{da}{dx} = \frac{v^2}{c} \times \frac{\frac{1-5x^4}{4c^2}}{\left[\frac{1+x^4}{4c^2}\right]^{5/2}}. \quad (13)$$

Маючи на увазі, що $\frac{da}{dx} = 0$, отримаємо:

$$x = \sqrt[4]{\frac{4c^2}{5}}, \quad (14)$$

$$a_{\max} = \frac{5}{6} \sqrt[4]{\frac{5}{9}} \times \frac{v^2}{\sqrt{c}} \approx 0,72 \frac{v^2}{\sqrt{c}}, \quad (15)$$

$$R = 1,2 \sqrt[4]{1,2} \times \sqrt{c} \approx 0,72 \sqrt{c}. \quad (16)$$

При русі по кривій кубічної параболи, яка змінюється на кут b , який при $x = x_1$ можна визначити з рівності:

$$tgb = y'. \quad (17)$$

Враховуючи, що $y = \frac{x^3}{6RL}$, отримаємо $tgb = \frac{1}{\sqrt{5}} \approx 0,4472$, звідки $b = 24^\circ 05' 44''$.

Зростання відцентрового прискорення визначається як похідна за часом:

$$I = \frac{da}{dx} \times \frac{dx}{dS} \times \frac{dS}{dt}, \quad (18)$$

$$\frac{dS}{dt} = v. \quad (19)$$

Виходячи із залежності: $dS = \sqrt{1+(y')^2} dx,$ (20)

де dS елемент дуги кривої, отримаємо:

$$\frac{dx}{dS} = \frac{1}{\left[\frac{1+x^4}{4c^2}\right]}, \quad (21)$$

$$I = \frac{v^3}{c} \times \frac{\frac{1-5x^4}{4c^2}}{\left[\frac{1+x^4}{4c^2}\right]^3}. \quad (22)$$

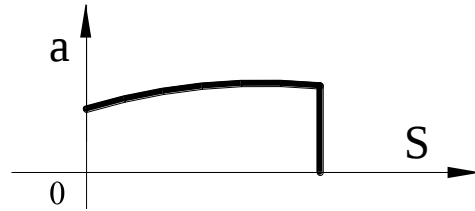


Рис. 4. Зміна відцентрового прискорення на криволінійних ділянках, що запроектовані параболою

На прямій входу на заокруглення (і на прямій виходу) наростання відцентрового прискорення дорівнює нулю, а при в'їзді автомобіля на криву, у якості якої використана кубічна параболою, на графіку на якому зображена зміна відцентрового прискорення, можна побачити стрибок із розривом. Такий стрибок буде мати місце і при виході з криволінійної ділянки.



Рис. 5. Зміна відцентрового прискорення при поєднанні прямолінійної ділянки запроектованої прямою та криволінійної – параболою

Зміна відцентрового прискорення при поєднанні прямолінійної ділянки (прямої) та криволінійної ділянки (параболи), можна побачити що прискорення змінюється стрибкоподібно (рис. 5). Цей стрибок негативно впливає на динаміку руху автомобіля, несприятливо впливає на психофізичний стан водія та пасажирів. Відповідною реакцією водія, може бути зменшення швидкості руху.

Радіус кривизни клотоїди обернено пропорційний дузі S , тобто,

$$\rho = \frac{R \times L}{S}, \quad (23)$$

де L – довжина клотоїди, м;

R – радіус кривизни в кінці кривої, м.

Відцентрове прискорення при русі автомобіля змінюється за лінійною залежністю і формула приймає вигляд:

$$a = \frac{v^2 \times S}{RL} . \quad (24)$$

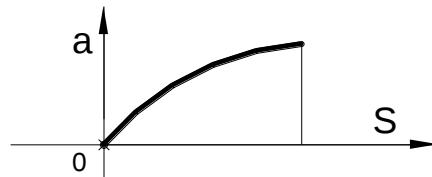


Рис. 6. Зміна відцентрового прискорення при русі автомобіля по криволінійній ділянці, що спроектована клотоїдою

З рис. 6, можна побачити, що при переході з прямолінійної ділянки на криволінійну, при наявності вертикальної кривої у якості клотоїди, забезпечено неперервність зростання відцентрового прискорення на всій довжині кривої, але на виході з криволінійної ділянки, спроектованої клотоїдою, виникає стрибок із розривом у значенні величини відцентрового прискорення. Стрибкоподібність зміни цієї характеристики несприятливо впливає на динаміку автомобіля і викликає дискомфорт у водія та пасажирів.

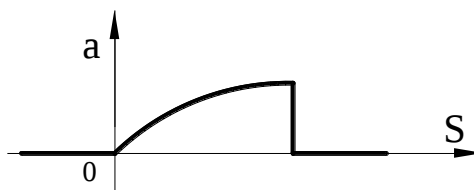


Рис. 7. Зміна відцентрового прискорення при поєднанні прямолінійної ділянки та криволінійної, спроектованою клотоїдою

Зростання значення відцентрового прискорення, що визначається як перша похідна за часом, для клотоїди:

$$a = \frac{v^3}{RL} . \quad (25)$$

Для ліквідації перепаду значення відцентрового прискорення (при переході з прямолінійної ділянки на криволінійну, і навпаки) рекомендовано

використовувати криві змінного радіуса, що змінюють значення радіуса від нескінченності до певного мінімального значення.

Випадок I. Проектування червоної лінії поздовжнього профілю однією кривою змінного радіуса (за мінімальною довжиною).

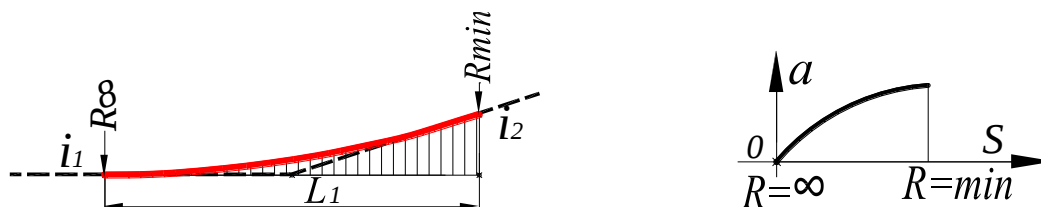


Рис. 8. Зміна відцентрового прискорення при проектуванні червоної лінії поздовжнього профілю однією кривою змінного радіуса, при похилах в один бік ($i_1 = +i_1$, $i_2 = +i_2$), при похилах, один з яких дорівнює нулю ($i_1 = +i_1$, $i_2 = 0$), та при похилах у різних напрямках ($i_1 = +i_1$, $i_2 = -i_2$)

Випадок II. Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох кривих змінного радіуса (за мінімальною довжиною).

При умові зміни $RE(\infty, Rmin) \cup [Rmin, \infty)$

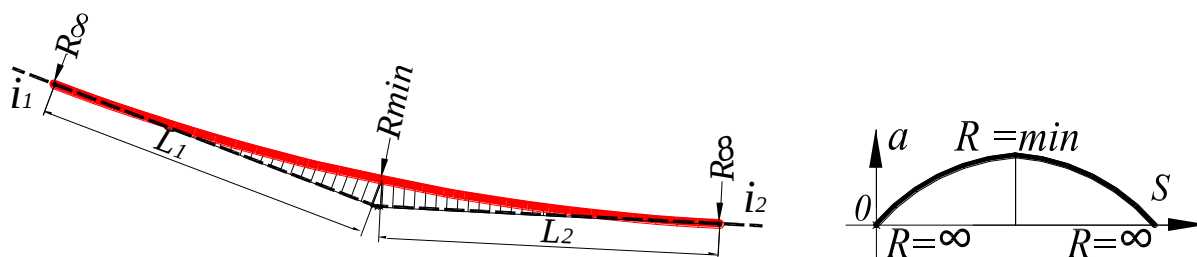


Рис. 9. Зміна відцентрового прискорення при проектуванні червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох кривих змінного радіуса (за мінімальною довжиною), при похилах в один бік ($i_1 = +i_1$, $i_2 = +i_2$), при похилах, один з яких дорівнює нулю ($i_1 = +i_1$, $i_2 = 0$) та при похилах у різних напрямках ($i_1 = +i_1$, $i_2 = -i_2$)

При умові зміни $RE(Rmin, \infty) \cup [\infty, Rmin)$

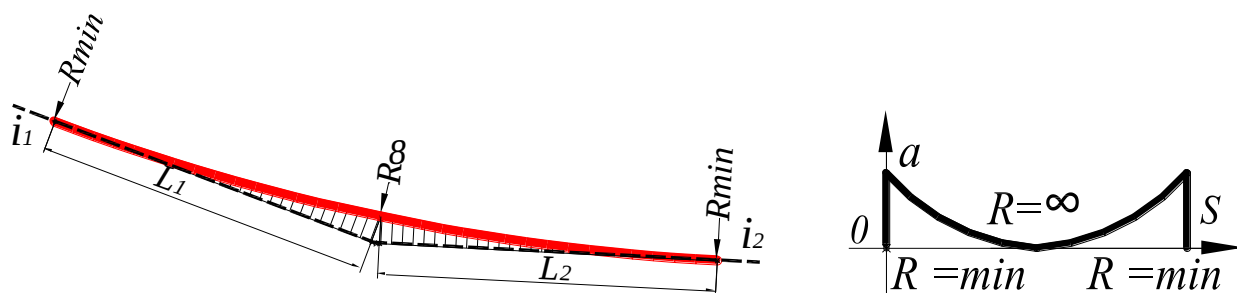


Рис. 10. Зміна відцентрового прискорення при проектуванні червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох кривих змінного радіуса (за мінімальною довжиною), при похилах в один бік ($i_1 = +i_1, i_2 = +i_2$), при похилах, один з яких дорівнює нулю ($i_1 = +i_1, i_2 = 0$) та при похилах у різних напрямках ($i_1 = +i_1, i_2 = -i_2$)

Випадок III. Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох кривих змінного радіуса (зі здвижкою від точки перелому).

При умові зміни $R \in (\infty, R_{min}] \cup [R_{min}, \infty)$

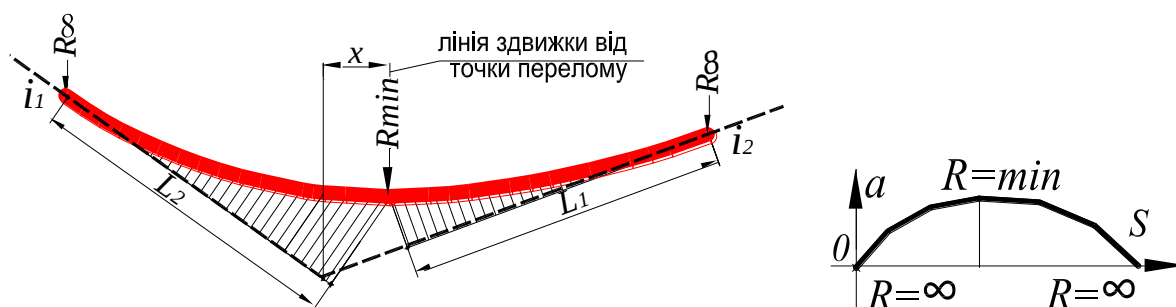


Рис. 11. Зміна відцентрового прискорення при проектуванні червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох кривих змінного радіуса (зі здвижкою від точки перелому), при похилах в один бік ($i_1 = +i_1, i_2 = +i_2$), при похилах, один з яких дорівнює нулю ($i_1 = +i_1, i_2 = 0$) та при похилах у різних напрямках ($i_1 = +i_1, i_2 = -i_2$)

При умові зміни $R \in (R_{min}, \infty] \cup [\infty, R_{min})$

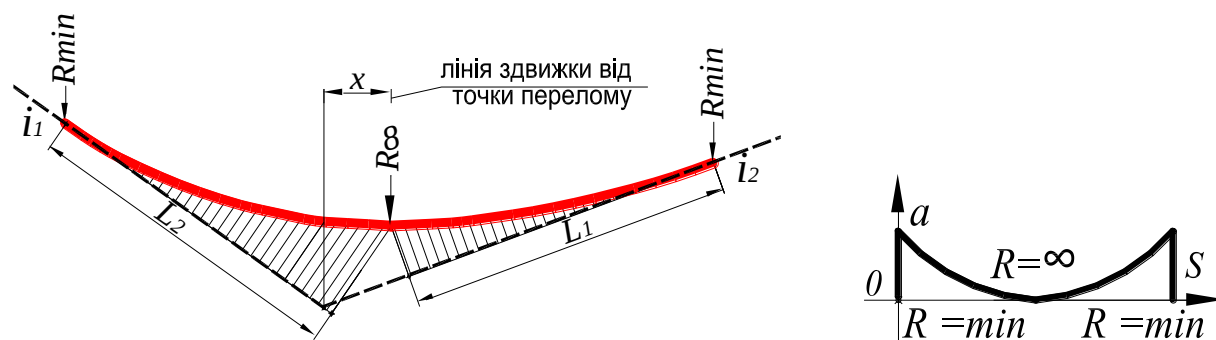


Рис. 1.12. Зміна відцентрового прискорення при проектуванні червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох кривих змінного радіуса (зі здвижкою від точки перелому), при похилах в один бік ($i_1 = +i_1, i_2 = +i_2$), при похилах, один з яких дорівнює нулю ($i_1 = +i_1, i_2 = 0$) та при похилах у різних напрямках ($i_1 = +i_1, i_2 = -i_2$)

При проектуванні червоної лінії поздовжнього профілю угнутими вертикальними кривими зі змінним радіусом, для ліквідації перепаду значення відцентрового прискорення (при переході з прямолінійної ділянки на криволінійну, і навпаки) рекомендовано використовувати криві змінного радіуса що змінюють значення радіуса від нескінченності до певного мінімального значення. Для угнутої вертикальної кривої відцентрове прискорення направлене вертикально вниз і несприятливо впливає на психофізичний стан водія та пасажирів. За даними медиків про вплив відцентрового прискорення на самопочуття пасажирів та водіїв, приймається рівним 1 м/сек^2 , що дає можливість значно зменшити радіус угнутої вертикальної кривої.

Література

1. Андреев О.В. Справочник инженера-дорожника: изыскания и проектирование автомобильных дорог / Под ред. О.В. Андреева. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1977. – 560 с.
2. Бабков В.Ф. Проектирование автомобильных дорог. В 2-х ч. Ч. 1. / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев. Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1987. – 368 с.
3. Бабков В.Ф. Проектирование автомобильных дорог. В 2-х ч. Ч. 2. / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев. Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1987. – 415 с.
4. Білятинський О.А. Довідник: Проектування і будівництво автомобільних доріг / Білятинський О.А., Заворицький В.Й., Старовойда В.П. – К.: Техніка, 1996 – 382 с.
5. Бируля А.К. Проектирование автомобильных дорог: учебник для автодорож. ВУЗов. Ч. 1. – М.: Дориздат, 1948. – 392 с.
6. Бируля А.К. Проектирование автомобильных дорог: учебник для автодорож. ВУЗов. Ч. 2. – М.: Дориздат, 1948. – 348 с.
7. Бируля А.К. Справочник инженера-дорожника. – Изыскания и проектирование автомобильных дорог / Под ред. А.К. Бируля. – М.: Транспорт, 1969. – 552 с.

УДК 625.75 : 658.562.012.7

Волощук Д.В.

ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ПРИЛАДІВ ПРИ КОНТРОЛІ ЯКОСТІ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ

Анотація. Наводиться власний досвід роботи з приладом динамічного навантаження типу ZFG 02, який належить до експрес-методів контролю якості виконання робіт шляхом визначення динамічного модуля пружності та застосування методів статистики при обробці отриманих даних.

Ключові слова: ґрунт, якість, оцінка.

Аннотация. Приводится собственный опыт работы с прибором динамической нагрузки типа ZFG 02, который относится к экспресс-методам контроля качества выполнения работ путем определения динамического модуля упругости и применения методов статистики при обработке полученных данных.

Ключевые слова: почва, качество, оценка.

Annotation. It is given an own experience with the device of dynamic load ZFG 02, which refers to quick quality control methods, by determining the dynamic modulus of elasticity and the application of statistical methods for data processing.

Keywords: soil, quality, assessment.

Вступ

При сучасних темпах будівництва виникає необхідність застосування експрес-методів контролю якості ущільнення різних матеріалів. Стандартний метод (метод ріжучого кільця, згідно з [1]) не дає можливості швидко і

оперативно отримувати результати, що суттєво гальмує виробничий процес та вимагає значних витрат трудових ресурсів. Нормативними документами, зокрема [2], дозволяється проводити до 90% вимірів експрес-методами, але не при приймальному та інспекційному контролі. В останні роки на українському ринку з'явився цілий ряд приладів закордонного виробництва, які пропонуються для оперативного виконання таких робіт. Тому виникає необхідність дослідити можливість використання таких приладів.

Основна частина

У 2010 році лабораторією ґрунтів та земляного полотна ДерждорНДІ виконувались роботи по визначенню ступеня ущільнення основи льодового поля при будівництві однієї із спортивних споруд в місті Києві. Конструкція основи була представлена в нижньому шарі щебенем фракції 10-20 мм, товщиною 20 см, а в верхньому – піщано-щебеневою подушкою (40% – щебінь фракції 5-20 мм, 60% – дрібнозернистий пісок), товщиною 60 см. Зважаючи, що характер матеріалу не дозволяє застосовувати метод ріжучого кільця, роботи виконувались приладом динамічного навантаження ZFG 02 фірми Mechanical Engineer Bernd Zon (рис. 1).



Рис. 1. Визначення динамічних модулів пружності приладом ZFG 02

Використання цього приладу є більш продуктивним та менш трудомістким порівняно із статичними штамповими випробуваннями. Прилад складається з плити, на яку передається динамічне навантаження, навантажуючого пристрою,

а також пристрою для обробки та виведення на друк даних. Навантажуючий пристрій виконаний за класичною схемою – гиря, що вільно падає по направляючій штанзі, створює імпульс навантаження. Для отримання значення динамічного модуля пружності E_{vd} необхідно виконати трикратне скидання вантажу, після чого пристрій, на основі отриманих величин прогинів та тривалості дії навантаження, виводить середнє значення параметра. В інформативних матеріалах до цього приладу [3] наводяться орієнтовні залежності між статичним модулем пружності E_{v2} , динамічним модулем пружності E_{vd} та ступенем ущільнення D_{pr} (за Проктором). Ця інформація в інструкції до приладу подається згідно стандарту «Земляні роботи та будівництво автомобільних доріг» ZTV E-STB 94', табл. 1.

Таблиця 1 – Значення допустимого навантаження згідно вимог стандарту «Земляні роботи та будівництво автомобільних доріг» ZTV E-STB 94'

Вид елемента конструкції	Матеріал елемента конструкції	$D_{Pr} \%$ (по Проктору) / ГОСТ 22733-77	Статичний модуль пружності E_{v2} , МПа	Динамічний модуль пружності E_{vd} , МПа
Природні основи	Переважно дрібнозернисті ґрунти або змішані, з включенням окремих щебінок	—	> 45 $> 45-20$	> 25 $> 25-15$
Насипні грубозернисті ґрунти, що штучно ущільнювались	GW грубий (20-60 мм) щебінь, гравій	$>103/110$	>120	>60
	GI середній (6,3 – 20,0 мм) щебінь, гравій	$>100/105$ $>97/100$	>100 >80	>40
	GE дрібний (2,0 – 6,3 мм) щебінь, гравій	$>100/105$	>80	>40
	SE – SW – SI пісок	$>97/100$ $>95/98$	>60 >45	>30 >25

Місця випробувань були обрані довільно але з певним порядком: умовно розбили ділянку сіткою 10x10 м, в наслідок чого отримали шістнадцять точок випробувань. В кожній точці, паралельно з динамічними штамповими випробуваннями, відбирався матеріал для визначення його вологості (таблиця № 1).

Таблиця 2 – Середні значення динамічних модулів пружності, прогинів та вологості ґрунту в місцях випробувань

№ серії випробувань	Вологість ґрунту, %	Середні значення динамічного модуля пружності E_{vd} , МПа	Середнє значення прогину Δl , мм	Тривалість дії сили (імпульсу) t , мсек	№ серії випробувань	Вологість ґрунту, %	Середнє значення динамічного модуля пружності E_{vd} , МПа	Середнє значення прогину Δl , мм	Тривалість дії сили (імпульсу) t , м/сек
1	1,38	96,6	0,233	2,69	9	1,42	79,5	0,283	3,16
2	1,31	99,1	0,227	2,65	10	1,22	91,5	0,246	3,03
3	1,28	92,6	0,243	2,54	11	1,37	94,5	0,238	2,95
4	1,08	106,6	0,211	2,68	12	0,97	92,2	0,244	2,98
5	0,68	99,1	0,227	2,75	13	1,22	93,4	0,241	2,79
6	1,19	109,8	0,205	2,61	14	1,78	106,1	0,212	2,80
7	1,15	100,0	0,225	2,69	15	2,12	102,7	0,219	2,88
8	1,22	104,7	0,215	2,67	16	2,53	135,5	0,166	2,45

Проаналізувавши ці результати, визначили, що 9-а та 16-та точки значно відрізняються від інших за значенням динамічного модуля пружності E_{vd} . І хоча їх вплив на значення середньої був не дуже суттєвий $\mu_{n=16}=100,24 \text{ МПа} \approx \mu_{n=14}=99,21 \text{ МПа}$, їх присутність значно збільшувала значення дисперсії $\sigma^2_{n=16}=144,04 \gg \sigma^2_{n=14}=36,32$ та стандартного відхилення $\sigma=12,0 \text{ МПа} \gg \sigma=6,03 \text{ МПа}$, які характеризують розкид даних та неоднорідність вибірки, що дозволяє розглядати їх як аномальні. Зокрема площа в районі точки № 9 вимагала додаткового ущільнення.

Після відкидання аномальних значень оцінку ступеню ущільнення більшої частини дослідженої площі виконали шляхом порівняння дослідної вибірки із директивним розкидом, в якому за середину розподілу було прийнято $E_{vd}=100 \text{ МПа}$, згідно з [4], при умові, що менше мінімальних значень ($E_{vd \text{ min}}=90 \text{ МПа}$) повинно бути не більше 5 % всіх значень. Порівняння здійснювалось за допомогою статистичних критеріїв Стюдента t та Пірсона χ^2 , за формулами:

$$t_e = \left| \frac{\bar{X} - \mu}{U} \sqrt{n} \right|, \quad (1)$$

$$\chi_e^2 = \frac{(n-1)S^2}{U^2} \quad (2)$$

У графічній інтерпретації (рис. 2) видно, що фактичний вибірковий розподіл відповідає нормативним вимогам, тобто ступінь ущільнення основи є достатнім.

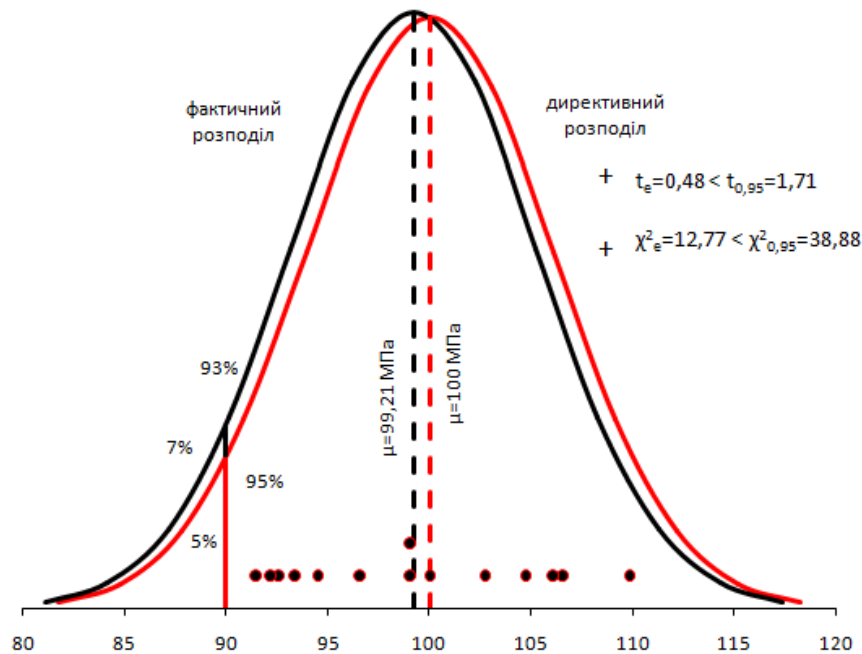


Рис.2. Порівняння фактичного розподілу динамічних модулів пружності з директивним

Висновки

Наведений приклад свідчить, що застосування приладів, аналогічних використаному в цій роботі, дозволяє значно збільшити кількість вимірів і ефективно використовувати при прийнятті рішень статистичні методи аналізу. Обстеження займають небагато часу і дозволяють швидко приймати обґрунтовані рішення. Зараз такі прилади у нас ще не набули широкого застосування, хоча закордоном досить поширені.

Література

1. ДСТУ Б В.2.1-17:2009. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей. Київ 2010.
2. ДБН В.2.3-4:2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. Київ 2007.
3. Light Drop-Weight Tester ZFG 02. Operating manual. © 1995-2004 Zorn, Stendal Germany. All rights reserved.
4. ВБН В.2.3-218-008-97. Проектування і будівництво жорстких та з жорсткими прошарками дорожніх одягів. Київ 1997.

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ КОНТРОЛЮ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ

Анотація. Запропонована інформаційна технологія універсальної системи контролю та забезпечення якості, яка здійснює зворотній процес контролю якості, що ставить у відповідність поточну систему контролю якості до продуктивності аналітичної системи для задоволення заданих цілей якості.

Ключові слова: якість, контроль якості, інформаційні технології, міжнародні стандарти якості.

Аннотация. Предложена информационная технология универсальной системы контроля и обеспечения качества, осуществляющая обратный процесс контроля качества, который приводит в соответствие поточную систему контроля качества к производительности аналитической системы для удовлетворения заданных целей качества.

Ключевые слова: качество, контроль качества, информационные технологии, международные стандарты качества.

Annotation. Proposed the information technology for universal quality control and quality assurance system, which performs reverse quality control process and sets current quality control system in accordance to the efficiency of analytical system to meet defined quality goals.

Keywords: quality, quality control, information technology, international quality standards.

Постановка проблеми

Управління якістю будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг являє собою складну систему, яка включає людські, технічні, фінансові та інформаційні ресурси. Прийняття рішень в цій системі базується на великій кількості даних, зокрема даних вимірювань параметрів продукції, виробничих процесів, даних, які необхідні для реалізації моделей управління виробництвом

в широкому розумінні. Ефективність управлінських рішень прямо залежить від якості даних. Однак проблеми розробки сучасних інформаційних технологій забезпечення якості даних в дорожній галузі ще недостатньо розвинуті, що обумовлює актуальність такого напрямку в загальній системі менеджменту якості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Посилення конкуренції вимагає від керівників всіх рівнів цілеспрямованого вирішення проблеми підвищення якості продукції і процесів її проектування, виробництва і реалізації. Для досягнення цих цілей широко використовуються ідеологія і положення міжнародних стандартів серії ISO 9000. Особливе місце в системах управління якістю займає підсистема контролю та гарантії якості, яка в англійських джерелах має назву Quality Control / Quality Assurance (QC/QA).

Контроль якості - Quality Control (QC) [1,3] - являє собою процедуру або множину процедур, призначених для забезпечення того, що вироблена продукція або надані послуги задовольняють певному набору критеріїв якості та відповідає вимогам клієнта. Гарантія (забезпечення) якості (Quality Assurance - QA) [2,3] визначається як процедура або множина процедур, призначених для забезпечення того, що продукція або послуга ще в стадії розробки (до завершення роботи, на відміну від після завершення) відповідає встановленим вимогам. Система забезпечення якості створюється для підвищення довіри клієнтів і авторитету компанії, для покращення робочих процесів та підвищення їх ефективності, що дозволяє компанії більш успішно конкурувати з іншими. Відповідність ISO 9000 надає гарантію, що компанія постачає якісні продукти або послуги. В США і Канаді велика увага приділяється впровадженню системи контролю та гарантії якості в проектах будівництва та утримання автомобільних доріг і мостів [4,5,6]. За специфікацією QC/QA підрядник здійснює щоденний контроль якості (QC), а департамент доріг виконує верифікацію тестування (QA).

У сучасних умовах одним із інструментом управління інформацією QC/QA слугують лабораторно-інформаційні системи (ЛІС), які включають в себе певні аспекти контролю якості. ЛІС - це клас програмних продуктів, призначений для управління різними аспектами лабораторної діяльності, а саме: зразками, приладно-інструментальним парком, стандартами та реагентами, персоналом, нормативною документацією, звітними формами, питаннями доступу до інформації, QC/QA, тощо [7,8]. Але широко відомі ЛІС містять спеціалізовані

підсистеми автоматизації QC/QA, які в значній мірі залежать від сфери застосування.

Постановка завдання

Запропонувати універсальну інформаційну технологію контролю та забезпечення (гарантії) якості для впровадження в різних сферах господарської діяльності, зокрема в дорожню галузь.

Виклад основного матеріалу. Автором статті в період з 2002 р. до теперішнього часу розроблялась і впроваджувалась в практику діяльності лабораторій США та Канади система автоматизованого контролю і забезпечення якості даних. Основна концепція, яка покладена в цю систему, полягає в послідовному втіленні принципу універсалізації моделей QC/QA, що надає можливість мінімізувати вплив специфічних особливостей галузі застосування на архітектуру і програмну реалізацію системи. Такий підхід дозволяє досить швидко трансформувати систему автоматизованого контролю і забезпечення якості даних і застосувати її, наприклад, в будівництві, ремонті та утриманні автомобільних доріг і мостів.

Ця система:

- забезпечує підприємства та референтні лабораторії програмними інструментами контролю якості (QC) та тестування на професійність (PT). Використовуються результати лабораторних вимірювань діагностичних інструментів в режимі реального часу, а також дані введені вручну на щоденній основі;
- дозволяє періодичний аналіз усереднених даних контролю якості та оцінки роботи приладів щодо встановлених вимог до якості (використовується концепція Total Allowable Error - TEa);
- автоматизує процес управління контролем якості QC за рахунок автоматичного зчитування даних з інструментів і рекомендації оптимальних правил контролю якості (QC Rules) на основі оцінки роботи приладів та встановлених вимог до якості;
- забезпечує унікальний сервіс для збирання, аналізу і порівняння даних індивідуальних лабораторій з аналогічними у всьому світі групами лабораторій через Інтернет. Передача детальних і усереднених даних між лабораторією та центральною базою даних QC відбувається в режимі реального часу через Інтернет.

Система складається з п'яти модулів:

- 1) LAQC-DQC Daily QC, в якому застосовуються правила Дж. Уестгарда і будь-які визначені користувачем QC правила оцінки результатів контролю якості. Модуль будує контрольні карти Леві-Дженнінгса і включає в себе потужний механізм звітів і функцій усунення помилок та неполадок.
- 2) LAQC-EQC Expert QC, який працює з усередненими даними QC і рекомендує оптимальний набір правил контролю якості. Цей модуль включає в себе функції внутрішнього порівняння даних груп лабораторій, експертні функції усунення помилок або неполадок, а також включає в себе потужний механізм звітів.
- 3) LAQC-AL Automation Link, який автоматизує "зв'язок" між LAQC-DQC і LAQC-EQC і дозволяє повністю автоматизувати процес управління контролем якості в режимі реального часу.
- 4) LAQC-Web - веб-програма для миттєвого доступу до даних порівняння (статистичні показники розраховуються в режимі реального часу) з іншими лабораторіями в різних групах, що формуються за різними критеріями.
- 5) QC Import Modules/Instrument Interfaces/Middleware - інтерфейс між системами ЛІС, діагностичними інструментами та LAQC-модулями.

Системні установки (рис. 1) дозволяють зв'язати в єдину систему і відобразити в реляційній базі даних дані про лабораторії, департаменти (підрозділи) лабораторій, вимірювальні інструменти, тести, рівні концентрації досліджуваних речовин в контрольних матеріалах, партії матеріалів, їх допустимі часові інтервали використання, вибірки даних, користувачів та інші дані. В якості системи управління базами даних використовується MS SQL Server.

На рис. 2 наведена екранна форма для відображення результатів вимірювань і контролю якості даних за допомогою контрольних карт Леві-Дженнінгса. В

ній використовуються графічні об'єкти, які дозволяють користувачеві приймати рішення щодо виконання дій по налаштуванню вимірювального процесу. Результати вимірювань обробляються за системою правил Дж. Уестгарда. На рис. 3 наведений зведений звіт контролю якості даних. Всі звіти виводяться у форматі таблиць MS Excel, що дає змогу скористатися перевагами Microsoft Office.

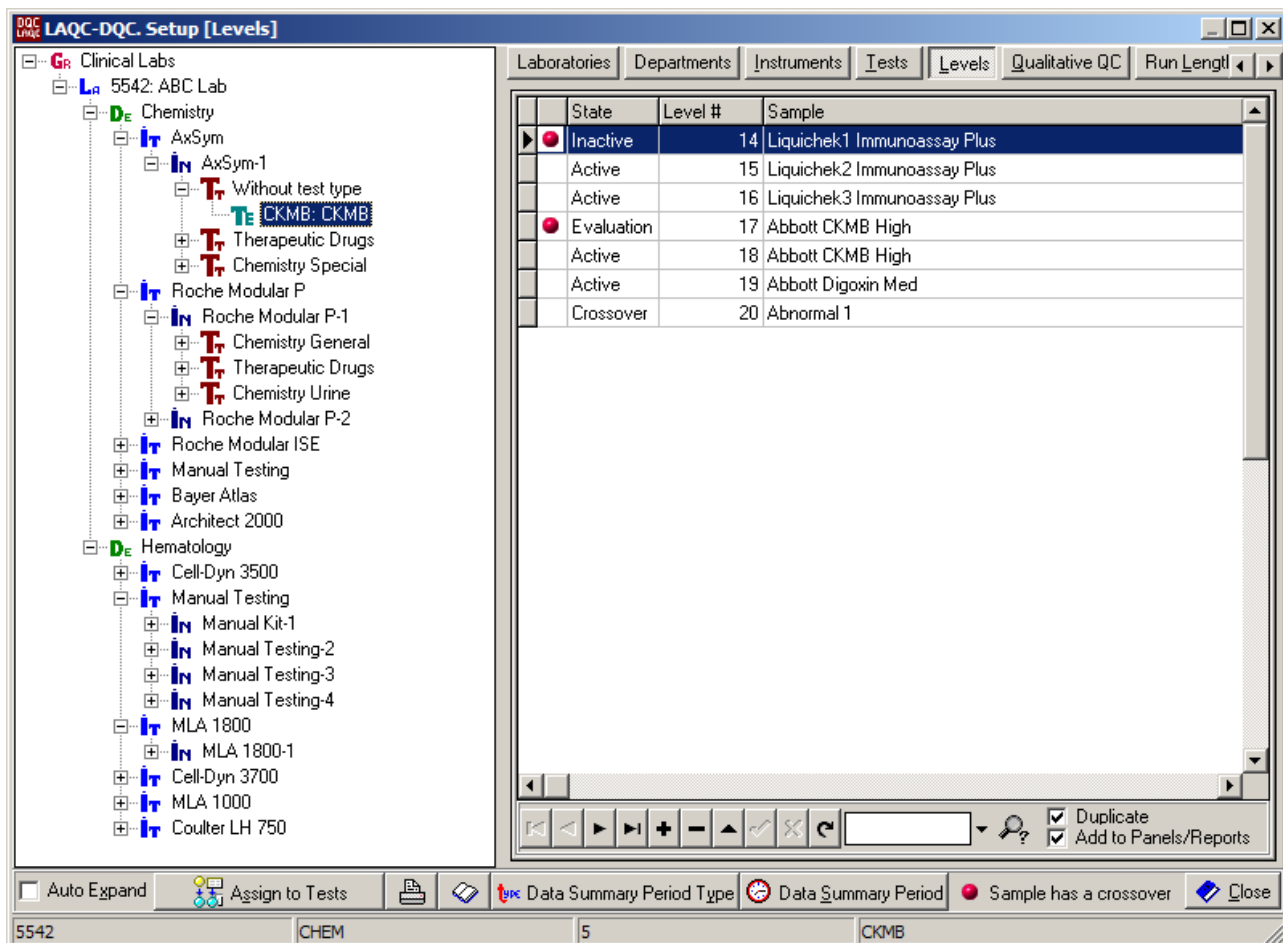


Рис. 1. Системні установки

Система впроваджена у багатьох лабораторіях Канади і США. Досвід її розробки дозволив виявити подальші напрямки удосконалення автоматизованої системи контролю та забезпечення якості даних у напрямку формування ядра системи, яке було б максимально незалежним від сфери застосування, а за допомогою відповідних програмних засобів могло б налаштовуватись на специфіку сфери застосування, враховувати сучасні принципи архітектури програмних засобів в умовах широкого впровадження інтернет-технологій та інших сучасних інноваційних технологій обробки та передачі даних.

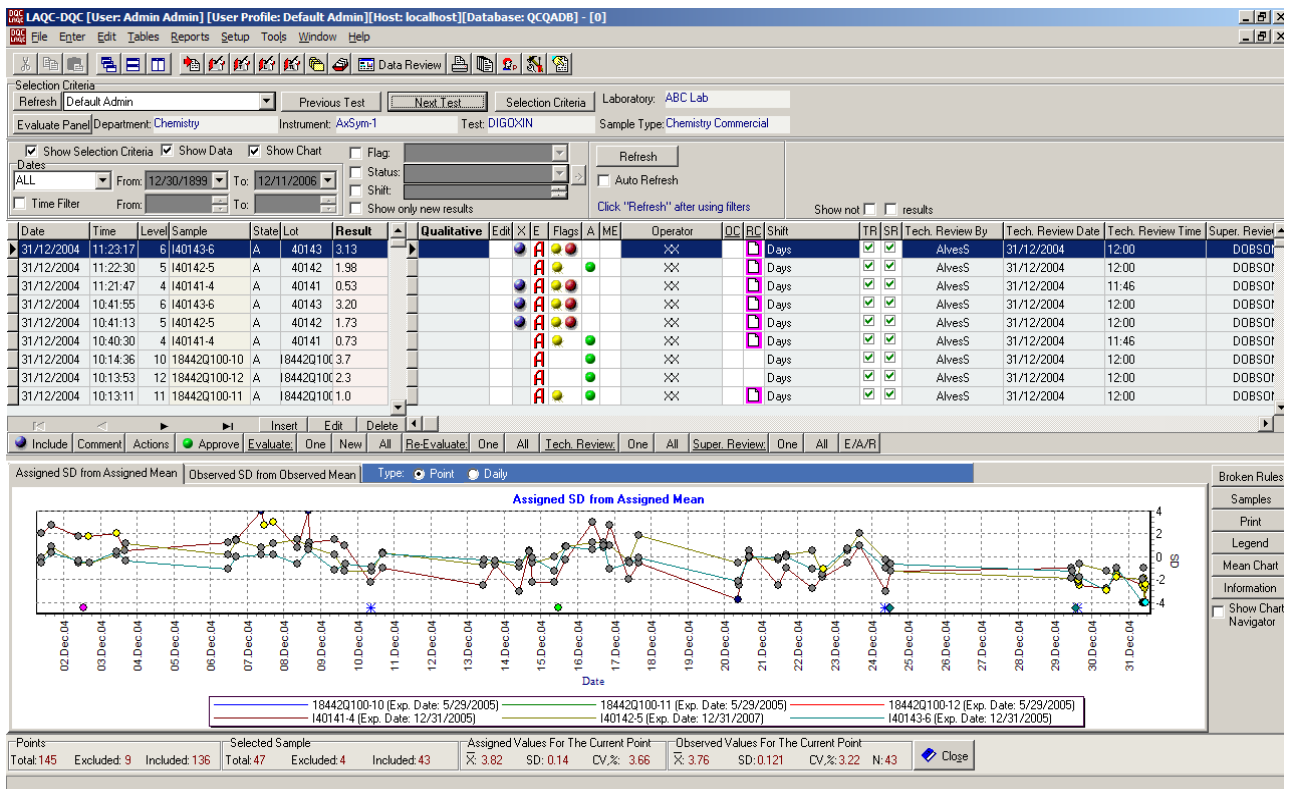


Рис. 2. LAQC-DQC аналіз даних і контрольна карта Леві-Дженнінгса

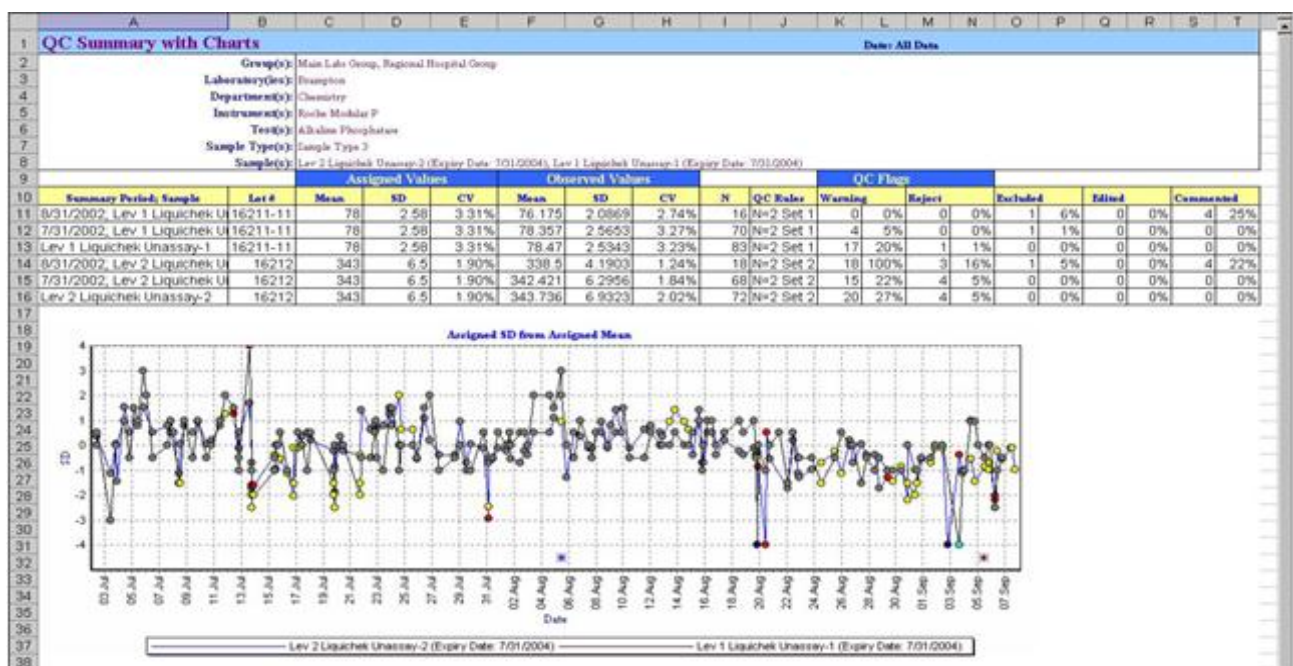


Рис. 3. LAQC-DQC зведений звіт

На рис. 4 наведений детальний звіт модулю LAQC-EQC.

1	DETAILED QUALITY CONTROL DATA				Period: From: Beginning To: Today												
3	Laboratory:	Brampton															
4	Department:	Chemistry															
5	Instrument:	Instrument 1-1															
6	Test:	ALK PHOS															
7																	
8	Flags:																
9		Fg - All OK. TE < TEa. No other flags.															
10		Fr - TE > TEa. Investigate and act as required.															
11		Fo - Monitor very closely. ^SEc < 2.0.															
12		Fy - Check precision. Observed SD > 1.5 * Usual SD.															
13		FI - SD may be invalid. Observed SD calc'd on < 20 points.															
14		Fb - Interlab method SDI > +/- 2.0.															
15		Fv - Interlab group SDI > +/- 2.0.															
16																	
17	Date	Sample type	Sample	Lot #	Bar	Flags	N	Observ. Mean	Target Mean	Bias	SD		TEa	TE	^SEc	Rules	
											Usual	Observed	Assign.				
19	9/30/2002 ST 3		Lev 1 Laqual 16211-1				169	78.21	77.94	0.27	1.80	2.58	2.58	7.79	5.33	1.26	1-2s, 1-3s, 2-2s, 4-1s, 8s, R-4s
20	9/30/2002 ST 3		Lev 2 Laqual 16212				158	342.57	336.89	5.68	8.70	6.56	6.50	33.69	18.54	2.62	1-2s, 1-3s, 2-2s, 4-1s, R-4s
21	8/31/2002 ST 3		Lev 1 Laqual 16211-1				167	77.60	77.94	-0.34	1.80	2.45	2.58	7.79	5.14	1.39	1-2s, 1-3s, 2-2s, 4-1s, 8s, R-4s
22	8/31/2002 ST 3		Lev 2 Laqual 16212				171	347.60	336.89	10.71	8.70	6.70	6.50	33.69	23.84	1.78	1-2s, 1-3s, 2-2s, 4-1s, 8s, R-4s
23	7/31/2002 ST 3		Lev 1 Laqual 16211-1				0		77.94	-77.94	1.80		2.58	7.79	77.94	No Data!	
24	7/31/2002 ST 3		Lev 2 Laqual 16212				0		336.89	-336.89	8.70		6.50	33.69	336.89	No Data!	
25																	

Рис. 4. Детальний звіт модулю LAQC-EQC

Висновок

Запропонована інформаційна технологія контролю та гарантії якості забезпечує процес контролю якості з продуктивністю аналітичної системи, достатньою для задоволення заданих цілей якості. Вона може бути впроваджена в дорожню галузь, що буде сприяти підвищенню якості всіх видів робіт і продукції.

Література

1. The leading IT encyclopedia and learning center. Quality control. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://whatis.techtarget.com/definition/0,,sid9_gci1127382,00.html
2. The leading IT encyclopedia and learning center. Quality assurance. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://searchsoftwarequality.techtarget.com/definition/quality-assurance>
3. Quality Control and Quality Assurance: defining the roles and responsibilities of the contractor's QC and the owner's QA // Alison B. Kaelin, Corporate Quality Assurance Manager KTA-Tator, Inc. Pittsburgh, Pennsylvania, USA. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.scribd.com/doc/16538246/QCQA-ABK>
4. QC/QA: Evaluation of effectiveness in Kentucky. Final Report KTC 08-19/SPR347-07-1F. Kentucky Transportation center. University of Kentucky. Col. of Engineering. 2008 – 122 p.
5. Use of Monte Carlo Simulation to Evaluate the Kansas Department of Transportation's Maintenance Quality Assurance Program // Steven D. Schrock, C. Bryan Young, Deepak Chellamani, University of Kansas, Transportation Research Circular Number E-C135, July 2009, Presentation from the 12th AASHTO-TRB Maintenance Management Conference, p. 3-17.
6. Steel Bridge Fabrication QC/QA Guide Specification. AASHTO/NSBA Steel Bridge Collaboration. 2002 – 35 p.
7. Перепелица В.Л. Лабораторно-информационная система — возможности, решаемые задачи. 2007. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.labware.ru/images/articles/p21.pdf>
8. Горшкова Е.А. Решение на базе лабораторно-информационной технологии LABWARE LIMS - решение для обеспечения компетентности современной лаборатории. 2007. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.labware.ru/images/articles/p17.pdf>

Савенко В.Я., д-р техн. наук, Кияшко Д.И.,

Смоляннюк Р.В., канд. техн. наук

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ОЦЕНКИ РОВНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Аннотация. В работе проанализирован мировой опыт по оценке ровности дорожных покрытий. Рассмотрено прикладное программное обеспечение, а также показатели, по которым можно оценивать продольную ровность дорожных покрытий, и статистически анализировать данные полученные в результате использования профилометрических систем.

Ключевые слова: прикладное программное обеспечение, профилометрические системы, качество езды (*RQ*), международный индекс ровности (*IRI*).

Анотація. У роботі проаналізовано світовий досвід по оцінці рівності дорожніх покриттів. Розглянуто прикладне програмне забезпечення, а також показники, по яких можна оцінювати поздовжню рівність дорожніх покриттів, та статистично аналізувати дані, які отримано у результаті використання профілометричних систем.

Ключові слова: прикладне програмне забезпечення, профілометричні системи, якість їзди (*RQ*), міжнародний індекс рівності (*IRI*).

Abstract. The international experience on estimation of pavement smoothness are analyzed in the given article. The software application and indicators by which you can estimate the longitudinal evenness of pavement surfaces, and statistically analyze the data obtained through the use profiling systems are considered.

Keywords: software application, profiling systems, ride quality (*RQ*), international roughness index (*IRI*).

В мире накоплен огромный опыт по оценке ровности дорожных покрытий. В последнее десятилетие в большинстве стран для оценки ровности дорожных покрытий, получили развитие установки профилометрического типа,

позволяющие записывать микропрофиль дорожного покрытия [1-3]. Однако сами по себе профилометрические системы не способны оценить ровность дорожных покрытий, поэтому наряду с разработкой профилометрических систем разрабатывалось прикладное программное обеспечение под различные показатели, по которым можно оценивать ровность дорожных покрытий.

Развитие программного обеспечения для оценки ровности дорожных покрытий берет свое начало с научно-исследовательского проекта под названием «Анализ данных про дорожные профили», который проводился с 1992 по 1995 годы в Институте Транспортных Исследований Мичиганского Университета (*University Michigan Transportation Research Institute – UMTRI*) [4]. Исследование финансировалось Федеральной администрацией дорог (*Federal Highway Administration – FHWA*). В рамках проекта, была разработана программа *RoadRuf* [5].

RoadRuf (рис. 1) представляет собой инженерное прикладное программное обеспечение, которое позволяет просматривать продольный микропрофиль проезжей части автомобильных дорог и анализировать его, используя различные показатели ровности.



Рис.1. Окно приветствия программы *RoadRuf*

В программный продукт вошли показатели, по которым можно оценивать продольную ровность дорожных покрытий такие как: Международный индекс ровности (*IRI*), индекс езды (*Ride Number – RN*), спектральная плотность дисперсии (*Power Spectral Density – PSD*).

Основное достоинство данной программы заключается в том, что она служила эталоном для разработчиков аналогичного программного обеспечения. Данный программный продукт совершенно бесплатный и до определенного времени его можно было скачать в интернете в открытом доступе. Однако из-за неудобного интерфейса программа *RoadRuf* не получила широкого распространения.

Исходя из этого, для адаптации программного продукта под более широкое практическое применение Федеральной администрацией дорог (FHWA) на основе долгосрочной программы улучшения качества проезжей части (LTPP) была поставлена задача группе Транстек (*The Transtec Group Inc.*) разработать программный продукт более удобный для конечного пользователя.

В 2001 г. [6] разработана программа *ProVAL* (*Profile Viewing and Analysis*) (рис. 2), которая является более приемлемой в процессе использования, а также очень мощной для выполнения подробного анализа дорожного микропрофиля.

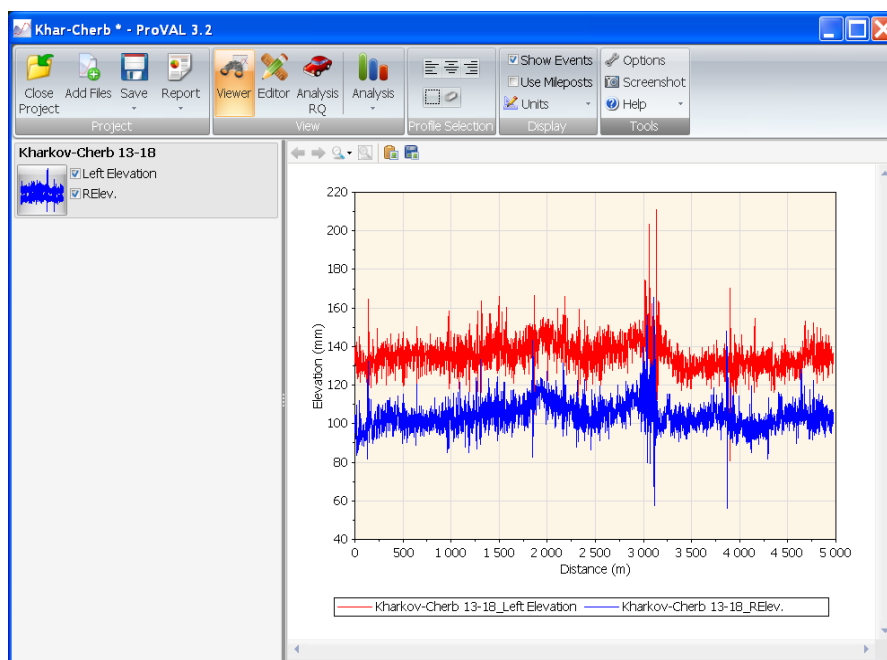


Рис. 2. Окно анализа и обработки профилей программы *ProVAL*

В программный продукт вошли новые показатели, по которым можно оценивать продольную ровность дорожных покрытий, а также модули статического анализа данных полученных в результате использования профилометрических систем [7]:

- автоматизированный анализ швов (*Automated Faulting Measurements – AFM*);

- взаимная - корреляция (*Cross-correlation – CC*),
- точность и смещение (*Precision and bias – PB*);
- модуль сертификации профилометрических систем (*Profiler Certification Module – PCM*);
- моделирование профилографа (*Profilograph Simulation – PS*);
- качество езды (*Ride Quality – RQ*);
- двухопорная рейка (*Rolling Straightedge – RS*);
- модуль обеспечения плавности (*Smoothness Assurance Module – SAM*);
- оптимальное расположение системы измерения массы транспортного средства в движении (*Optimal Weigh-In-Motion Site Locator – OWL*).

Новые функции делают *ProVAL* основным программным продуктом для оценки ровности дорожных покрытий при приемке выполненных дорожно-строительных и ремонтных работ, а также для оценки ровности на стадии эксплуатации. Рассмотрим все показатели по отдельности.

Автоматизированный анализ швов (AFM). Поскольку состояние поперечных деформационных швов на цементобетонных покрытиях существенно влияет на комфортность и плавность хода автомобиля, а также соответственно на общий показатель ровности, был разработан специальный модуль *AFM*. Использование данного модуля позволяет выявить поперечные деформационные швы цементобетонного покрытия, показать их расположение по длине исследуемого участка, выявить величину вертикального смещения плит (уступы, просадки), местное смятие и обрушение поверхности кромок в зоне деформационных швов, разрушение заполнителя швов.

Взаимная-корреляция (CC) является статистическим методом измерения корреляционной связи между двумя случайными микропрофилями дорожного покрытия. Этот показатель используют для оценки повторяемости и точности испытаний.

Для анализа используются два микропрофиля одного участка измерений. Поскольку два измеренных профиля не являются точными копиями друг друга и начальные точки данных в измеряемых профилях не всегда совпадают, была разработана методика взаимной-корреляции. Для определения оптимальной величины смещения второго профиля в соответствии с начальной точкой первого профиля программное обеспечение использует статистические методы анализа данных.

Оптимальное расположение системы измерения массы транспортного средства в движении (OWL). Повреждения наносимые дорожному покрытию транспортными средствами с сверхнормативными нагрузками, представляют собой серьезную угрозу межремонтному сроку службы дорожной одежды и покрытия, поэтому в последнее время во всем мире получила распространение система измерения массы транспортного средства в движении (*Weigh-In-Motion – WIM*). Поскольку на погрешность динамических замеров веса существенно влияет величина ускорения транспортного средства вызванного ровностью дорожного покрытия, для повышения надежности и точности данных систем, в частности для определения оптимального расположения системы измерения массы транспортного средства в движении *WIM* был разработан модуль *OWL*.

Спектральная плотность дисперсии (PSD). Данный показатель характеризует как амплитуды неровностей, так и их распределение по длинам волн. Поскольку микропрофиль проезжей части представляет собой стационарную случайную функцию, он может быть разложен на ряд синусоид с использованием различных методов (таких, как быстрое преобразование Фурье или дискретное преобразование Фурье). При классификации по уровню спектральной плотности принято, что очень малый уровень имеют неровности, при движении по которым колебания автомобиля почти не ощущаются даже на большой скорости, а очень большой уровень спектральной плотности характерен для неровностей, по которым движение автомобиля невозможно даже с малой скоростью [8]. В международной практике для оценки ровности по спектральной плотности дисперсии используют классификацию дорог принятую в международном стандарте ISO 8608:1995 [9].

Точность и смещение (PB).

Данный модуль, основан на положениях, изложенных в стандарте ASTM E 950-98. Его используют с целью определения, к какому классу относится профилометрическая система, и в какой степени она соответствует требованиям, предъявляемым к точности данного оборудования.

Для проведения анализа выбирается эталонный участок автомобильной дороги 321,8 м по длине. На нем выполняется продольное нивелирование с шагом 0,3048 м. Результаты нивелирования принимаются за эталонные. Также при помощи профилометрической системы измеряют 10 профилей эталонного участка. Чем ближе показания профилометра, полученные на этом участке, к результатам нивелирования, тем выше класс точности данной установки. В

результате рассматриваемый модуль предоставляет значения по точности и по смещению и определяет класс профилометрической системы.

Модуль сертификации профилометрических систем (PCM))

Модуль позволяет сравнивать несколько вариаций микропрофилей дорожных покрытий с основным профилем.

В результате программа выводит следующие табличные данные:

- сходимость результатов;
- точность результата измерений;
- статистические данные – сводка по статистике (в том числе: сравнение отсчетов, процент попадания, среднее значение, минимум, максимум, стандартное отклонение, и класс точности).

Моделирование профилографа (PS). В данном модуле, возможно выполнить эмулирование отчетов для профилографов с различной колесной базой и количеством колес (2, 4, 6, 8, 10, 12), полученных путем его движения по микропрофилю дорожных покрытий. На рис. 3 показана модель профилографа типа «Калифорния».

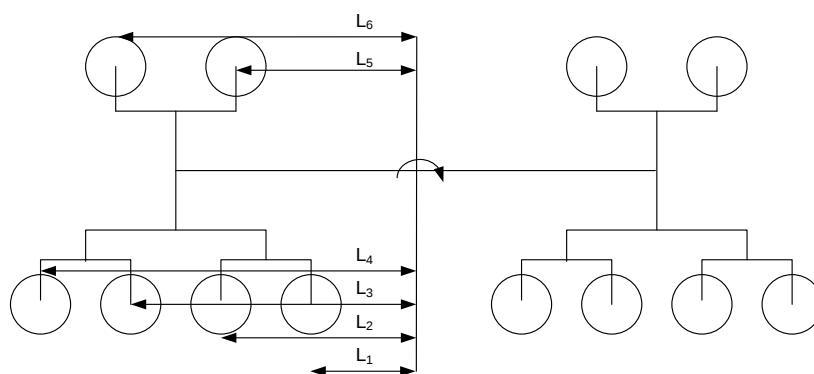


Рис. 3. Модель профилографа типа «Калифорния»

Модуль качества езды (RQ) включает четыре показателя, по которым оценивается продольная ровность: Международный индекс ровности *IRI*, индекс ровности половины автомобиля (*Half-car Roughness Index – HRI*), осредненный индекс ровности (*Mean Roughness Index – MRI*), индекс езды *RN*.

Индекс *IRI* - это расчетный показатель, полученный путем моделирования движения линейной модели четверти автомобиля, которая движется с постоянной скоростью 80 км/ч по поверхности проезжей части участка автомобильной дороги.

Индекс *HRI* определяется путем осреднения ординат микропрофилей полученных для левой и правой полосы наката, по которым в дальнейшем рассчитывается показатель *IRI*. Однако данный показатель не получил широкого распространения т.к. используя его не возможно оценить ровность отдельно для левой и правой полосы наката, поэтому его предпочтительнее использовать для оценки ровности вновь построенных дорог, поскольку микропрофили поверхности покрытия под правым и левым колесом при проезде автомобиля существенно не отличаются.

Индекс *MRI* определяется путем осреднения показателей *IRI* полученных от микропрофилей дорожных покрытий под левым и правым колесом автомобиля. Также как и индекс *HRI* его предпочтительнее использовать для оценки ровности вновь построенных или отремонтированных дорожных покрытий дорог.

Индекс *RN* представляет собой нелинейного преобразования индекса профиля (*Profile Index – PI*). *RN* определяется с использованием привычной для нас шкалой в пять баллов. Значение *RN* равное 5 соответствует совершенно гладкому профилю, а 0 максимально неровному покрытию. Для расчета индекса профиля *PI* используется те же уравнения, как и в методе *IRI*. Тем не менее, меняются параметры модели [10]:

$$\frac{C_1}{m_n} = 390 \text{ с}^{-2}; \frac{C_2}{m_n} = 5120 \text{ с}^{-2}; \frac{B}{m_n} = 17 \text{ с}^{-1}; \frac{m_k}{m_n} = 0,036 \quad (1)$$

где m_n – подрессоренная масса, кг;

m_k – неподрессоренная масса, кг;

C_1 – жесткость подвески, Н/м;

C_2 – жесткость шины, Н/м;

B – коэффициент вязкого трения подвески, Н·с/м.

После моделирования получаем среднеквадратическое значение величины отклонения подрессоренной массы автомобиля от неподрессоренной. Показатель *PI* имеет безразмерные единицы измерения (фут/фут, м/м и др.), и рассчитывается по следующей формуле:

$$PI = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L (z - y)^2 dl}, \quad (2)$$

где z – вертикальные перемещения подрессоренной массы, м;

y – вертикальные перемещения неподдрессоренной массы, м;

l – шаг расчета, м;

L – длина участка дороги, м.

Показатель RN определяется согласно формуле [7]:

$$RN = 5e^{-160(Pb)} \quad (3)$$

Двухопорная рейка (RS)

Модуль эмулирует, отчеты передвижной двухопорной рейки по предварительно полученным данным микропрофиля проезжей части. При помощи его можно определить вертикальное отклонение h (рис. 4) между центром рейки и микропрофилем. Для моделирования задаются основные показатели: порог отклонения (T) и длина рейки (S).

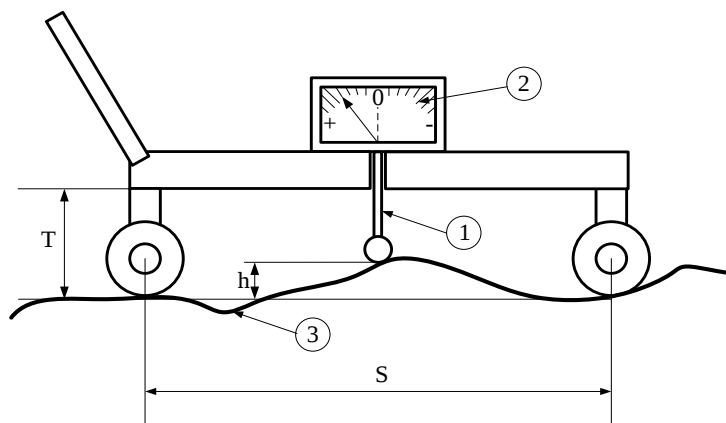


Рис.4. Передвижная двухопорная рейка:

1 – колесо индикатор; 2 – шкала замера неровностей; 3 – микропрофиль дороги

Данный показатель обычно используют для контроля ровности дорожной поверхности после выполнения дорожно-строительных или ремонтных работ.

Модуль обеспечения плавности (SAM). Данный модуль может быть использован для формирования отчетов о состоянии проезжей части дорожных покрытий по ровности, а также для оптимизации стратегии выравнивания поверхности покрытия. С его помощью, возможно, определить места обязательные для выравнивания. Рекомендации могут включать значения по ровности покрытий до и после их выравнивания. Для выравнивания профиля моделируется работа дорожной фрезы колесная база, которой принимается в используемой программе равной 5,48м и 7,62м, либо задается самим пользователем программного обеспечения.

Выводы

Включение большинства из выше перечисленных показателей в практическое использование позволит более рационально использовать финансовые потоки, выделяемые на ремонт и содержание автомобильных дорог, особенно в условиях дефицита денежных средств, а также повысить точность и надежность оценки ровности дорожных покрытий, что положительно повлияет на управление состоянием покрытий всей сети автомобильных дорог.

Литература

1. Речмедин М. «Загадки» ровности. Проблема оценки ровности дорожного покрытия. Часть 1 // Строительная техника и технологии. – 2008. – №5(57). – С. 102 – 115.
2. Кіяшко І.В. Розвиток й удосконалення сучасних технологій оцінки рівності дорожніх покриттів/ Р.В. Смолянчук, І.В.Кіяшко // Автошляховик України. – К. : Держ. автотр. наук.досл. і проектн. ін-т, 2007. – № 5. – С. 39–42.
3. Смолянчук Р.В. Використання системи ЛВС-2-ХНАДУ для оцінки рівності дорожніх покриттів / І.В.Кіяшко, Р.В. Смолянчук // Автошляховик України. – К. : Держ. автотр. наук.досл. і проектн. ін-т, 2009. – № 5. – С. 24–26.
4. Sayers M. W. The little Book of Profiling. Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles / M. W. Sayers, S. M. Karamihas. – Michigan : The University of Michigan Transportation Research Institute, 1998. – 306 p.
5. Рекомендації щодо оцінки рівності дорожніх покриттів у відповідності з міжнародним індексом рівності IRI : PB.2.3.-218-02071168-385-2004. – [Чинний від 2004-01-01). – К.: Укравтодор, 2004. – 31 с.
6. ProVAL Paves the Way to Smoother Roads-November 2006-FHWA-HRT-07-008: Режим доступа : <http://www.fhwa.dot.gov/publications/focus/06nov/01.cfm>
7. ProVAL User's Guide. Austin: Режим доступа : <http://www.roadprofile.com/download/ProVAL-3.2-Users-Guide.pdf>
8. Хачатуров А. А. Динамика системы дорога-шина-автомобиль-водитель [Текст] / А. А. Хачатуров, В. Л. Афанасьев, В. С. Васильев. – М. : Машиностроение, 1976. – 535 с.
9. Вибрация механическая. Профили дорожного покрытия. Представление результатов измерений : ISO 8608:1995. – 29 с.
10. National Cooperative Highway Research Program. Project 1-31. Smoothness Specifications for Pavements. Final Report / K. L. Smith, K. D. Smith, J.H. Woodstrom – Washington : Transportation Research Board, 1997. – 567 p.

УДК 625.731.2

Заіченко В.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НЕОРГАНІЧНИХ ВЯЖУЧИХ НА ФІЗИКО – МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ УКРІПЛЕНИХ ҐРУНТІВ

Анотація. Перспективним шляхом підвищення якості основ та ґрунтів земляного полотна є введення в їх склад добавок, що покращують та стабілізують фізико-механічні властивості та показники довговічності. Однією із таких добавок є Infra Crete[®], яка дозволяє підвищити фізико-механічні показники укріпленого цементом ґрунту. Проведений аналіз показав, що ґрунти стабілізовані цементом + Infra Crete[®], відповідають вимогам, що пред'являються до укріплених ґрунтів за Європейськими вимогами. В роботі наведено можливості отримання жорстких зв'язків ґрунту при укріпленні добавкою цементу + Infra Crete[®] та встановлено оптимальні розміри витрат даної добавки для укріплення ґрунту.

Ключові слова: укріплення ґрунтів, Infra Crete[®], фізико-механічні властивості ґрунтів.

Аннотация. Перспективным путем повышения качества основ и грунтов земляного полотна является введение в их состав добавок, которые улучшают и стабилизируют физико – механические свойства и показатели долговечности. Одной из таких добавок является Infra Crete[®], которая позволяет повысить физико – механические показатели укрепленного цементом грунта. Проведенный анализ показал, что грунты стабилизированные цементом + Infra Crete[®], отвечают требованиям, которые предъявляются к укрепленным грунтам за Европейскими требованиями. В работе приведены возможности получения жестких связей

грунтов при укрєпленнї добавкой цемент + Infra Crete[®] и установленны оптимальные размеры расходов данной добавки для укрєпления грунтов.

Ключевые слова: укрєпление грунтов, Infra Crete[®], физико - механические свойства грунтов.

Annotation. Perspective way to improve the quality of soils and foundations of the subgrade is to put in their composition of additives that improve and stabilize the physical - mechanical properties and durability performance. One of these supplements is Infra Crete[®], which increases physical - mechanical properties of hardened cement ground. The analysis showed that the soil stabilized with cement + Infra Crete[®], meet the requirements that apply to soil stabilization for European requirements. In the robot are given opportunities of hard connection of soil additive for strengthening cement + Infra Crete[®], and the optimal amount of expenditure of the additives to enhance the soil.

Keywords: strengthening of soils, Infra Crete[®], Physical - mechanical properties of soils.

В останні роки спостерігається суттєве збільшення об'єму дорожнього будівництва в Україні, зокрема в складних інженерно-геологічних умовах. Все частіше для будівництва використовуються ділянки, що складаються із так званих слабких ґрунтів – мули, заторфовані ґрунти, просадочні, набрякаючі, засолені ґрунти та ін.

Деякі із вказаних ґрунтів (мули, заторфовані ґрунти) в природному стані мають невисоку несучу здатність і підвищену стискальність. Для інших характерно суттєве погіршення механічних властивостей при певних впливах (наприклад, замочування просадочних ґрунтів, розсолєння засоєених ґрунтів і ін.). Недооцінка цих явищ може привести до значних, часто нерівномірних осадок, а в гіршому випадку до втрати стійкості основи.

Сучасний стан науки, конструкторської та технологічної баз дають широкий вибір заходів стосовно будівництва в складних умовах. Багато з цих заходів виявляються чи не єдиними для вирішення тієї чи іншої задачі [1-2].

Перспективним шляхом підвищення якості основ та ґрунтів земляного полотна є введення в їх склад добавок, що покращують та стабілізують фізико-механічні властивості та показники довговічності.

Однією із таких добавок є Infra Crete[®], яка як відомо за результатами вітчизняних та зарубіжних досліджень дозволяє підвищити фізико-механічні показники укріпленого цементом ґрунту. Проведений співробітниками кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії аналіз показав, що ґрунти стабілізовані цементом + Infra Crete[®], відповідають вимогам, що пред'являються до укріплених ґрунтів за Європейськими вимогами.

Для перевірки можливості підвищення фізико-механічних властивостей ґрунтів укріплених добавкою цемент + Infra Crete[®], відповідно до вимог стандартів України, були поставлені такі завдання.

Завдання досліджень:

- встановлення можливості отримання жорстких зв'язків ґрунту при укріпленні добавкою цементу + Infra Crete[®];
- встановлення оптимальних витрат даної добавки для укріплення ґрунту.

Відбір проб та визначення властивостей вихідних ґрунтів

Для вирішення поставлених завдань, на першому етапі досліджень, були відібрані проби різних ґрунтів для встановлення впливу мінералогічного складу, гумусових речовин та кислотності середовища на властивості укріпленого ґрунту.

Проби ґрунту масою 40-50 кг відбирались в м. Київ, вул. Кіквідзе, транспортувались, зберігались згідно вимог ДСТУ Б В.2.1-8-2001 (ГОСТ 12071-2000) [3].

Результати випробувань, що представлені в табл. 1, показали, що дані ґрунти мають підвищену кислотність та високий вміст органічних речовин. Згідно вимог нормативних документів [4] такі ґрунти придатні до укріплення цементом після нейтралізації їх кислотності вапном або іншими лужними речовинами. Тому, з метою порівняння ефективності застосування досліджуваної добавки цемент + Infra Crete[®], дані ґрунти також укріплювали портландцементом марки М 400 (без додавання вапна).

Методика приготування зразків

З метою отримання порівняльних результатів, готували суміші досліджуваних ґрунтів з добавкою цемент + Infra Crete[®] та з добавкою портландцементу М400. Склад сумішей наведено в таблиці 2.

Орієнтовна кількість добавок призначалась згідно [4]. При приготуванні сумішей ґрунту з цементом + Infra Crete[®] та цементом в повітряно-сухий ґрунт вносили добавки, суміш перемішували та визначали оптимальну вологість та максимальну щільність скелету ґрунту. Результати визначення оптимальної вологості досліджуваних сумішей показали, що вона практично збігається із такою ж вологістю для вихідного ґрунту і відрізняється в сторону збільшення на 1-3 %.

Таблиця 1 – Результати визначення фізичних властивостей ґрунтів

Найменування показника	Ґрунти	
	проба №1	проба №2
Щільність часток ґрунту, г/см ³	2,53	2,57
Щільність скелету ґрунту при стандартному ущільненні, г/см ³	1.90	2.01
Оптимальна вологість ґрунту при стандартному ущільненні, %	12,0	12.05
Гігроскопічна вологість, %	0,19	0,41
Межа текучості, %	26,01	6,97
Межа розкочування (пластичності),%	22,02	5,31
Число пластичності	3,99	1,66
Гранулометричний склад, вміст фракцій, %:		
>2.0 мм	0,18	0,13
2,0 –1,0 мм	0,10	0,65
1,0-0,5 мм	0,62	3.99
0,5-0,25 мм	2.20	35.97
0,25-0,1 мм	12.79	32.71
0,1 – 0,05мм	23.71	9.41
0,05 – 0,01мм	41.30	12.24
0,01-0,005	8.27	408
<0,005мм	0.83	0.82
рН водної витяжки	5	5
Назва ґрунту	клас – природні дисперсні, група - зв'язні, вид – глинисті, різновид – супісок пилуватий	клас – природні дисперсні, група - зв'язні, вид – глинисті, різновид – супісок піщанистий

З сумішей ґрунту з добавками (табл. 2) та оптимальною кількістю води, виготовляли зразки-циліндри. Зразки-циліндри випробовували для визначення: міцності при стиску на 7-у добу після зберігання у вологих умовах та 28-у добу у водонасиченому стані.

Зразки, виготовлені з різних сумішей, зберігали у вологих умовах - поміщали у герметичну шафу над ємністю з водою. Межа міцності при стиску визначалась на зразках після капілярного водонасичення.

Капілярне водонасичення зразків проводились через шар вологого піску (15 см). Зразки насичують протягом 3-х діб.

Таблиця 2 – Варіанти укріплення ґрунтів добавками цементу та цементу + Infra Crete[®]

№ проби	№ суміші	Назва, кількість добавки: Ц, % від маси ґрунту;	Назва, кількість добавки: Infra Crete [®] , % від маси Ц	№ проби	№ суміші	Назва, кількість добавки: Ц, % від маси ґрунту;	Назва, кількість добавки: Infra Crete [®] , % від маси Ц
№ 1 (світлий)	1	5	-	№2 (темний)	1	5	-
	2	9	-		2	9	-
	3	13	-		3	13	-
	4	5	1		4	5	1
	5	9	1		5	9	1
	6	13	1		6	13	1
	7	5	2		7	5	2
	8	9	2		8	9	2
	9	13	2		9	13	2
	10	5	3		10	5	3
	11	9	3		11	9	3
	12	13	3		12	13	3

Методика та результати випробувань

Межа міцності при стиску визначалась на циліндричних зразках за допомогою гідравлічного пресу із швидкість вільного ходу поршня 3 мм/хв. [4].

Межу міцності при стиску обчислювали за формулою

$$R = \frac{P}{F}, \quad (1)$$

де P - руйнівне навантаження;

F – початкова площа основи зразка.

Межа міцності при стиску обчислювалася з точністю до $0,5 \text{ кгс/см}^2$ як середнє арифметичне результатів випробувань трьох зразків. Розбіжність між результатами випробувань окремих зразків не перевищувала 15%.

Результати визначення межі міцності на стиск ґрунтів укріплених добавками наведено на рис. 1-8.

Проведені дослідження різних складів укріплених ґрунтів показали, що добавка до цементу InfraCrete суттєво впливає на показники міцності.

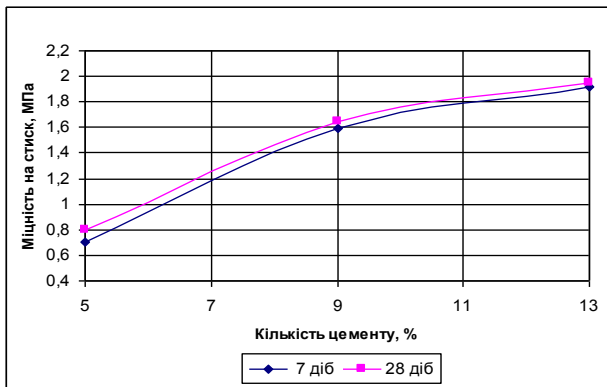


Рис. 1. Залежність межі міцності зразків на стиск від кількості цементу для складів №№ 1, 2, 3 (ґрунт № 1 - супісок пилюватий)

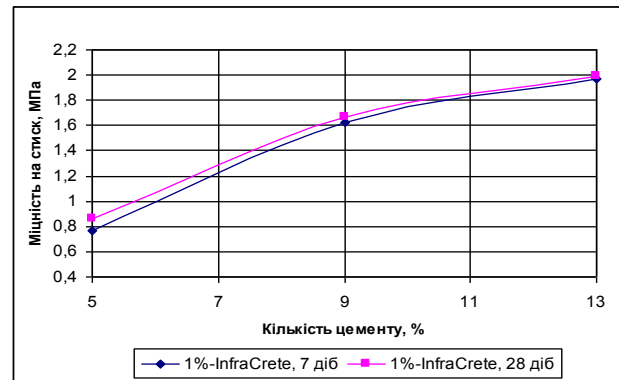


Рис. 2. Залежність межі міцності зразків на стиск від кількості цементу і добавки InfraCrete для складів №№ 4, 5, 6 (ґрунт № 1 - супісок пилюватий)

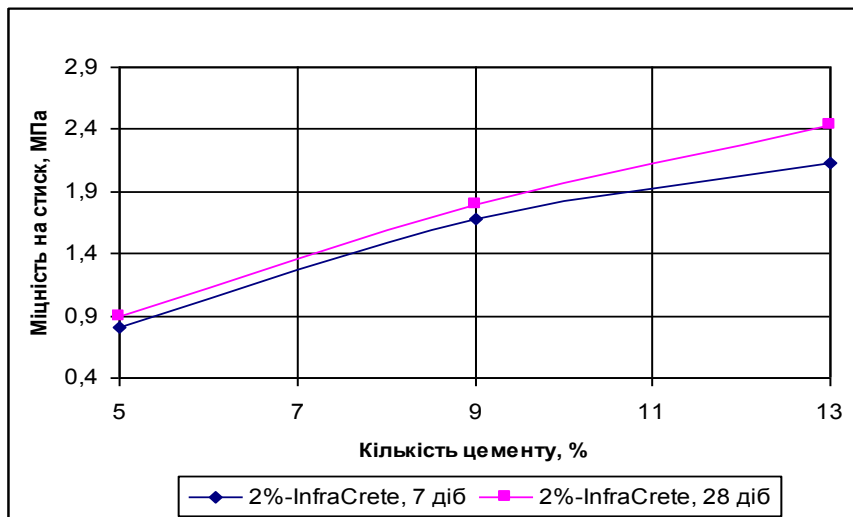


Рис. 3. Залежність межі міцності зразків на стиск від кількості цементу і добавки InfraCrete для складів №№ 7, 8, 9 (ґрунт № 1 - супісок пилюватий)

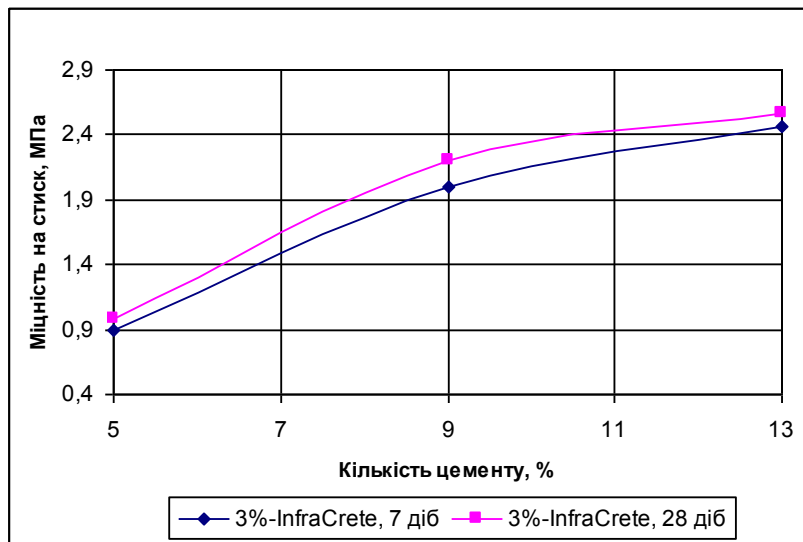


Рис. 4. Залежність межі міцності зразків на стиск від кількості цементу і добавки InfraCrete для складів №№ 10, 11, 12 (грунт № 1 - сугісок пілуватий)

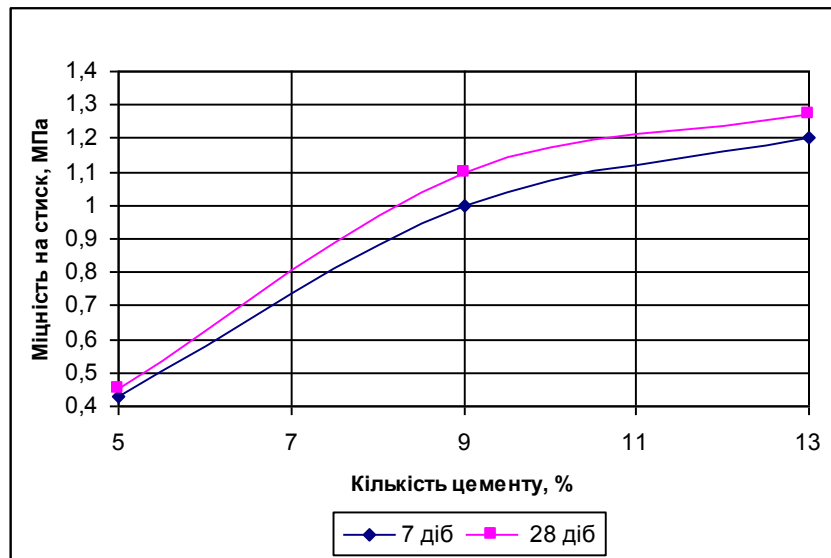


Рис. 5. Залежність межі міцності зразків на стиск від кількості цементу для складів №№ 1, 2, 3 (грунт № 2 - сугісок піщанистий)

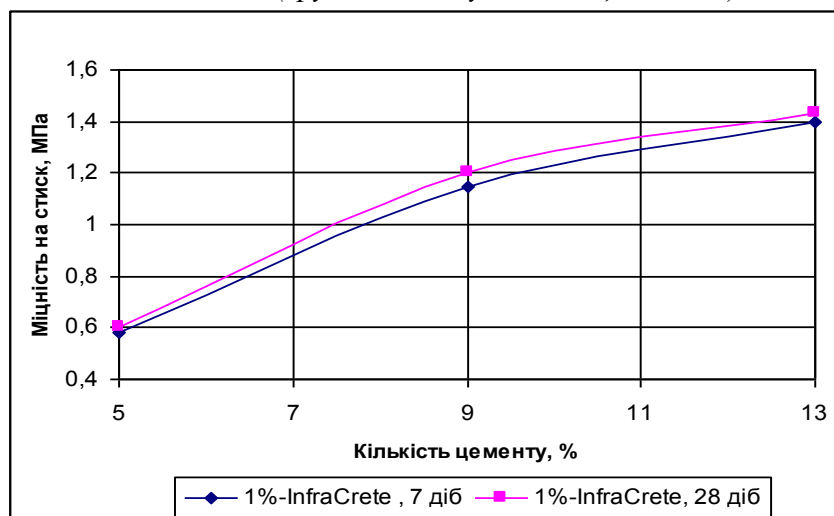


Рис. 6. Залежність межі міцності зразків на стиск від кількості цементу і добавки InfraCrete для складів №№ 4, 5, 6 (грунт № 2 - сугісок піщанистий)

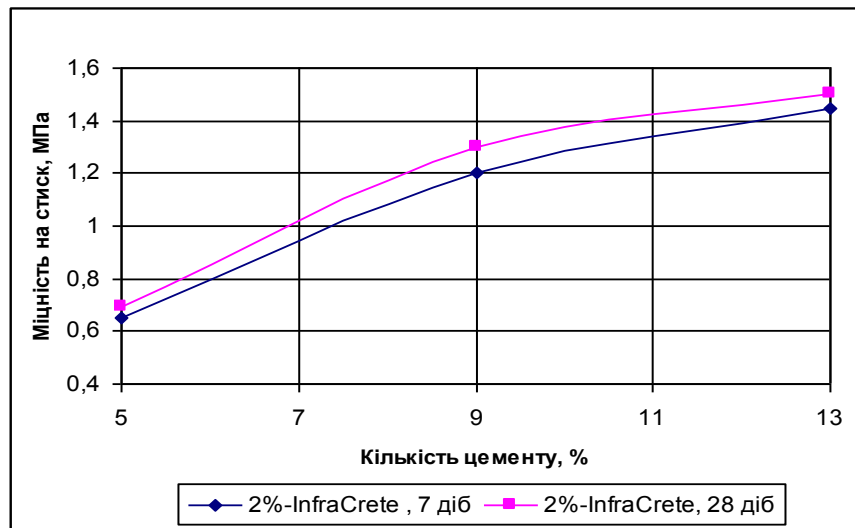


Рис. 7. Залежність межі міцності зразків на стиск від кількості цементу і добавки InfraCrete для складів №№ 7, 8, 9 (грунт № 2 - супісок піщанистий)

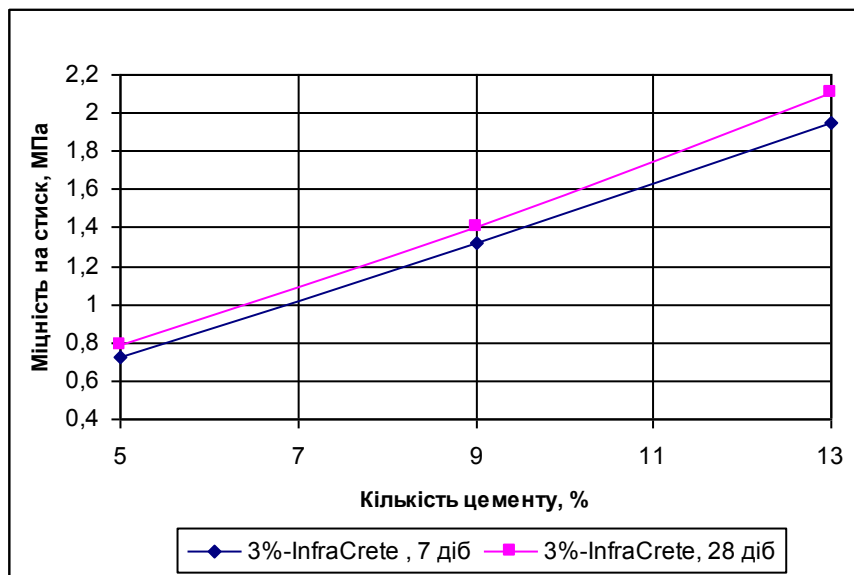


Рис. 8. Залежність межі міцності зразків на стиск від кількості цементу і добавки InfraCrete, для складів №№ 10, 11, 12 (грунт № 2 - супісок піщанистий)

Міцність зразків із укріпленого супіску пилюватого (проба № 1) при використанні добавки до цементу InfraCrete зростає у порівнянні зі складами №1, №2, №3 (грунт + цемент) для складів (із використанням InfraCrete) №4, 5, 6 на 5-10%, для складів №7, 8, 9 на 10-20%, для складів №10, 11, 12 на 20-25%.

Міцність зразків із укріпленого супіску піщанистого (проба № 2) при використанні добавки до цементу InfraCrete зростає у порівнянні зі складами №1, №2, №3 (грунт + цемент) для складів (із використанням InfraCrete) №4, 5, 6 на 5-10%, для складів №7, 8, 9 на 15-35%, для складів №10, 11, 12 на 20-45%.

Висновки

1. Проведені дослідження добавки **InfraCrete®** та виконаний літературний аналіз показали, що ґрунти стабілізовані **InfraCrete®**, відповідають вимогам, що пред'являються до укріплених ґрунтів за як Європейськими вимогами так і за вимогами стандартів України.

2. Зміна показників міцності ґрунтів укріплених добавкою **InfraCrete®** в межах (5-45%) в залежності від кількості добавки та різновиду ґрунту свідчить про можливість активного регулювання його властивостей в конкретних виробничих умовах.

3. Попередні дослідження свідчить про доцільність застосування **InfraCrete®** для виконання будівництва, реконструкції, а також ремонту з метою забезпечення довговічності і економічності споруд, зменшення матеріалоємності та термінів будівництва.

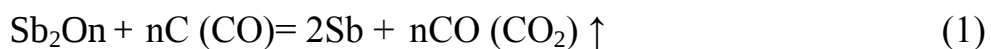
Література

1. ДСТУ Б В.2.1-8-2001 (ГОСТ 12071-2000) . Ґрунти. Відбирання, упакування, транспортування і зберігання зразків. Київ.: 2002. – 16с.
2. ГОСТ 5180-84. Ґрунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: 1986. - 24с.
3. ГОСТ 12536-79. Ґрунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: 1980. - 24с.
4. ВБН В.2.3-218-002-95. Проектування і будівництво основ та покриттів автомобільних доріг із кам'яних матеріалів, промислових відходів і ґрунтів, укріплених цементом. Київ.: 1995.-46 с.
5. ГОСТ 22733-77 . Ґрунты.. Метод лабораторного определения максимальной плотности. М.: 1979. - 10 с.
6. ГОСТ 23740-79. Ґрунты. Методы лабораторного определения содержания органических веществ. М.: 1979. – 21 с.
7. ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95) . Ґрунти. Класифікація. Київ.: 1997. – 42 с.
8. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний. М.: 1989. - 32 с.

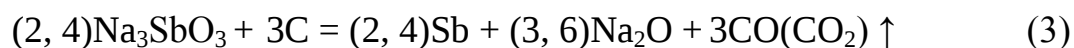
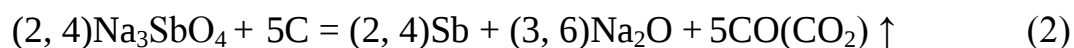
ПРОМИСЛОВІ ВИПРОБУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ПЛАВОК ОКСИДНОЇ ВТОРСИРОВИНИ СУРМ'ЯНОГО ВИРОБНИЦТВА В УМОВНОВІДВАЛЬНИХ ШТЕЙНОВИХ РОЗПЛАВАХ

Мета дослідження. Зростання в загальному балансі сировинної бази сурм'яного виробництва оксидних матеріалів, насамперед за рахунок промпродуктів свинцевих виробництв (Na_3SbO_4 -антимонат натрію, Na_3SbO_3 – антимоніт натрію) і власних у вигляді пилів швидкісних пиловловлювачів (ШПУ), пилів рудно-термічних печей (РТП) і пилів установки киплячого шару (КШ) – (Sb_2O_n ; де $n = 3, 4, 5$), нагромадження в умовновідвальних продуктах великої кількості залізо-сурм'яних штейнів ставить перед виробниками й ученими невідкладне завдання по знаходженню оптимальних технологій по їхній спільній переробці в умовах відновлювальної плавки з метою більш повного вилучення металевої сурми з оксидних промпродуктів і довилучення її з умовновідвальних штейнів. У таблицях 1 і 2 наведено хімічні склади досліджуваних матеріалів.

Хімізм процесу відновлення. По даним ряду авторів [1-6] відновлення оксидів сурми вуглецем, а при недоліку кисню в розплаві при 1100°C оксидом, що утворювався, вуглецю (II), протікає по реакціях, які можна представити в загальному виді (де n ухвалює значення 3, 4, 5):



Попередніми дослідженнями було встановлено, що у відсутності штейнової середовища при температурах до 1000°C вищі оксиди сурми відновлюються вуглецем головним чином до оксиду сурми (III), який потім сублімується. У штейнових же розплавах, при температурах $800-1000^\circ\text{C}$, як показує термодинамічний аналіз і кінетичні дослідження, проведені нами, відновлення оксидів сурми вуглецем протікає практично повністю. Відновлення антимоната й антимоніту натрію при цих умовах можливе по наступних реакціях:



Таблиця 1 – Хімічний склад оксигеновмісних вторинних сурм'яних матеріалів

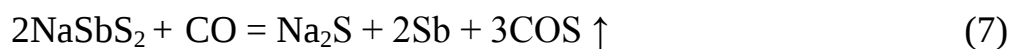
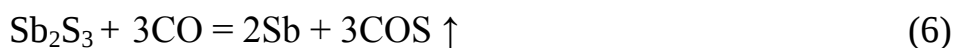
Складові	Вміст Sb, %			
	в антимонаті натрію	у пилю ШПУ	у пилю РТП	у возгонах трубчастої печі
Sb _{заг.}	45,7	54,0	55,0	72,7
Sb ₂ O ₃	-	-	-	3
Sb ₂ O ₄	44,9	-	-	14,7
Sb ₂ O ₅	0,3	-	-	8,6
Sb ₂ S ₃	0,2	-	-	0,1
As	0,70	0,80	0,63	1,53
Pb	0,35	0,70	0,32	-
Sn	0,30	0,13	0,15	-
Cu	0,03	-	-	-
Hg	-	-	0,09	-
SiO ₂	0,60	8,62	3,3	1,9
Fe ₂ O ₃	0,25	3,14	1,28	1,45
Al ₂ O ₃	-	4,8	4,3	-
CaO	1,10	10,55	5,94	0,67
MgO	0,50	2,36	1,12	1,52
Na ₂ O	11,35	5,02	15,11	-
S _{заг.}	0,35	-	-	1,0
Au,	1,6	-	-	-
Ag	14,4	-	-	-
C	-	-	-	3,44
ін.	-	-	-	4,37

Таблиця 2 – Хімічний склад умовновідвальних штейнів РТП

Вміст, %					
Sb	As	Na ₂ O	Fe	SiO ₂	S
2,16 - 4,00	0,23 - 0,38	12,04 - 16,45	30,0 - 45,0	0,57 - 1,56	32,18 - 36,65

Крім того, частина сурми, яка вводиться зі штейном і перебуває, головним чином, у сульфідній формі, як встановлено в даному дослідженні, також відновлюється до металу. Хімізм процесу можна представити наступними реакціями:





Частина ж сульфідної сурми відновлюється по реакції:



тому що в процесі плавки йде часткове відновлення сполук заліза вуглецем до металу, який є осаджувачем сурми з її сульфідних форм. Очевидно, остання реакція має істотне значення. Підтвердженням цьому є наявність заліза в металевій сурмі (див. табл.3).

Методика проведення промислових дослідів. Плавки проводилися в плавильному відділенні Кадамджайського металургійного заводу у відбивній печі із площею поду 8 м², що працює на природному газі. Піч підключена до загальної газоходної системи відбивних печей плавильного відділення. Об'єднані технологічні гази відбивних печей по загальному газоходу надходили на мокре газоочищення ШПУ й електрофільтрами.

Таблиця 3 – Хімічний аналіз чорнової сурми, отриманої у відновлювальних плавках антимонату й пилів ШПУ у штейнових розплавах, і металу, одержуваного за існуючою технологією

Середня проба	Вміст, %						
	Sb	Fe	As	S	Pb	Cu	Sn
Плавки антимонату	94,0	1,75	0,66	0,21	1,02	0,26	0,10
Плавки пилів ШПУ	95,59	1,43	1,39	0,23	0,60	0,15	0,17
Існуюча технологія [7]	90,50	6,40	0,85	0,37	0,65	0,20	0,10

Підготовка шихти. Для балансових плавок використовувався штейн руднотермічної печі (РТП), що попередньо подрібнювався на щековій дробарці до крупності 50-70 мм. У якості відновника використовувалось Кизил-Кійське вугілля. Компоненти шихти (сировина, штейн, вугілля) зважувалися в

контейнері й кран-балкою доставлялися на робочий майданчик печі, розташований з боку завантажувальних вікон. Розвантаження контейнерів з компонентами шихти проводилася на кінці, причому 20-30% штейну від усього, що завантажується в плавку, залишалося на «покришку». Шихта перемішувалася вручну й через бічні вікна завантажувалася в піч. Тривалість ручного завантаження 1 година. Шихта з пилами ШПУ завантажувалася в піч через вільні завантажувальні отвори з контейнерів. Шихта розрівнювалася гребками й покривалася штейном. Попередніми промисловими відновлювальними плавками антимоната натрію були уточнені витратні коефіцієнти штейну й вугілля, що забезпечують одержання відвальних штейнів зі вмістом сурми менш одного відсотка. Такими виявилися: 50-60% штейну від маси сухого антимонату натрію й 60% вугілля. Це співвідношення компонентів використане при готуванні шихти в промислових балансових плавках.

Контроль процесу. Зважування компонентів шихти, відбір проб сировини на вологу й метал, вихідного штейну й штейну після плавки на повний аналіз здійснювалося співробітниками лабораторії НДПЛ комбінату. Відбір проб шлаків, штейну й чорнового металу після кожної плавки, а також їх оброблення проводилися контролерами ВТК комбінату. Проби сировини аналізувалися на вологу заводською лабораторією, а на інші компоненти – центральною хімлабораторією комбінату.

Плавка антимоната натрію у відбивній печі. У промислових плавках використовувався антимонат натрію із вмістом сурми 46,5% і вологістю 14,4%. Склад шихти (кг): 1400 антимонату, 700-800 штейну, 850-800 вугілля. Температура в печі під час плавок підтримувалася в межах 1100-1200⁰С.

Результати промислових випробувань відновлювальних плавок антимоната натрію у штейнових розплавах представлено в таблиці 4.

Вихід штейну, щодо вихідного, збільшився в середньому на 40 % за рахунок натронної складової й силікатної частини антимоната натрію. Хімічний аналіз його показує, що в процесі плавок штейн збіднюється по сурмі на 25% (завантажене в плавку з вихідним штейном 488,2 кг; кількість сурми в штейні після плавки 368,4 кг). Це може бути пояснене переходом основної частини штейнової сурми в чорновий метал. Отже, втрат сурми зі штейном у процесі плавки не відбувається.

Таблиця 4 – Результати промислових досліджень переробки сурм'яних оксидних промпродуктів сировини у штейнових розплавах

№ п/п	Назва дослід- ження	Завантажено, %				Отримано, %					
		Сировина	Штейн		Вугілля	Sb у шлаці	Sb оборот- ному штейні	Вихід Sb у шлаки	Вихід Sb в обор. штейн	Вихід Sb у возгони	Вилучення Sb у чорн.ме.
			Кількість	Sb							
1.	Плавки антимонату	100	50- 60	2,5- 7,2	60	-	1,5- 2,5	-	6,0	5,4	88,6
2.	Плавки пилів ШПУ	100	100	5,0	50	1,0- 2,0	2,0- 3,0	0,4	-	16,1	83,5

Хімічний склад чорнової сурми, отриманої в результаті промислових плавок у зіставленні з аналізами чорнового металу, одержуваного в цей час на КСК ім. Фрунзе за існуючою технологією, наведено в таблиці 3. За вмісту сурми чорновий метал, отриманий за новою технологією, у середньому на 5% вище й цілком відповідає технологічній інструкції заводу по допусках на вміст заліза. Отриманий відносно чистий метал. Низький прямий вихід чорнової сурми в деяких плавках пояснюється тим, що метал не був цілком випущений з печі через незадовільний розділ фаз. Мало місце деяке утворення настилів на подині печі, тому, як показала подальша практика, відновлювальні плавки антимоната натрію необхідно проводити (чергуванням) упереміш із плавками сульфідної сировини, або ж через кожні 8-10 плавок робити двохразове промивання подини відвальним штейном. Цим може бути забезпечений гарний стан подини.

Плавка сурмувмісних пилів у відбивній печі. При відновлювальній плавці пилів ШПУ у штейнових розплавах застосовувалася шихта складу (кг): пил ШПУ – 1200, штейн РТП – 500, вугілля – 500. Вміст сурми у пилах – 68 %, вологи – 23 %. Вміст сурми у вихідному штейні – 2,9%. Температура в печі під час плавки підтримувалася в межах 1200-1300⁰С. Середня тривалість плавки – 5-6 годин.

У таблиці 4 представлені результати промислових випробувань плавки сурмувміщуючих пилів у відбивній печі. Хімічний склад отриманого в плавках металу наведено в таблиці 3. Вміст заліза в сурмі, так само, як і у випадку плавки антимоната, у 5-8 раз менше встановленого технологічною інструкцією металургійного заводу при плавках сульфідно-оксидної сировини.

Штейни вихідний і отриманий після плавки мало відрізняються за складом. Є лише незначні відхилення у бік зменшення процентного вмісту заліза, кремнезему, сірки в кінцевому продукті. Так, якщо у вихідному штейні заліза було 37,1% (середня проба), то після плавки кількість його поменшалася на 4%. Як видно, частина заліза зі штейну пішла на утворення шлаків. Вміст натрію залишився на рівні 12-16%. Цікаво відзначити те, що в окремих плавках штейн збіднюється на сурму від 30 до 50%. Істотним фактом є те, що відвальні шлаки, отримані після відновлювальної плавки пилів ШПУ у штейнових розплавах, різко відрізняються за вмістом шлакоутворювальних компонентів від звичайно прийнятих у сурм'яному виробництві. Так, якщо осаджувальну плавку сульфідних сурм'яних концентратів ведуть із розрахунками на одержання кислих шлаків із вмістом (%): 40-45 кремнезему; 25-30 оксиду заліза (II), 15-20 оксиду натрію й 10-15 інших, тобто зі співвідношенням штейнових продуктів рівним 1:0,61:0,4, то при плавках пилів за новою технологією отримані більш кислі шлаки з іншим співвідношенням компонентів (%): 41-45 кремнезему, 10-13 закиси заліза, 3-5 оксиду натрію. У них відношення SiO_2 до суми основних оксидів у три-чотири рази вище, чим у плавках сульфідної сурм'яної сировини.

Шлаки за своїми складами і фізико-хімічними властивостями принципово відмінні від шлакоутворювальних компонентів, застосовуваних при осаджувальній плавці, і ніде раніше не описані. Це аргументується тим, що дотепер окрема переробка багатих сурмувмісних пилів здійснювалася з орієнтуванням на одержання основних оборотних шлаків із вмістом сурми до 5-20 %. Проведені дослідження дозволили розробити нову технологію відновлювальної плавки сурмувмісних пилів у штейнових розплавах з одержанням бідних кислих шлаків. Такі шлаки, з нашої точки зору, при певному корегуванні можуть стати вихідним матеріалом для одержання синтетичних в'язучих матеріалів (цементів).

Істотна частка в оксидних промпродуктах припадає на пил РТП. Природним було апробувати нову технологію на цьому виді сировини. Із цією метою проведена промислова відновлювальна плавка пилів РТП у штейновому розплаві. Співвідношення компонентів шихти в перерахунку на завантажений метал, температурний режим плавки, час проведення процесу, залишалися такими ж, як і при плавках пилів ШПУ. При цьому отриманий прямий вихід сурми у чорновий метал порядку 90 %, вміст сурми в оборотному штейні за даними хімічного аналізу відповідає 1,64 %.

Висновки

Виходячи з результатів промислових відновлювальних плавок оксидної сурм'яної сировини й експериментальних спостережень за процесом плавок, можна затверджувати, що вдосконалення окремих технологічних засобів, а саме: використання порошкоподібного штейну для приготування однорідної шихти, проведення процесу плавки з обмеженим доступом повітря, застосування постадійних заходів ведення відновлювальних плавок й т.п., дозволить довести прямий вихід сурми у метал до 93 – 98 %, а також утилізувати умовновідвальні залізісті штейни, сприяючи тим самим покращенню екології оточуючого середовища. Крім того, одержувані в процесі плавок шлаки, що можуть перероблятися у додаткову товарну продукцію – синтетичний цемент, позитивно впливатимуть на економіку виробництва в цілому.

Література

1. Сажин Н.П.. Сурьма. М.- Л.: ГНТИ по черн. и цветн. металлургии, 1941. - 152 с.
2. Герасимов Я.И., Крестовников А.Н., Шахов А.С. Химическая термодинамика в цветной металлургии. Т. IV. М.: Металлургия, 1966. – 427 с.
3. Батюк А.Г., Валиулин Р.Г., Лобанов В.А. и др. Исследования в области создания новой технологии получения сурьмы и ее соединений. //В кн.: Химия и технология сурьмы. Фрунзе: Илим, 1965. – С. 107-127.
4. Wang C.J.. Antimony 3th ed. Лондон, 1952. – 121 p.
5. Серебряков В.Н., Батюк А.Г. Термодинамический анализ, кинетика и механизм процесса восстановления трехоксида сурьмы углеродом. //Изв. АН Кирг. ССР, № 3, 1973. – С. 54-56.
6. Серебряков В.Н., Батюк А.Г. Кинетика и механизм углетермического восстановления пятиоксида сурьмы. //Изв. АН Кирг. ССР, № 4, 1973. - С. 50-54.
7. Сурьма. /Под ред. Мельникова С.М. –М.: Металлургия, 1977. - 536 с.

Чистяков В.В., д-р техн. наук, **Шургая А.Г.**, **Дорошенко Ю.М.**, канд.техн.наук, **Чиженко Н.П.**, **Сербін В.П.**, д-р техн. наук, **Дорошенко О.Ю.**, канд.техн.наук

ВПЛИВ КОМПЛЕКСНОЇ ДОБАВКИ НА СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ І ВЛАСТИВОСТІ ЦЕМЕНТОБЕТОНУ ДЛЯ ПОКРИТТЯ ДОРІГ

Сучасні конструкції автомобільних доріг і технології їх будівництва засновані на двох альтернативних, конкуруючих типах дорожнього покриття – асфальтобетоном і цементобетоном. При цьому теорія і практика переконливо показують, що при будь – яких кліматичних умовах, інтенсивності і складі руху цементобетонні покриття є найбільш довговічними.

Фактичний термін служби цементобетонних покриттів в США в середньому 26 років, асфальтобетонних – 16 років, в Німеччині, відповідно - 26 років і 18 років. За кордоном ставиться задача, яку реально можна виконати: забезпечити термін служби цементобетонних покриттів 50 років і більше. Вказані типи покриттів відрізняються по кінетиці руйнування. Інтенсивність руйнування асфальтобетонних покриттів значно збільшується вже після 5 років експлуатації, цементобетонних – після 20 років. Доречно згадати, що мережі автомобільних доріг в США і в Європі створювалися саме на основі цементобетонних покриттів. В Казахстані покриття автомагістралей будують із цементобетону. В розвинутих країнах сьогодні на практиці дотримуються приблизного пріоритету у співвідношенні між цементобетонним і асфальтобетонним покриттям у загальному об'ємі доріг, що будуються, приблизно, 50:50.

В Росії проектний термін служби цементобетонних покриттів складає 20 – 25 років, асфальтобетонних – 16 – 20 років. Для цементобетонних покриттів фактичний термін служби відповідав даним цифрам або і перевищував. В той час фактичний термін служби асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг в Росії складає, по даним РосдорНІІ, 5 – 8 років, по даним Росавтодору – ще менше - 2 роки, Укравтодору 2-3 роки. У зв'язку з цим будівництво доріг з цементобетонним покриттям є актуальним питанням. Вартість будівництва дорожнього одягу з цементобетонним покриттям зазвичай співпадає з асфальтобетонними. Саме завдяки будівництву довговічних цементобетонних

покриттів можливо вирішити проблему, коли кошти виділяються не на будівництво нових, а на ремонт нещодавно збудованих доріг з асфальтобетонним покриттям [1].

Особливістю технологій будівництва цементобетонних покриттів є використання бетоноукладальників з високочастотним вібраторами, що дозволяє використовувати суміші з рухомістю П1 або жорсткістю Ж1. Перевагою таких сумішей є підвищена морозостійкість, менша схильність до розшарування, а також більш інтенсивний набір міцності.

В 60 – х роках при будівництві цементобетонних покриттів, для отримання заданих характеристик бетонних сумішей В/Ц дорожнього бетону складало 0,5 – 0,55 [2]. Для досягнення проектної марки бетону з таким В/Ц необхідна була велика кількість цементу ($550 - 650 \text{ кг/м}^3$), що в сучасних умовах є економічно недоцільним. Зменшити витрати цементу в дорожньому бетоні вдалося за рахунок впровадження пластифікаторів, що зменшують кількість води зачинення. Впровадження пластифікаторів дало можливість зменшити витрати цементу на 5 – 12 %.

На початку 80 – х роках в дорожньому бетоні активно почалось впровадження нових пластифікуючих добавок – суперпластифікаторів. Це дало можливість зменшити кількість цементу до 20 %.

В 90 – х роках з'явилися суперпластифікатори нового покоління (полікарбоксилати, акрилати). Механізм дії полікарбоксилатів базується на тих самих принципах, що і дія пластифікаторів та суперпластифікаторів. Відмінність нових добавок полягає у наявності в структурі полімерних молекул великої кількості бокових ланцюгів, що дозволяє покращити диспергуючу здатність, навіть при невеликій концентрації.

Одним із досягнень останніх років в технології дорожніх бетонів є використання бетонів класу В40. Прикладом цього є реконструкція автомобільної дороги Київ – Ковель та об'їзної дороги міста Житомир, де верхній шар дорожнього одягу збудований з цементного бетону класу В40. До 2004 року для будівництва таких доріг на Україні використовували бетон класу В25. Збільшення класу бетону, що застосовується в якості дорожнього одягу, обумовлено зростанням інтенсивності руху, а також навантаженням на вісь вантажного автомобіля. Отримання дорожніх бетонів класів В40 і вище забезпечується при використанні вітчизняних матеріалів, за рахунок зниження водоцементного відношення (В/Ц) до величини 0,28 – 0,35 і використанні

комплексних хімічних добавок (повітрявтягуючих добавок і суперпластифікаторів).

Метою нашої роботи є дослідження впливу комплексної добавки на цементобетон для покриття доріг, яка була розроблена в лабораторії Мостозагону – 112 в м. Бровари.

Комплексна добавка є модифікованою комплексною добавкою. До її складу входить: суперпластифікатор, гідрофобізатор та аерант. Завдяки направленому підбору компонентів і їх співвідношенню комплексна добавка забезпечує підвищення життєздатності бетонної суміші (240 хвилин), а також суттєве зростання показників міцності, водонепроникливості та морозостійкості бетону. Різниця від комплексної добавки (патент № 42633) полягає у наявності аеранта. Аерант вводиться з метою регулювання кількості залученого повітря. Для верхнього шару дорожнього одягу з цементобетону кількість залученого повітря повинно складати 5...7 % від об'єму [3].

Для дослідження особливостей процесів твердіння цементу і бетону застосовувався метод акустичного резонансу дисперсних структур, розроблений І.Г. Гранковським [4]. Даний метод дозволяє отримати кількісні характеристики зміни пружних властивостей цементно-водної дисперсії (зміна пластичної міцності). Ця характеристика визначається за результатами вимірювань частоти резонансу $\omega_{\text{рез}}$, рис.1. [4]. Амплітуда резонансу дає можливість фіксувати диспергаційні або агрегаційні процеси твердіючої системи [4-7].

Після замішування цементу фіксується суттєве підвищення амплітуди резонансу $A_{\text{рез}}$, що свідчить про диспергацію похідних частинок цементу. Цей процес відбувається на протязі 60 хв.

Надалі в цементній системі фіксуються агрегаційні (конденсаційні) процеси – зменшення $A_{\text{рез}}$. При досягненні мінімального значення $A_{\text{рез}}$ на кривій $\omega_{\text{рез}}$ фіксується різкий спад пружних властивостей. Це обумовлено вивільненням частини ($\approx 15\%$) раніше звільненої гідратними новоутвореннями води [4-6]. Надалі фіксується поступове зростання дисперсності твердіючої системи (крива $A_{\text{рез}}$) з одночасним підвищенням пружності цементно – водної дисперсії (крива $\omega_{\text{рез}}$).

Наведені вище процеси відбуваються до початку тужавлення цементно – водної дисперсії. На цьому етапі формується матриця майбутньої

конденсаційно- кристалізаційної структури – носія міцності цементного каменю і бетону.

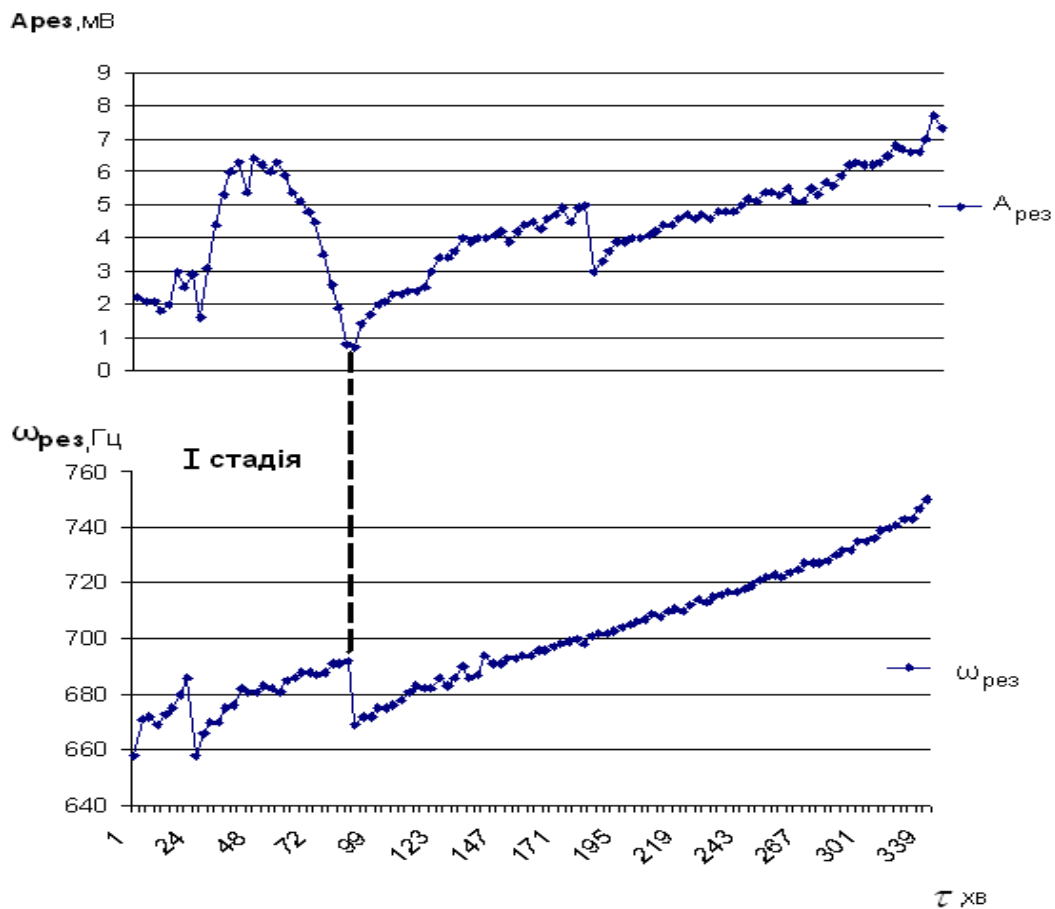


Рис.1 Криві кінетики структуроутворення цементно-водної дисперсії з комплексною добавкою ($B/C=0,216$)

На рис. 2 наведено результати диференційно – термічного аналізу (ДТА) цементного каменю контрольного складу і з комплексною добавкою.

Модифікований комплексною добавкою склад характеризується сповільненням процесів гідратації цементу. Через одну добу кількість зв'язної гідратами води становить 14,8 % (контрольний склад) і 15,6 % (з комплексною добавкою). Через 28 діб, відповідно, 22,6 % і 19,6 %.

Незважаючи на зменшену ступінь гідратації (на 14 %) після 28 діб тверднення, модифікований комплексною добавкою бетон характеризується підвищеною міцністю на стиск (+15-20 %). Слід додатково зазначити, що у модифікованому складі бетону вміст цементу в 1 м^3 бетону на 20 кг менше.

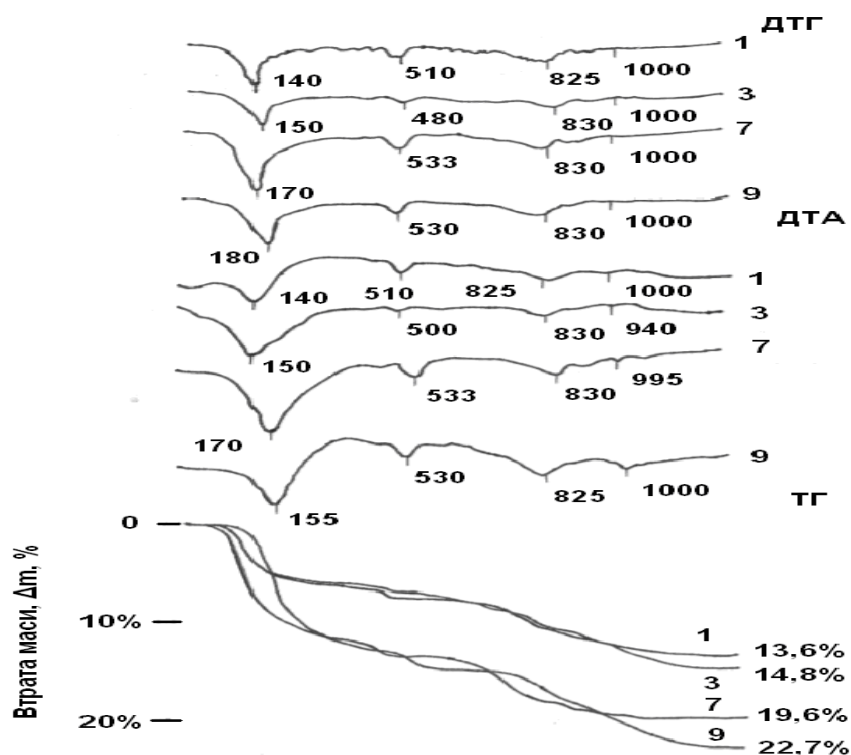


Рис. 2 Криві ДТГ, ДТА, ТГ цементного каменю. Контрольний склад (1,3), склад №2 з добавкою (7,9). 1 доба (1,2), 28 діб (7,9)

Вплив запропонованої комплексної добавки визначався на сумішах з однаковою осадкою конусу 3 - 4 см. В усіх бетонних сумішах використовували щебінь Малинського кар'єру, дніпровський пісок із модулем крупності 1,41 та цемент Балаклеївського заводу марки ПЦ - I - 500 Н. Зразки цементобетону (10*10*10) тверділи в нормальних умовах.

З отриманих даних (табл. 1) видно, що при оптимальній витраті цементу - 350 кг/м³ і даної комплексної добавки - 1,0 % від маси цементу, при заощадженні цементу ≈ 20 кг/м³, можливо отримати цементний бетон для покриття доріг класу В35 - В45. Слід зауважити, що дані результати отримані при осадці конусу 3 - 4 см. При зменшенні осадки конусу від 4 до 1 см, марка бетону збільшиться ще на 5-10 %, а при зміні співвідношення щебінь/пісок - міцність збільшиться на 8 - 12 %. Дослідження по визначенні морозостійкості по прискореному методу [8], що проведені у ДерждорНДІ ім.Шульгіна під керівництвом к.т.н. Харченко С.З., показали марку F300.

Марка цементобетону з даною комплексною добавкою по водонепроникливості, яка визначалася згідно [9], відповідала W12.

Дана комплексна добавка є універсальною, її можна застосовувати як в дорожньому, в мостовому і промислово-цивільному будівництві.

Таблиця 1 – Склад сумішей та результати випробовувань

№ складу ц/б	Ц, кг/м ³	П, кг/м ³	Ш ₅₋₁₀ , кг/м ³	Ш ₁₀₋₂₀ , кг/м ³	В, л/м ³	Добавка від маси цементу	В/Ц	Кількість повітря, % (через 30 хв.)	Міцність при стиску, МПа через діб	
									7	28
1	350	741	343	801	165	-	0,471		34,3	45,1
2	325	598	541	816	146	0,9	0,432	4,36	38,54	46,41
	350	586	541	816	143		0,393	4,75	44,07	50,32
	375	578	541	816	138		0,354	5,00	44,62	53,28
3	325	598	541	816	141	1,0	0,417	5,15	40,84	46,76
	350	586	541	816	138		0,380	5,64	44,92	51,37
	375	560	541	816	133		0,342	6,00	47,96	55,19
4	325	608	541	816	137	1,1	0,404	5,47	42,37	50,57
	350	610	541	816	133		0,366	5,91	44,72	51,62
	375	603	541	816	128		0,328	6,54	45,95	53,39

Література

1. Шейнин А.М., Эккель С.В. Зеленый свет цементобетонным покрытиям //Автомобильные дороги. – 2010 - № 2. С. 42 – 44.
2. Иванов Ф.М.. Цементный бетон.- М.: Автотрансиздат, 1957. – 32 с.
3. ВБН В.2.3. – 218 – 008 – 97. Проектування і будівництво жорстких та с жорсткими прошарками дорожніх одягів. – К.: - Укравтодор. – 1998. – 218 с.
4. Гранковский И.Г. Структурообразование в минеральных вяжущих системах.- Киев: Наукова думка, 1984, 299 с.
5. Чистяков В.В., Дорошенко Ю.М., Гранковский И.Г. Интенсификация твердения бетона.- Киев: Будівельник, 1988. – 118 с.
6. Гранковский И.Г., Чистяков В.В. Особенности гидратации и структурообразования портландцемента на ранних стадиях. // Журн. прикл. химии, - 1991. – Т. 54 № 1, с.15-20.
7. Чистяков В.В., Гранковский И.Г., Гоц В.Н.Формирование структуры твердения шлакощелочного вяжущего. // Журн. прикл. химии. – 1986. - Т. 59 № 3, с. 590-595.
8. ГОСТ 10060-95 Бетоны. Методы определения морозостойкости.
9. ГОСТ 12730.5-84 Бетоны. Методы определения водонепроницаемости.

УДК:625.76:338.2

Діденко В.В.

МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ПРОЕКТІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. Стаття присвячена методу оптимізації життєвого циклу автомобільних доріг, імітаційному моделюванню. В ній описано деякі показники, які потрібно визначити для подальшої роботи з моделями LCCA.

Ключові слова: життєвий цикл, аналіз, імітаційне моделювання, фаза, витрати, метод, системний час.

Аннотация. Статья посвящена методу оптимизации жизненного цикла автомобильных дорог, имитационному моделированию. В ней описаны некоторые показатели, которые необходимо определить для дальнейшей работы с LCCA.

Annotation. The article is about the method of optimizing the life cycle of roads, simulation modeling. It describes some of the indicators to be identified for further work with the LCCA.

Постановка проблеми. Ціллю оптимізації життєвого циклу є знаходження варіанту проекту, що дозволить досягти оптимальних, визначених проектом результатів. Через стохастичну природу деяких величин, оптимізація з використанням детермінованих методів часто не досить адекватна реальним умовам.

Модель оптимізації життєвого циклу може бути створена з використанням алгоритмів імітаційного моделювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми аналізу вартості життєвого циклу (Life Cycle Cost Analysis, LCCA) розкриті в таких роботах: Life-Cycle Cost Analysis Procedures Manual, Life-Cycle Cost Analysis Primer, Life Cycle Assessment of Pavements: A Critical Review of Existing Literature and Research, Evaluation of Life-Cycle Cost Analysis Practices Used by the Michigan Department of Transportation такими організаціями та авторами: Департаментом транспорту Каліфорнії, Федеральним управлінням автомобільних доріг США, by Nicholas Santero, Eric Masanet, Arpad Horvath, Arthur Chan, Gregory Keoleian, Eric Gabler та іншими.

Постановка завдання. З'ясувати можливість використання імітаційного моделювання для оптимізації життєвого циклу та визначитись з методом моделювання витрат життєвого циклу.

Виклад основного матеріалу.

Аналіз витрат життєвого циклу (LCCA) – це аналітичний метод, який використовує економічні принципи в цілях оцінки довгострокових альтернативних варіантів інвестицій [1].

Взагалі, життєвий цикл проекту – це час від моменту його задуму до моменту ліквідації. Його розбивають на фази [2]:

1. Концептуальна фаза;
2. Фаза розробки;
3. Фаза виконання проекту;
4. Фаза завершення проекту;
5. Експлуатаційна фаза;
6. Ліквідаційна фаза (для доріг – це фаза реконструкції).

Фаза експлуатації дороги включає в себе утримання, поточний і капітальний ремонт. Ця фаза досить об'ємна, отже потребує ретельного дослідження.

LCCA пояснює витрати майбутнього періоду (протягом існування варіанту проекту) для організації-замовника, власника.

Витрати майбутнього періоду включають в себе такі статі витрат:

- початкове будівництво;
- утримання;

- ремонти;
- витрати користування.

Рівняння для дисконтування майбутніх витрат ПВ (поточна вартість) [3]:

$$PV = F \frac{1}{(1+i)^n}, \quad (1)$$

де F = майбутні витрати на кінець n^{ix} років

i = відсоткова ставка

n = кількість років

Наслідки витрат життєвого циклу проекту в повній мірі беруться до уваги при прийнятті рішень щодо проектних рівнів для дорожніх покриттів. Визначення найбільш придатного варіанту для проекту виконується шляхом порівняння різних витрат:

- типів покриття (нежорстке, жорстке або змішане);
- стратегій ремонту;
- розрахункових строків служби покриття (наприклад, 5 або 10 років, 10 або 20 років і т.д.);
- стратегій виконання.

В США був розроблений метод для оцінки економічної ефективності варіантів проектів автомобільних доріг[2].

Існує два різних методи для обчислення витрат життєвого циклу: детермінований та ймовірнісний. Методи відрізняються за способом, яким вони досліджують мінливість та невизначеність, пов'язаних з вхідними параметрами LCCA, такими як вартість діяльності (функціональні затрати), вибір часу діяльності (заходів) та відсоткова ставка.

Детермінований метод – це методика, в якій кожній вхідній змінній присвоюється стале, дискретне значення, зазвичай засноване на статистичних даних та на рішенні людини, що виконує аналіз. Результати детермінованого аналізу можуть бути покращені за допомогою використання методу, що називається аналізом чутливості [3].

Ймовірнісний метод пояснює невизначеність та мінливість, пов'язані з вхідними значеннями. Він дозволяє одночасне обчислення різних припущень для багатьох змінних через визначення мінливих вхідних змінних з розподілу ймовірностей можливих значень.

Для реалізації розрахунків LCCA необхідно визначитись з рядом величин, необхідно визначитись з варіантами проектних рішень, а також дотримуватись таких положень:

- порівняти варіанти дорожнього одягу з різними розрахунковими строками служби (але принаймні два варіанти повинні мати однаковий тип матеріалу покриття);
- визначити тип покриття дорожнього одягу (нежорстке, жорстке або змішане);
- варіанти, що оцінюються повинні забезпечувати еквівалентні удосконалення або вигоди (наприклад, порівняння нового будівництва нежорстких або жорстких варіантів покриття можливе, тому що варіанти пропонують еквівалентні удосконалення).

Деякі показники, які потрібно розрахувати для подальшого оцінювання:

- ✓ Вартість одиниці часу для легкових автомобілів;
- ✓ Вартість одиниці часу для окремої частини вантажівок;
- ✓ Вартість одиниці часу для автопоїздів;
- ✓ Період аналізу (років);
- ✓ Початок періоду аналізу;
- ✓ Відсоткова ставка дисконту (%);
- ✓ Середньорічна добова інтенсивність руху (сумарна в обох напрямках);
- ✓ Щорічні темпи зростання інтенсивності руху (%);
- ✓ Дозволена швидкість за звичайних умов експлуатації;
- ✓ Кількість смуг в кожному напрямку;
- ✓ Доступна пропускна спроможність;
- ✓ тощо.

Будівництво і реконструкція дороги є інвестиційними проектами. Існують різні методи аналізу інвестиційних проектів, з яких можна виділити для подальшого розгляду стосовно даної теми такі:

- аналіз чутливості;
- метод Монте-Карло (імітаційне моделювання).

Аналіз чутливості добре ілюструє вплив окремих вхідних факторів на кінцевий результат проекту. Головним недоліком цього методу є припущення, що зміна одного фактору розглядається ізольовано, тоді як на практиці багато факторів, що аналізуються у тій чи іншій мірі залежать один від одного [4].

Імітаційне моделювання дозволяє максимально наблизити модель до реальної ситуації. Кроки імітаційного моделювання:

1. Визначити основні параметри, які є ключовими для системи, що буде імітуватися. Встановити взаємозв'язок між вхідними та вихідними показниками у вигляді математичних рівнянь;
2. Оцінити закони розподілу ймовірностей для ключових параметрів моделі;
3. Провести комп'ютерну імітацію;
4. Оцінити характеристики розподілу вихідних показників;
5. Провести аналіз отриманих результатів та прийняти рішення. На цьому етапі використовується статистичний аналіз, що дозволяє в повній мірі проаналізувати отримані результати.

На основі проведеного аналізу потрібно побудувати прогноз параметрів та розвиток процесу [5].

В загальному вигляді математична структура моделі така [6]:

$$E = f(x_i; y_i), \quad (2)$$

де E – результат дії системи;

x_i – змінні і параметри, якими ми можемо керувати;

y_i – змінні і параметри, якими ми не можемо керувати;

f – функціональна залежність між x_i та y_i , яка визначає величину E .

Детермінований метод для обчислення витрат життєвого циклу, навіть з використанням аналізу чутливості, має ряд недоліків. Ряд факторів, що впливають на дорогу в процесі експлуатації мають мінливий характер. Немає чіткого способу чи методу для визначення такого виду величин. Наприклад, приріст інтенсивності руху кожного року змінюється, розгляд цього параметру як сталої величини дає хибні припущення та розрахунки. Одним із варіантів знаходження оптимального рішення в такій ситуації є використання імітаційного моделювання, яке надасть найбільш наближені до дійсності результати, програючи за короткий проміжок часу багато варіантів розвитку.

Виявляється доцільним використовувати механізм системного часу для імітаційного моделювання витрат життєвого циклу. Модель з механізмом системного часу Δt (в нашому випадку – модель з фіксованим кроком, див.

рисунок 1), тобто період експлуатації автомобільної дороги розділяється на рівні проміжки часу (1 рік).

Експлуатаційний стан дороги (S_1 - S_5) визначається на початок і кінець року. Усереднені значення експлуатаційних показників приймаються для розрахунку витрат на перевезення пасажирів і вантажів, які потім накопичуються за весь період експлуатації.

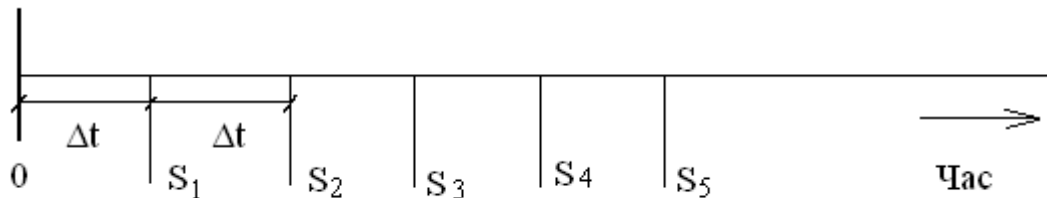


Рис. 1. Модель системного часу з фіксованим кроком

Стан експлуатаційних показників на кінець кожного з років залежить від зміни середньорічної середньодобової інтенсивності руху, тому потрібно для кожного періоду Δt визначати випадковим чином коефіцієнт приросту інтенсивності руху на основі оцінки закону його розподілення як випадкової величини. Інформацію для такої оцінки можна отримати з автоматичних датчиків обліку руху, які встановлені в Україні і працюють більше 10 років.

Висновки

Імітаційне моделювання є прогресивним методом для оцінки життєвого циклу доріг, його використання надасть можливість шляхом імітації реальних умов більш точно знайти ймовірнісні параметри вартості проекту.

Література

1. Life-Cycle Cost Analysis Procedures Manual. Department of Transportation, State of California, November 2007. – 134 p.
2. Діденко В.В. Життєвий цикл автомобільної дороги в управлінні проектами / В.В. Діденко // Вісник НТУ. – Київ, 2010. - № 21. – с. 23 – 27.
3. Life-Cycle Cost Analysis Primer. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration Office of Asset Management, August 2002. – 25 p.
4. Дмитриев М.Н., Кошечкин С.А. Количественный анализ риска инвестиционных проектов. On site: <http://bre.ru/risk/5615.html>.
5. Яцкив И. В., Юршевич Е. А. Применение имитационного моделирования для оценки рисков инвестиционных проектов. On site: <http://www.gpss.ru/immod'03/077.html>
6. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / под. ред. Е.К. Масловского. - М.: МИР, 1978.

Канін О.П., канд.техн.наук, Шпиг А.Ю.

МОДЕЛЬ ОБҐРУНТУВАННЯ РІВНЯ ВТРУЧАННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ДОРІГ

Анотація. Розроблено імітаційну модель обґрунтування рівня втручання – рейтингу стану елементу дороги, при якому найбільш вигідно виконувати ремонтні роботи.

Ключові слова: державно-приватне партнерство, рівень втручання, експлуатаційний стан, рівень обслуговування.

Аннотация. Разработана имитационная модель обоснования уровня вмешательства – рейтинга состояния элемента дороги, при котором наиболее выгодно выполнять ремонтные работы.

Annotation. Imitating model was developed about level foundation of the interference in such rating of the condition of road element, which is the most useful for the fulfilling of repairing work.

Постановка проблеми. Важливою проблемою в експлуатації автомобільних доріг є обґрунтування об'ємів та моменту часу виконання робіт з ремонту та утримання доріг, які забезпечують мінімальні витрати. Особливо актуальною ця проблема стає в умовах здійснення засад державно-приватного партнерства в дорожній галузі. Для визначення об'ємів робіт потрібно обґрунтувати оптимальний рівень втручання в стан елементів дороги та відповідний рівень утримання елементів доріг.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні два десятиліття в світі широко використовується механізм державно-приватного партнерства (ДПП) для розвитку суспільно важливих галузей економіки. Відповідно до “Зеленої книги про державно-приватне партнерство”, прийнятої в рамках Євросоюзу, ДПП відноситься до форм співпраці між органами державної влади та сферою бізнесу, які прагнуть гарантувати фінансування, будівництво, реконструкцію, управління та обслуговування інфраструктури або надання послуг [1].

Сьогодні в умовах бюджетного дефіциту дорожній галузі України слід звернути увагу на таку широко застосовувану за кордоном форму ДПП, як контракти за показниками якості виконуваних робіт (КПЯ). КПЯ – це тип контракту, в якому оплата робіт по управлінню та утриманню дорожньої інфраструктури залежить від виконання або перевиконання підрядником чітко поставлених мінімальних вимог по якісним показникам. КПЯ відрізняються від традиційних контрактів тим, що значна кількість ризиків і обов’язків, які раніше несла державна дорожня організація, тепер покладені на підрядника. Вперше КПЯ на дорожнє обслуговування був випробуваний у Британській Колумбії, Канада, в 1988 році [2]. На сьогодні за допомогою КПЯ по всьому світу (наприклад, США, Австралія, Нова Зеландія, Латинська Америка) підтримується у належному стані значна кількість автомобільних доріг.

Український досвід у сфері ДПП практично відсутній, хоча законодавча та нормативно-правова база України [3], в цілому, дозволяє формувати різні типи державно-приватних партнерств. Найбільш поширеними в Україні формами ДПП є контракти на надання послуг, лізинг (оренда), концесія [4].

До складу таких контрактів включаються якісні показники, підтримка яких в межах допустимих значень впливає на транспортно-експлуатаційний стан автомобільних доріг.

Постановка завдання. Потрібно розробити модель оптимізації рівня втручання при плануванні ремонтних заходів на основі показників експлуатаційного стану елементу дороги.

Виклад основного матеріалу. Будь-який елемент дороги після введення в експлуатацію поступово деградує. З іншого боку, завдяки проведенню ремонтних заходів – стан його відновлюється (рис.1). Відповідно до інструкції [5] кожен елемент дороги протягом життєвого циклу перебуває послідовно в одному з п’яти експлуатаційних станів:

1. S_1 – відповідає першому експлуатаційному стану і має назву “відмінний” та знаходиться в межах від 100 до 80 балів. У цьому стані елементи перебувають або після введення дороги в експлуатацію, або після ремонту;
2. S_2 – відповідно, другий експлуатаційний стан (“добрий”) з границями рейтингу стану в межах від 80 до 60 балів;
3. S_3 – “задовільний” експлуатаційний стан з границями рейтингу стану в межах від 60 до 40 балів;

4. S_4 – “поганий” експлуатаційний стан, рейтинг якого знаходиться в межах від 40 до 20 балів;
5. S_5 – “аварійний” експлуатаційний стан, границі рейтингу якого знаходяться в межах від 20 до 0 балів. У цьому стані автомобільна дорога потребує проведення капітального ремонту або реконструкції.

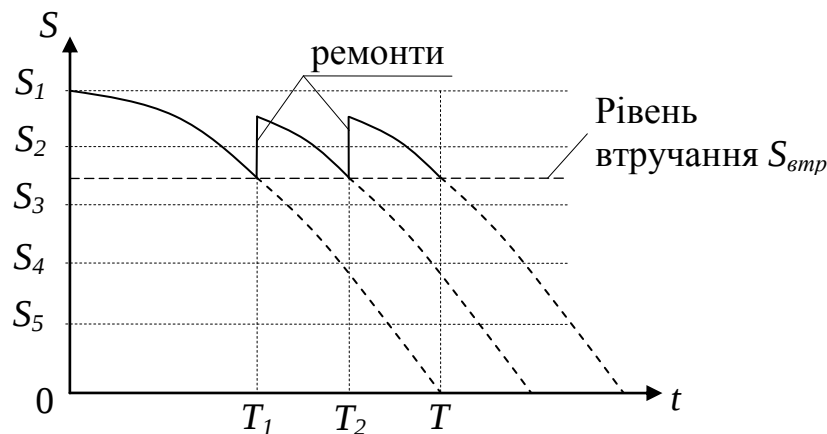


Рис. 1. Зниження якісних показників елементу протягом життєвого циклу автомобільної дороги

Кожен з цих експлуатаційних станів відповідає певному рівню обслуговування автомобільних доріг. На рівень обслуговування впливає рівень втручання – такий розмір пошкодження, при якому необхідно виконувати певні ремонтно-відновлювальні заходи. Проте, значення рівня втручання, тобто конкретний експлуатаційний стан дороги S_i ($i = 1, 2 \dots 5$), та відповідно цьому значенню час проведення ремонту T_i ($i = 1, 2 \dots n$) є випадковими. Вони залежать від конкретних умов експлуатації елементу дороги.

В основу розробки моделі вибору оптимального часу проведення ремонтних заходів можна покласти такі теоретичні передумови: процес деградації стану елементу дороги є стохастичним, тобто час перебування в певному експлуатаційному стані є випадковою величиною і залежить від випадкових змін інтенсивності руху, впливу зовнішнього середовища, внутрішніх змін. Розробка аналітичної стохастичної моделі для подібних стохастичних процесів можлива лише при дуже малих перехідних ймовірностях. В цьому випадку краще використати імітаційне моделювання – метод дослідження, при якому система, яку вивчають, замінюється моделлю, що описує реальну систему, і з

нею проводяться експерименти з метою отримання інформації про цю систему [6].

Для побудови загальної моделі припускається, що:

1. Розглядувані елементи автомобільної дороги мають однакову вихідну вартість.
2. Вигин кривої деградації для кожного елемента буде різним, але всі вони будуть вигнуті догори.
3. Для порівняння застосовується економічний критерій – величина дорожньо-транспортних витрат:

$$A = D + T \quad (1)$$

Виходячи з цього можна сказати, що потрібно знайти кількість ремонтів протягом терміну T та час їх проведення. Тобто, потрібно знайти таку стратегію, при якій:

$$0 \leq T_i \leq T, (i=1, 2, \dots, n)$$

при умові

$$T_{i+1} \geq T_i$$

щоб

$$E = \sum_{i=1}^n E_i \rightarrow \min \quad (2)$$

Дану модель можливо використовувати для будь-якого елемента автомобільної дороги. Наприклад, для водопропускних труб вартість витрат буде розраховуватися за такою ж самою формулою, але без врахування транспортних витрат:

$$E = D \quad (3)$$

У якості методу оптимізації можна використати послідовний перебір значень рівня втручання з підрахунком для кожного значення величини

критерію (2) або (3) за допомогою імітаційної моделі з наступним вибором такого рівня, який дає мінімальну величину критерію. Імітаційна модель повинна спиратись на оцінку закону розподілу часу, за який крива деградації стану елементу дороги досягне певного рівня. Така оцінка може бути отримана шляхом накопичення даних спостережень змін рейтингу стану елементу за допомогою системи моніторингу стану доріг [5]. Для моделювання випадкового характеру деградації стану елементу дороги застосовується метод Монте-Карло.

Висновок

Перебування деякого елемента автомобільної дороги в межах певного рівня обслуговування залежить від рівня втручання. Для оптимізації рівня втручання доцільніше застосовувати імітаційне моделювання.

Література

1. Green paper on public-private partnerships and community law on public contracts and concessions // Commission of the European communities. – Brussels, 2004. – 22 p.
2. Наталья Станкевич, Наваид Кюреши и Цезарь Кейроз. Содержание и улучшение дорожной инфраструктуры с помощью контрактов, основанных на показателях качества работ. // Транспортный бюллетень TN-27. – Всемирный банк, Вашингтон, США. – 2005. – 14 с.
3. Закон України “Про загальні засади державно-приватного партнерства” // ВВР. – 2010. - № 40. – С. 524.
4. Винницький Б., Лендшел М., Онищук Б., Сегварі П. Досвід та перспективи впровадження державно-приватних партнерств в Україні та за кордоном. – К.: «K.I.C.», 2008. – 146 с.
5. Інструкція по визначенню рівнів експлуатаційного стану автомобільних доріг державного значення та їх елементів. ІН В.3.1-218-336:2010 // Укравтодор. – 48с.
6. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций, 7-е издание. Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. - 912 с.

Кунда Н.Т., канд.техн.наук, Лебідь В.В.

ЗАСТОСУВАННЯ ФУНКЦІЇ ХАРІНГТОНА ПРИ ОБҐРУНТУВАННІ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ

Анотація. Розглядається питання оцінювання якості функціонування міжнародних транспортних коридорів. Проблема полягає в тому, що критерії оцінки представляють собою як кількісні, так і якісні показники. Пропонується застосувати узагальнену функцію Харінгтона, за допомогою якої можна звести якісні критерії до кількісного виразу. Комплексний аналіз нормованих критеріїв дозволяє визначити інтегральний показник якості транспортної послуги.

Ключові слова: міжнародний транспортний коридор (МТК), транспортна послуга, якість транспортного обслуговування, функція бажаності.

Аннотация. Рассматривается вопрос оценивания качества функционирования международных транспортных коридоров. Проблема состоит в том, что критерии оценки представляют собой как количественные, так и качественные показатели. Предлагается применить функцию Харингтона, с помощью которой качественные критерии можно свести к количественным. Комплексный анализ нормированных критериев позволяет определить интегральный показатель транспортной услуги.

Ключевые слова: международный транспортный коридор (МТК), транспортная услуга, качество транспортного обслуживания, функция желательности.

Annotation. The question of estimating the quality of the international transport corridors. The problem is that the evaluation criteria are both quantitative and qualitative indicators. It is proposed to apply the function Harrington, by which quality criteria can be reduced to quantitative. Comprehensive analysis of normalized criteria to determine an integral indicator of transport services

Keywords: international transport corridor (ITC), transport services, the quality of transport services, the desirability function.

Постановка проблеми та її зв'язки з науковими та практичними завданнями. Провідна роль у вирішенні транспортних проблем належить розвитку міжнародних транспортних коридорів в умовах розширення міжнародної співпраці і поглиблення інтеграційних процесів. Сьогодні ринкові відносини змушують вантажовласників і перевізників застосовувати новітні підходи для надання якісних транспортних послуг з гарантією безпеки у межах транспортних коридорів (надалі ТК). Варто зазначити, що, наприклад, інформаційне забезпечення процесів перевезення вантажів у проектах розвитку МТК на даний час характеризується наявністю окремих суттєвих недоліків. Вони впливають як на ефективність транспортних послуг, так і на забезпечення безпеки руху маршрутами ТК.

Сутність проблеми. Відкритим залишається питання щодо визначення належної якості функціонування МТК, а саме своєчасної доставки, збереження вантажів, достовірної інформації про стан вантажу і його місцезнаходження у будь-який момент часу, умов надання сервісних послуг, забезпечення безпеки перевізників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій та виділення невирішених частин загальної проблеми. Проблемі якості функціонування МТК в Україні присвячені роботи багатьох вітчизняних вчених, таких як О.О. Бакаєва, В.Л. Диканя, А.М. Новікової, Ю.М. Цветова, О.П. Кутаха, Ю.О. Кутах, С.І. Пірожкова та інших. Однак сьогодні практично відсутні методи та моделі узагальненої оцінки великої кількості факторів, що впливають на ефективність доставки вантажів у міжнародному сполученні.

Можливості ж комплексного оцінювання ускладнено тим, що оцінка показників якості функціонування МТК за різними критеріями виконується за різними шкалами (за одними критеріями – це кількісні показники, за іншими – якісні, які важко об'єднати).

Мета статті. Пропонується методичний підхід до вибору та визначенню оцінки показників якості надання транспортних послуг на маршрутах МТК.

Виклад основного матеріалу. Процес визначення рівня якості транспортних послуг є складним та трудомістким. Це пов'язано з відсутністю чітких критеріїв виміру, неможливістю у більшості випадків застосування кількісних методів для оцінки рівня транспортних послуг. Треба зазначити, що кожний критерій якості має різну вагу у сукупності досліджуваних елементів.

Оцінку рівня якості транспортних послуг можна здійснити за схемою, що наведена на рисунку 1.

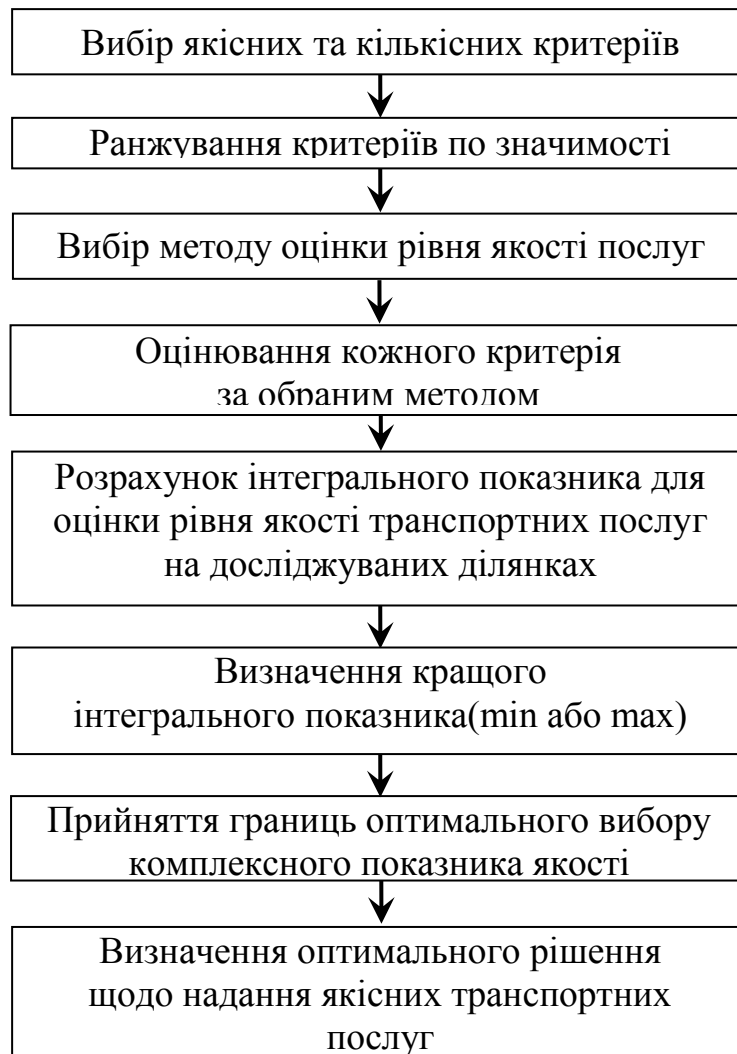
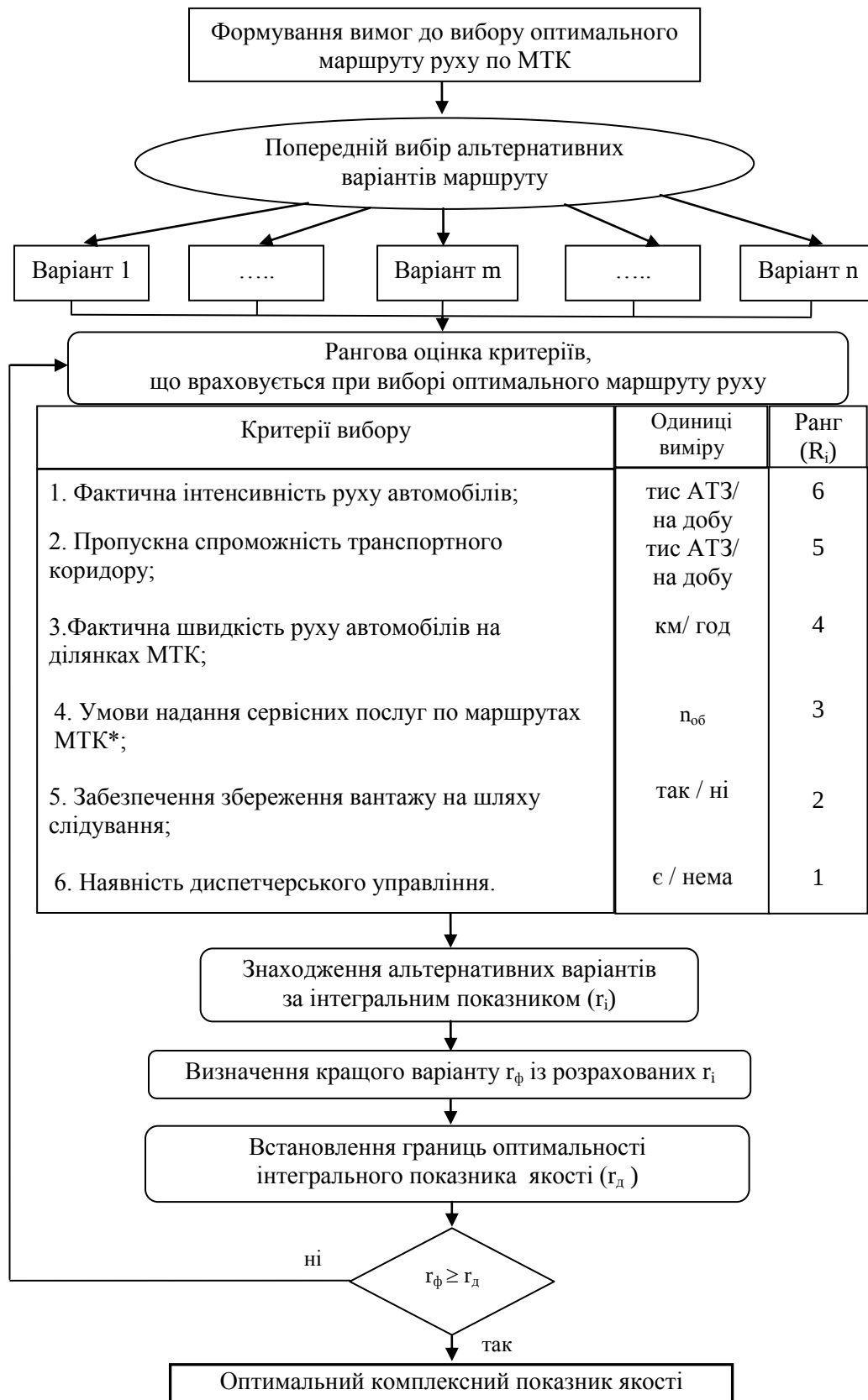


Рис.1. Запропонована схема оцінки рівня якості транспортних послуг

Якість надання транспортного обслуговування перевізників на маршрутах міжнародних транспортних коридорів – це насамперед, забезпечення:

- оптимальних термінів доставки;
- необхідного рівня швидкості;
- збереження цілісності вантажів;
- безпеки перевезень вантажів;
- рівня високого обслуговування водіїв та автотransпортних засобів.

Вибір оптимального маршруту руху у межах МТК представимо у наступній послідовності (рис. 2). Визначаючи ранг кожного з оцінюваних критеріїв необхідно враховувати вплив кожного з них на кінцевий результат. При цьому найбільш значимому критерію надаємо найбільш високий ранг.



* - кількість діючих об'єктів дорожнього сервісу у межах ТК

Рис. 2. Структурна схема вибору оптимального маршруту руху у межах МТК

Оцінку рівня якості транспортних послуг на території України розглянемо на прикладі діючих ділянок доріг, які включені в мережу міжнародних транспортних коридорів:

- МТК №3 (М-06) – (Шегені – Львів – Рівне – Житомир – Київ);
- МТК №5 (М-06) – (Чоп – Стрий – Львів);
- МТК №9 (М-01, М-05) – (Одеса – Любашівка – Київ);
- МТК Європа – Азія (М-03) – (Харків – Полтава – Київ).

Оцінюючи якість транспортного обслуговування на окремих ділянках ТК, ми маємо набір показників якісного та кількісного характеру, що суттєво ускладнює задачу прийняття оптимального рішення (таблиця 1).

Таблиця 1 – Значення кількісних та якісних критеріїв на ділянках ТК

Критерії	Міжнародний транспортний коридор			
	№3	№5	№9	Європа-Азія
1. Фактична інтенсивність руху автомобілів	16,2	16,2	14,5	12,7
2. Пропускна спроможність транспортного коридору	14,0	14,0	14,5	10,0
3. Фактична швидкість руху автомобілів на ділянках МТК	120	120	80	120
4. Умови надання сервісних послуг по маршрутах МТК	42	42	23	8
5. Забезпечення збереження вантажу на шляху слідування	добре	добре	добре	задовільно
6. Наявність диспетчерського управління	добре	дуже добре	погано	задовільно

В даній роботі пропонується застосувати узагальнену функцію бажаності Харінгтона, суть якої полягає у зведенні якісних критеріїв до кількісного виразу:

$$h(v) = \exp(-\exp(-v)) \quad (1)$$

де $h(v)$ – значення функції бажаності для критерія v ;

v – значення оцінки за шкалою Харінгтона.

З урахуванням значень функції бажаності, значення якісних оцінок у кількісному виді представимо у таблиці 2.

Щоб оцінити критерії за ступенем важливості, необхідно визначити ваговий коефіцієнт кожного з критеріїв:

$$k_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^N R_i}, \quad i = 1, \dots, N, \quad (2)$$

де R_i – рейтинг важливості критерія у ранговій послідовності.

Таблиця 2 – Відповідність якісних оцінок значенням функції бажаності

Оцінка	Значення за шкалою	Значення функції Харінгтона
Відмінно	3	0,95
Дуже добре	2	0,87
Добре	1	0,69
Задовільно	-1	0,06
Погано	-2	0,00
Дуже погано	-1	0,00

Таблиця 3 – Якісні критерії зведені до кількісних

Критерії	Ранг (R _i)	Міжнародний транспортний коридор			
		№3	№5	№9	Європа-Азія
1. Фактична інтенсивність руху автомобілів	6	16,2	16,2	14,5	12,7
2. Пропускна спроможність транспортного коридору	5	14,0	14,0	14,5	10,0
3. Фактична швидкість руху автомобілів на ділянках МТК	4	120	120	80	120
4. Умови надання сервісних послуг по маршрутах МТК	3	42	42	23	8
5. Забезпечення збереження вантажу на шляху слідування	2	0,69	0,69	0,69	0,06
6. Наявність диспетчерського управління	1	0,69	0,87	0,00	0,06

Розраховані значення представимо у таблиці 4.

Таблиця 4 – Вагові коефіцієнти критеріїв

Критерій	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆
Значення розрахованого коефіцієнту	0,29	0,24	0,19	0,14	0,09	0,04

Розрахунок вагових коефіцієнтів дає змогу визначити комплексний інтегральний показник, тому подальші дослідження будуть спрямовані на визначення інтегральних показників якості функціонування МТК за результатами розрахунків вагових коефіцієнтів.

Література

1. Бочкарева М.М., Гудков В.А., Дулина Н.В., Овчар Н.А. Количественная оценка качества транспортных услуг. / Автотранспортное предприятие, 2007, №8. – С. 49-53.
2. Е. Осьмак. Математика для логистики. Подбор логистических посредников. / Транспорт і логістика, 2007, №7-8 (21-22). – С. 42-46.

Куницька О.М., канд.тех.наук, Гужевська Л.А., канд.тех.наук.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КРОСС-ДОКІНГУ ЯК ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ СКЛАДУ

Анотація. У статті розглядаються теоретичні основи кросс-докінгу як технології роботи складу. Проведено класифікацію технології за різними ознаками. Розглянуто вимоги та обмеження при її використанні, основні товари, до яких варто її застосовувати. Визначено перспективні напрямки подальшого дослідження кросс-докінгу.

Ключові слова: склад, технологія, кросс-докінг.

Аннотация. В статье рассматриваются теоретические основы кросс-докинга как технологии работы склада. Сделана классификация технологии за разными признаками. Рассмотрены требования и ограничения при её использовании, основные товары, для каких её лучше использовать. Определено перспективы дальнейшего исследования кросс-докинга.

Ключевые слова: склад, технология, кросс-докинг.

Annotation. In the article considering the theoretical basis for cross-docking as part of the technology warehouse operation. Classification of technology on various grounds. The requirements and limitations on its use, basic commodities, which should use it. Prospective directions for further research of cross-docking.

Key words: warehouse, technology, cross-docking.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Основна логістична задача економії грошових коштів та часу вирішується в тому числі за рахунок оптимізації складських операцій. Критерії економічності та скорочення часу складської обробки та зберігання товарів вимагають розробки швидкісних технологій, які враховуватимуть специфіку товаропотоку конкретного підприємства. Кросс-докінгові технології набувають все більш широкого розвитку у сфері складської логістики. Головною проблемою його

впровадження є те, що визначити доцільність впровадження на етапі проектування практично не можливо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Крос-докінг (від англ. cross-docking: cross – той, що йде напрому та dock – стикування, причал, поєднання) – рух товару через склад напрому, фактично без його розміщення та зберігання. Класичною схемою крос-докінгу вважається пряме перевантаження з одного транспортного засобу на інший. Іноді, до класичної схеми додається перекомплектація та перетарування. Застосування такого підходу в складській логістиці дозволяє отримати значне скорочення витрат на складське зберігання товарів та вантажів (20-30%), простої та порожній пробіг транспорту. Крос-докінг дозволяє прискорити постачання вантажу кінцевому споживачу, що особливо важливо при роботі з швидкопсувною продукцією [1, 2].

Закордонними вченими, встановлено, що за умов, які існують в США використання технології крос-докінгу дозволяє зекономити 76% місця для складу, для виконання вантажопереробки необхідно лише 57% складського персоналу, при цьому продуктивність праці збільшується на 75% [1].

Сучасні літературні джерела дають тільки загальні рекомендації щодо умов використання крос-докінгу [2, 3, 4, 5]. На сьогодні не існує ні детальної класифікації цієї технології, ні методик визначення його доцільності на етапі розробки.

Постановка завдання. Крос-докінг, на відміну від традиційного підходу до зберігання вантажів передбачає жорстке виконання вимог щодо управління товаропотоком. Тому, при впровадженні системи крос-докінгу необхідно провести повний аналіз умов його впровадження в роботу складу, визначити економічну доцільність такої технології на етапі розробки. Для цього необхідно провести структурування існуючої інформації та основних вимог до технології крос-докінгу.

Основний матеріал. Для того щоб крос-докінг дійсно був вигідним, необхідно, по-перше, ретельно зважити всі «за» і «проти» ще на етапі проектування логістичної системи з урахуванням усіх особливостей конкретного підприємства, а також тенденцій до змін у виробничому циклі в майбутньому.

До сьогодні в літературних джерелах не розглядалася класифікація крос-докінгових технологій. Вона є визначальною на етапі розробки і може проводитись за декількома ознаками:

- 1) по використанню видів транспорту: унімодальний та мультимодальний;
- 2) по використанню тари: контейнерний, палетний, безтарний;
- 3) по комплексності: повний, частковий;
- 4) у залежності від виду вантажу: однорідний та неоднорідний;
- 5) по обсягу робіт, що виконуються на складі: одноетапний, двоетапний.

Як правило мультимодальний крос-докінг зустрічається у транспортних вузлах, на терміналах та транспортних комплексах. Його організація передбачає як особливість конфігурації будівель та обладнання, ще й узгодження графіків роботи різних видів транспорту. Унімодальний крос-докінг частіше зустрічається у логістичних центрах. Як правило, використовується автомобільний транспорт різної або однакової вантажопідйомності.

У залежності від масовості поставки відповідно проводиться укрупнення товарів за допомогою тари. Контейнери частіше використовуються у мультимодальному сполученні. Палети та безтарний спосіб частіше використовуються у розподільчих центрах.

На практиці повний крос-докінг використовується не так часто. Як правило, частина товарів відвантажується на склад – тоді ми маємо частковий крос-докінг.

Обов'язковим у технології крос-докінгу є наявність операцій, притаманних будь-якій складській системі:

- облік прийняття,
- облік вибуття,
- сортування,
- переоформлення (на ім'я іншого вантажоодержувача, тощо).

Ці всі операції можуть виконуватись при одноетапному крос-докінгу, але вантаж проходить через склад як окреме замовлення. Двоетапний крос-докінг крім зазначених обов'язково включає операцію переформування партії вантажу, а також може включати операції маркування та консолідації.

Двоетапний крос-докінг має ще один різновид, що називається *pick-by-line*, що в перекладі з англійського буквально означає «добір по лінії». Технологія *pick-by-line* реалізується на складі в такий спосіб. Вантаж приходить на склад від різних постачальників, потім розвантажується й розформовується в комірки зберігання, розподілені по замовникам. Припустимо, приходить палета з

товаром А в кількості 50 коробів від одного постачальника. Ці 50 коробів їдуть до 30 замовників. У зоні зберігання на першому ярусі (якщо pick-by-line реалізована у стелажному зберіганні) виділені комірки, кожна з яких закріплена за певним замовником. Інакше кажучи, кожна палета, що надходить, розподіляється по замовниках відповідно до попередніх заявок. Оскільки на склад послідовно приходять одна палета із товаром А, друга палета із товаром В, третя – із товаром С и так далі, у підсумку на кожному «клієнто-місці» формується своя палета, у кожній з яких є товари А, В і С у заздалегідь замовленій клієнтом кількості. Поставка на склад може здійснюватися протягом одного або двох-трьох днів, тобто, займати певний період часу. Потім збірну палету перевіряють на відповідність її вмісту замовленню, упаковують так, як передбачено контрактом, наприклад, обмотують скотчем і ставлять на наступний ярус як уже готову до відвантаження. Таким чином, у комірці певного замовника формується партія товарів, готових до відправки. Один раз у день готується звіт про палети, готові до відвантаження, тобто тих, які зберігаються вище 1-го ярусу. На підставі даного звіту клієнт планує транспорт і заноситься в реєстр на відвантаження. По завершенню останньої поставки пакують палети, що залишилися на 1-м ярусі. Після цього формують відповідні документи і палети доставляють до замовників, для яких вони були сформовані.

За стандартною технологією товар приймається по номенклатурі і кількості, розміщується на зберігання за схемою – кожна номенклатура в свою комірку, потім переміщується в зону комплектації, де формується відправка, а потім виконується відвантаження, але кожна із цих операцій зайняла б значно більше часу.

Дуже важливо й те, що до всього іншого дана технологія дозволяє не тільки сформувати палети, але й визначити вантажопідйомність транспортного засобу, що направляється до кожного із замовників, оскільки відома кількість підготовлених до відвантаження палето-місць. Заздалегідь знаючи, який транспортний засіб замовляти, можна оптимізувати транспортні витрати [8].

Але не всі товари можна опрацьовувати в системі наскрізного складування. Найкраще для цього підходять товари, що характеризуються:

- високим рівнем прогнозованості по динаміці «надходження-вибуття»;
- можуть бути відразу готові до відправлення або потребувати лише незначної обробки [6, 7].

Крім того, при реалізації pick-by-line на товари накладається додаткова вимога – вони повинні по габаритам та масі розміститися на палеті. Тому, як правило, це товари у квадратних коробках із розміром, що не перевищує розмір палети.

На практиці найчастіше класичний крос-докінг використовується у таких випадках:

- 1) експрес-відправлення – де термін доставки вимірюється годинами,
- 2) вантажі для зберігання яких необхідні особливі умови (наприклад, швидкопсувні);
- 3) за умов дрібних партій та великого асортименту;
- 4) вантажі, які дорого зберігати;
- 5) при необхідності періодичної відправки від декількох відправників декільком вантажоотримувачам (як приклад, мережа гіпермаркетів можуть мати один склад, що обслуговує їх усіх) тощо [6, 7].

При плануванні впровадження технології кросс-докінгу необхідно оцінити наявні можливості підприємства. Як показує практика, чим менше номенклатур товарів опрацьовується в системі наскрізного складування, тим менше нововведень знадобиться. Необхідними елементами при створенні кросс-докінгової системи є:

1. Планування ділянки рампи та її пропускної спроможності. Оскільки більша частина робіт буде проводитися поблизу рампи, що приймає та відправляє вантаж, необхідно передбачити достатню кількість воріт та навантажувально-розвантажувальної техніки, а також забезпечити швидке та вільне переміщення товару по всьому логістичному центру.

2. Організація роботи на рампі. Для забезпечення інтенсивного графіку приймання-відправлення, диспетчеру потрібно уважно слідкувати за відправленням автомобілів, вагонів та контейнерів до потрібних воріт у потрібний час.

3. Обладнання для обробки вантажів. Крос-докінг потребує переміщення великих обсягів продукції за короткий час. Вирішити це питання зі значним скороченням часу та трудовитрат можна за рахунок використання конвеєрів різного типу.

4. Кваліфікований персонал та сучасна інформаційна система.

Якщо приймати рішення щодо доцільності крос-докінгу, то необхідним є аналіз усіх його елементів. У компаній, які будують свою логістичну діяльність

із використанням технології кросс-докінгу, зменшується необхідність в оренді складів та з'являється можливість реалізувати поставки "точно в строк" ("just-in-time") з максимальною оптимізацією логістичних витрат. Його впровадження спричинить перегляд логістичних процесів, та й перебудова роботи складу буде потрібна серйозна, а найголовніше, знадобиться контроль за дотриманням вимог до товару, що поставляється. Брак, надлишки та палети, що не відповідають вимогам, мають повертатися постачальникові. А це можуть дозволити собі не усі логістичні оператори. Дотримання технологічних та організаційних вимог - це завдання усіх учасників логістичного ланцюга. У іншому випадку, кросс-докінг може призвести до недотримання умов та строків постачання, накопичення великої кількості «термінових» товарів та збитки через невиконання зобов'язань перед клієнтами.

Висновки

Технологія кросс-докінгу є прогресивною та ефективною при організації товароруку через склад. Однак, щоб перебудувати технологію роботи компанії на кросс-докінг, потрібно досить серйозне техніко-економічне обґрунтування. На етапі розробки реалізації даної технології варто провести імітаційне моделювання роботи конкретної системи із прогнозованими даними для різних варіантів роботи. Це дасть змогу розробити заздалегідь рішення для проблемних ситуацій, закласти у проект можливість збільшення обсягів обробки вантажів і визначити доцільність впровадження технології кросс-докінгу для конкретного підприємства.

Література

1. Сток Дж. Р., Ламберт Д.М. Стратегическое управление логистикой : Пер. с 4-го англ. изд. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 797 с.
2. Гаджинский А.М. Логистика: Учебник. – 11-е изд. – М.: ИТК "Дашков и К^о", 2004. – 432с.
3. Ларіна Р.Р. Логістика: Навчальний посібник. – Д.: ВІК, 2005. – 335 с.
4. Логвинов А. Кросс-докинг: принимай и отправляй! // Современный склад, –2008. – №1.
5. Фетисова Т., Бабаев А. Технологическая эффективность кросс-докинга // "Складские технологии", – 2009. – №1.
6. <http://www.stand.com.ua/?page=vilochnuye>
7. <http://www.nlsklad.ru/stat-i/kross-doking.html>
8. http://www.sitmag.ru/article/azbuka/2008_02_A_2008_06_06-20_24_26/

Осяєв Ю.М., канд.тех.наук, Сліпець О.В.

МОДЕЛІ ОЦІНКИ МЕНЕДЖМЕНТУ У СФЕРІ НАДАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ

Анотація: зроблено аналіз забезпечення менеджменту у сфері надання транспортних послуг на підставі умов «Інкотермс - 2000» та наведені шляхи покращення функцій менеджменту з використанням трендових та факторних прогнозних аналітичних моделей.

Ключові слова: менеджмент, транспортні послуги, аналітичні прогнозні моделі.

Аннотация. Сделан анализ обеспечения менеджмента в сфере предоставления транспортных услуг на основании условий «Инкотермс 2000» и приведены пути улучшения функций менеджмента с использованием трендовых и факторных прогнозных аналитических моделей.

Ключевые слова: менеджмент, транспортные услуги, аналитические прогнозные модели.

Annotation. The analysis of management in the provision of transport services under conditions "Incoterms - 2000" and the ways to improve management functions with the use of trend and factor forecasting analytic models.

Keywords: management, transportation services, analytical predictive model.

Постановка проблеми та її зв'язки з науковим та практичним завданням. Україна вступила в 21 сторіччя державою, яка динамічно розвивається і прагне активніше брати участь у суспільно-економічних процесах сучасного світу, інтегруватися в європейське співтовариство.

Зовнішньоекономічна діяльність загалом і зовнішньоторговельна зокрема тісно пов'язані з транспортними операціями. Вони починають і завершують процес реалізації зовнішньоторговельної угоди і тим самим не тільки обумовлюють практичну реалізацію договору купівлі-продажу, але і помітно впливають на контрактну ціну товару.

Транспорт займає особливе місце в міжнародному товарообігу. По - перше, він є необхідною умовою здійснення міжнародного поділу праці, зовнішньоекономічних зв'язків. По – друге, транспортна індустрія виступає на світових ринках експортером своєї продукції — транспортних послуг. Тому для підвищення ефективності транспортних послуг необхідно менеджмент перевезень обґрунтовувати з використанням прогнозних аналітичних моделей.

Сутність проблеми.

В менеджменті у сфері надання послуг потрібно проаналізувати і врахувати основні фактори: базисні умови поставки, вид транспорту і спосіб доставки, транспортна специфіка товару, умови міжнародних договорів і угоди, регулюючі умови перевезення, перспективи розвитку.

Мета статті. Оцінити менеджмент у сфері надання транспортних послуг та запропонувати шляхи покращення його функцій з використанням аналітичних прогнозних моделей.

Виклад основного матеріалу. Міжнародна торгова палата розробила й випустила в 1953, 1980 та 1990 роках збірники «Міжнародні правила тлумачення торгових термінів ІНКОТЕРМС» (International Commercial Terms). Сьогодні використовується збірник, виданий у 2000 р. під назвою «ІНКОТЕРМС-2000». Він спрощує складання й узгодження контрактів, допомагають контрагентам знайти способи розподілу відповідальності та вирішення неузгодженостей, що виникають. Особливості базисних умов регламентовані міжнародною практикою.

Під час розгляду питань надання транспортних послуг, для менеджера важливо вияснити основні базисні умови поставки, а також питання організації доставки товарів й управління нею.

У "Інкотермс-2000" подано 13 базисних умов поставки. Залежно від ступеня розподілу зобов'язань між продавцем і покупцем щодо поставки товару та відповідальності за ризик пошкодження чи втрати вантажу і пов'язаних із цим витрат усі умови Інкотермс можна поділити на чотири групи: Е, F, С і D.

Група Е регламентує зобов'язання продавця та покупця при здійсненні поставки тільки на умові EXW- «Франко-завод». Група F містить умови: «Франко-перевізник» - FCA; «Франко - уздовж борту судна» - FAS, «Франко - борт судна» - FOB. Група С включає такі умови: «Вартість і фрахт» - CFR; «Вартість, страхування й фрахт» - CIF; «Доставка оплачена до ...» - CPT,

«Доставка та страхування оплачені до ...» - СІР. Група D передбачає умови: «Поставлено на кордон»- DAF; «Поставлено з борту судна» - DES; «Поставлено з пристані» - DEQ; «Поставлено без сплати мита» - DDU, «Поставлено зі сплатою мита» - DDP.

Знаючи правила «Інкотермс-20000», менеджер може легко зорієнтуватися в структурі витрат з доставки товарів, які необхідно додати або, навпаки, відняти з контрактної (фактурної) ціни товару, оскільки базис ціни товару зазвичай визначається застосуванням відповідного терміна. Виходячи з того, що ціни при зовнішньоекономічних операціях відповідають умовам «Інкотермс», розглянемо в загальному вигляді схему розрахунку, у якій залежно від умов постачання враховуються всі види витрат. Так, ціна EXW дорівнюватиме сумі собівартості товарів та скалькульованого прибутку; ціну FCA отримаємо при додаванні до ціни EXW перевезення до зазначеного покупцем пункту, вартість послуг експедитора, страхування та вартість навантаження; ціна CPT або DAF розраховується однаково, а саме: до ціни FCA додаємо фрахт до кордону; сума фрахту до порту відвантаження та ціни CPT або DAF дасть ціну FAS; якщо до цієї ціни FAS додати ще витрати в порту (перевалка, складування, портові збори, комісія експедитора в порту, додаткові витрати), то отримаємо ціну FOB; ціна CFR дорівнюватиме сумі ціни FOB, витрат на документи, витрат на коносамент та морського фрахту; ціна CIF, або DES, або СІР, або DDU розраховується додаванням до ціни CFR страхування; а якщо ввізне мито додати то ціни CIF, або DES, або СІР, або DDU, то розрахуємо ціну DEQ, або DDP.

Обираючи засіб доставки конкретного товару, менеджер бере до уваги п'ять чинників: швидкість, надійність, перевізні спроможності, доступність, вартість.

Плануючи організацію відправлення вантажів і вибір виду транспорту, менеджеру необхідно враховувати такі критерії, як: вид вантажу; відстань і маршрут перевезення; фактор часу; вартість перевезення; безпека транспортування.

Одержані відомості дають можливість, по-перше, правильно вибрати умови поставки і прорахувати продажну або закупівельну ціну товару при реалізації його з доставкою або без доставки; по-друге, вибрати на підставі калькуляції транспортних витрат напрям, по якому найбільш вигідно відправити вантаж; по-третє, правильно сформулювати транспортні умови в контрактах з урахуванням всіх можливих витрат.

Базисні умови контрактів купівлі-продажу, які насамперед визначають можливості організації руху товарних потоків по логістичному ланцюгу, є одним з основних інструментів, що реалізують стратегію і тактику транспортного менеджменту, а також визначають обсяг реальних транспортних завдань та операцій фірми. Функціональна модель оцінки менеджменту у сфері надання транспортних послуг представлена на рис 1.

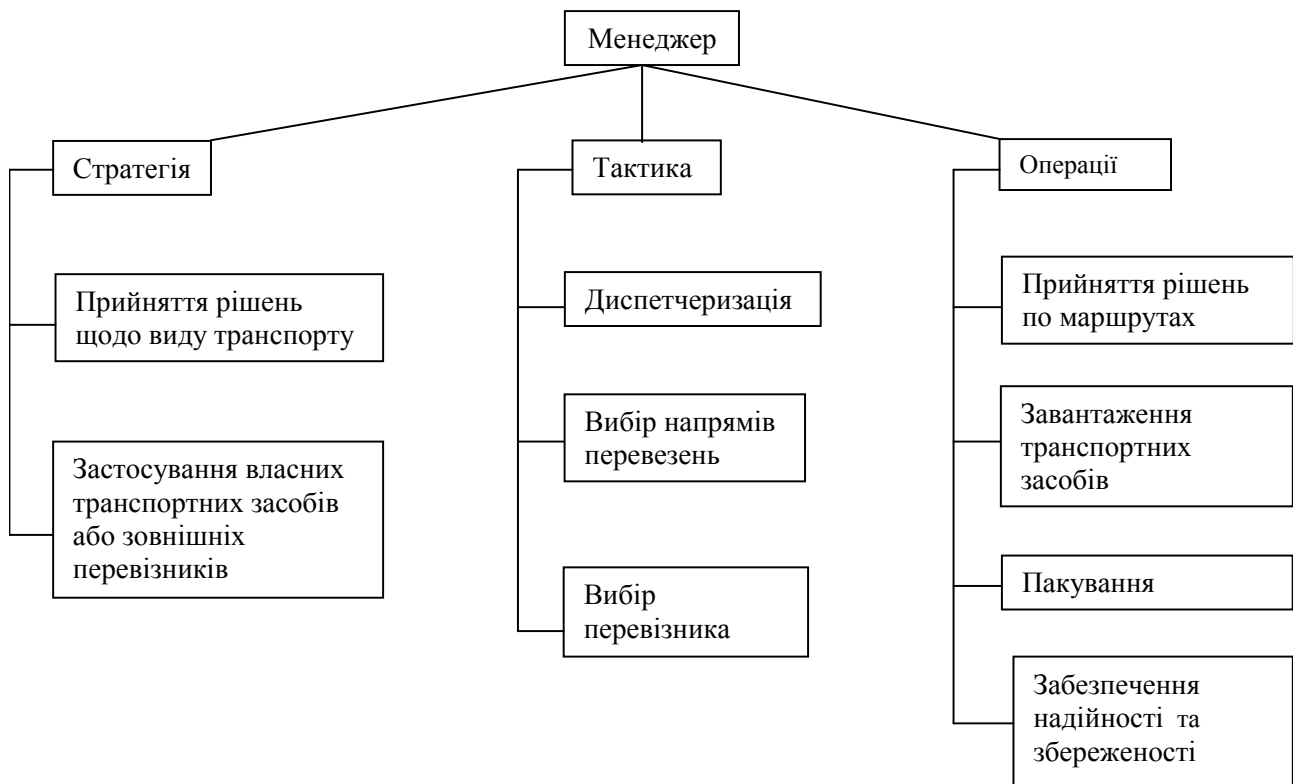


Рис.1 Функціональна модель оцінки менеджменту у сфері надання транспортних послуг

В моделі передбачається особлива роль менеджера в остаточному визначенні тих стратегічних і прогностичних мотивів, якими буде керуватися фірма, обираючи ті або інші можливості і напрямки виходу на міжнародний ринок. Прогнозування в управлінському циклі менеджменту передуює плануванню і його завдання полягає в науковому передбаченні розвитку обсягів транспортних послуг, а також у пошуку рішень, які забезпечать цей розвиток. Такі рішення можуть надати аналітичні моделі. Найбільш поширеними з них є трендові та факторні моделі.

Трендові моделі прогнозування використовують тоді, коли нам відома інформація про динамічний ряд тільки прогнозованого показника Y . Наприклад, мова може йти про необхідність прогнозу перевезень вантажів на

декілька наступних років. З'ясовується інформація про величини цього показника за попередні роки. Інформація для такого прогнозу фундаментуються на використанні абсолютних та відносних показників приросту перевезень.

Вибір конкретної гіпотези у даному разі суттєво впливає на прогноз. Виникає ідея використовувати для прогнозу не тільки останні або тільки середні характеристики розвитку, але всі тенденції, "закладенні" в часовому ряді, що розглядається.

Наприклад, залежність

$$Y = a + b * t, \quad (1)$$

де a - зміст теоретичного (трендового) значення показників в початковий момент;

b – теоретична величина постійного абсолютного приросту.

Реальні значення досліджуваного показника Y , взагалі кажучи, не можуть бути точно охарактеризовані даною залежністю. Якби конкретні значення a і b не використовувати, величина $a+b*t$ не буде співпадати з величиною Y_t . Це означає, що справедлива рівність

$$Y_t = a + b * t + e_t \quad (2)$$

де e_t – різниця реальних (Y_t) і теоретичних ($a + b * t$) значень, яка називається нев'язкою ($t = 1, 2, \dots, n$).

Задача полягає в тому, щоб вибрати a і b таким чином, щоб зробити нев'язки якнайменшими, при цьому прогноз буде точніший.

Факторні моделі використовуються для прогнозування тоді, коли є ряд прогнозних або планових значень факторного показника X для того періоду, для якого потрібен прогноз значень результативного показника Y . Конкретна модель зв'язку X та Y виражається функцією

$$Y = f(x) . \quad (3)$$

При заданому ряді значень $x_n, x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_{n+m}$ (m -число моментів прогнозного періоду) згідно величини $y_n, y_{n+1}, \dots$ визначаються по формулі $Y_t = f(x_t)$, ($t=n, n+1, \dots, n+m$). Для того, щоб знайти саму функцію $Y = f(x)$, можна представити $f(x)$ у вигляді многочлена $f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_{n-1}x^{n-1}$ ступеня $n-1$ і підібрати його коефіцієнти a_t так, щоб виконувалися вказані рівності $Y_t = f(x_t)$ ($t = 0, 1, \dots, n-1$).

Може здатися, що цей багаточлен дає найкраще рішення проблеми. Однак це не так. При виборі функції $f(x)$ необхідно вловити тенденцію і відсікти відхилення від неї, тоді як багаточлен ступеню $n-1$ не дозволяє відділити тенденцію від випадкових відхилень. Тому потрібно обирати досить вузький клас функцій $f(x)$, обумовлений малим числом параметрів, і функцію $f(x)$ вибирають тільки з цього класу. Тому частіше усього використовується клас лінійних функцій (багаточленів першого порядку) обумовлених двома параметрами a і b .

$$Y=ax + b \quad (4)$$

Функція такого виду відповідає пропорційному зв'язку змін фактора X зі змінами результуючого показника, так що параметр a — коефіцієнт пропорційності, а параметр b характеризує розходження в рівні цих показників.

Якщо прогнозування виконано якісно, результатом стане картина майбутнього, яку можна використовувати як основу для планування не тільки в реальному часі, а й у довгостроковій перспективі. Для вирішення вищезгаданих завдань доцільно використовувати аналітичні моделі прогнозування такі як: трендові і факторні моделі. Це дозволить суттєво покращити функцію менеджменту транспортних послуг і забезпечить стабільний розвиток такого виду бізнесу як міжнародні перевезення.

Висновок

Організаційні і економічні методи і форми комплексного управління транспортуванням включають необхідність координації і сполучення пов'язаних функцій планування поставок і перевезень продукції; раціональний розподіл функцій між структурними підрозділами транспортних організацій; розвиток методів управління, забезпечуючих економію витрат на транспортування, удосконалення і втілення системи економічного стимулювання працівників процесу в поліпшенні його кінцевих результатів.

Література

1. Кальченко А. Г. Логістика: Підручник. — К.: КНЕУ, 2003. — 284 с.
2. Киреев А. Международная экономика: движение товаров и факторов производства. — М.: Международные отношения, Ч.1. 1997 -416с.
3. Новицький В.Є. Міжнародна економічна діяльність України: Підручник. К.: КНЕУ, 2003 — 948 с.
4. Пищик А. Ф. Перевозка грузов в международном сообщении — Учебное пособие. Гомель БелГУТ 1999 г.

Соколова Н.М., канд. екон. наук

ДЕРЖАВНО-ПРИВАТНЕ ПАРТНЕРСТВО В ДОРОЖНІЙ ГАЛУЗІ : ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ В УКРАЇНІ

Анотація. Статтю присвячено дослідженню досвіду європейських країн щодо механізмів забезпечення державно-приватного партнерства та узагальненню трактування державно – приватного партнерства, та стимулам для взаємодії державного та приватного секторів.

Ключові слова: державно-приватне партнерство, приватний сектор, концесії, досвід, проект, соціально-економічний розвиток, органи державної влади.

Аннотация. Статья посвящена исследованию опыта практики европейских стран государственно - частного партнерства и обобщению трактовки государственно - частного партнерства, и стимулам для взаимодействия государственного и частного секторов.

Ключевые слова: государственно - частное партнерство, частный сектор, концессии, опыт, социально-экономическое развитие, проект.

Annotation. The article is devoted research of experience of practice of the European countries of state-private partnership. The interpretations of public – private partnership and stimuli for interaction of public and private sectors are summarized.

Keywords: public-private partnership, the private sector, concessions, experience, socio-economic development.

Проблема

В Україні розвиток партнерських відносин держави і приватного сектора знаходиться на початковій стадії, зокрема не сформовано інститути та інституціональне середовище державно-приватного партнерства. Це зумовлює необхідність наукового обґрунтування сутності державно-приватного партнерства як форми інституціональної взаємодії державної влади з

приватним сектором його ролі в розвитку суспільства, форм і способів реалізації державно-приватного партнерства.

Інститути ДПП в країнах, що розвиваються відрізняє те, що їх застосування у більшості є спробою перенесення кращих світових практик в умови конкретних національних економік.

Результат використання ДПП в таких країнах залежить від того, яким чином правила і норми ДПП відповідають сукупності формальних та неформальних інститутів.

Успіх запровадження ДПП в управлінні національною економікою набуває вірогідності тільки тоді, коли протягом певного часу у державі панує політична стабільність, а тип державного управління будується на базі балансу приватної ініціативи та повноцінної державної соціальної політики.

Державно-приватне партнерство є ефективним та перспективним інструментом економічного і соціального розвитку, засобом залучення коштів у проекти, де державні та місцеві органи влади намагаються зберегти контроль та налагодити співпрацю з інвесторами.

Під час такого співробітництва між державою і суб'єктами господарювання досягаються кращі техніко-економічні показники та результати господарювання, ефективніше використовуються державні ресурси. За визначенням В. Г. Варнавського, державно-приватне партнерство – це інституційний та організаційний альянс між державою і приватним сектором з метою реалізації національних і міжнародних, масштабних та локальних, але завжди суспільно значущих проектів у широкому спектрі сфер діяльності: від розвитку стратегічно важливих галузей промисловості і науково-дослідних конструкторських робіт до забезпечення суспільних послуг [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Велику увагу проблемам і перспективам становлення державно-приватного партнерства приділяли такі вітчизняні вчені, як В.М.Вакуленко, Є.О.Фишко, О.В.Берданова, І.О.Федів, Дослідженням державно-приватного партнерства займались зарубіжні науковці: В.Г.Варнавський, В.Н.Мочальников, Л.І.Єфімова, В.А.Михєєв, В.Є.Манжикова, Л.Отул, В.Ребок, В.І.Якунін. а також проблема була висвітлена в численних законодавчих актах, нормативно – правових документах, програмних та аналітичних документах ОЕСР, Європейської Комісії, та ін.

У працях цих науковців досліджувалися форми державно-приватного партнерства, які розглядаються багатьма з них як нова технологія розвитку економіки [2, с. 5]. Проте сутність та забезпечення механізмів державно-приватного партнерства досліджені поки що недостатньо, особливо це стосується дорожньої інфраструктури (будівництва та експлуатації автомобільних доріг). Нині існують серйозні проблеми, що суттєво гальмують упровадження державно-приватного партнерства в практичну діяльність, а саме:

- брак висококваліфікованих і авторитетних спеціалістів-практиків та не розробленість відповідної інформаційної політики стосовно просування соціально-економічних переваг державно-приватної взаємодії;

- необхідність зрушень в організації управління державно-приватним партнерством, розуміння нового розподілу ролей та прийняття його інституціональних засад;

Водночас, роль державно-приватного партнерства в розбудові національної системи України, з урахуванням досвіду розвинених країн, досліджена недостатнім чином.

Мета статті. Вивчення досвіду європейських країн щодо ефективної державно-приватної взаємодії. Для досягнення поставленої мети було вирішено такі завдання:

- узагальнено трактування державно – приватного партнерства, та стимули для взаємодії державного та приватного секторів.

- проведено аналіз європейської практики державно-приватного партнерства;

- розкрито сутність та основні риси механізмів забезпечення державно - приватного партнерства;

Викладення основного матеріалу. Державно - приватне партнерство у світовій практиці трактується у двох аспектах: по-перше, як система відносин держави й бізнесу, що широко використовується як інструмент економічного й соціального розвитку на міжнародних, національних, регіональних, місцевих рівнях; по-друге, як конкретні проекти, реалізовані спільно державними органами й приватними компаніями на базі об'єктів державної й муніципальної власності [3, С. 12].

Дуалістичне трактування державно-приватного партнерства знайшло відображення в різноманітних визначеннях останнього (табл. 1).

Таблиця 1 – Тракткування державного – приватного партнерства у вузькому та широкому розумінні [4]

Державно – приватне партнерство як система відносин (в широкому розумінні)		Державно – приватне партнерство як конкретний проект (у вузькому розумінні)	
Власов А.	У широкому розумінні ДПП включає в себе всі форми кооперації між державою та приватним сектором, які знаходяться в полі між вирішенням завдань, що традиційно відносяться до компетенції держави, самою державою, з одного боку, та приватизацією, з іншого	Власов А.	У вузькому розумінні ДПП - довгострокове, що регулюється договором, співробітництво між державою та приватним сектором з метою виконання суспільних завдань, яке охоплює весь життєвий цикл проекту від планування до експлуатації
Європейський Союз, Зелена книга про ДПП	Різні форми кооперації між органами влади й бізнесом, які слугують для забезпечення фінансування, будівництва, модернізації, управління, експлуатації інфраструктури або надання послуг	Світовий банк	Угоди публічної й приватної сторін із приводу виробництва інфраструктурних послуг, що укладаються з метою залучення додаткових інвестицій і підвищення ефективності бюджетного фінансування
Полуянов В.П., Кравченко Р.С.	Інститут, заснований на сукупності формальних і неформальних правил, спрямованих на координацію діяльності держави, органів місцевого самоврядування й підприємницьких структур для задоволення інтересів суспільства, при рівному задоволенні соціальних і економічних інтересів сторін	Звіт Конгресу про державно – приватне партнерство (США, 2004)	Закріплена в договірній формі угода між державою й приватною компанією, що дозволяє останній у погодженій формі брати участь у державній власності, виконуючи функції, що традиційно лежать у сфері відповідальності держави
ДПП: Урядовий підхід (Велика Британія)	Ключовий елемент стратегії уряду по забезпеченню сучасного, високоякісного комунального обслуговування й підвищенню конкурентоспроможності країни. Виступає в широкому діапазоні бізнес - структур: концесій, спільних підприємств, і т. ін.	Семінар «Державно – приватні партнерства» Москва, Росія, 2003	Співробітництво державного й приватного секторів з метою реалізації конкретного проекту або надання населенню послуг соціального характеру, що традиційно надаються державним сектором

Продовження табл. 1

Державно – приватне партнерство як система відносин (в широкому розумінні)		Державно – приватне партнерство як конкретний проект (у вузькому розумінні)	
ОЕСР	Будь – які офіційні відносини або домовленості на фіксований / нескінчений період часу між державними і приватними учасниками, у якому обидві сторони взаємодіють у процесі ухвалення рішення і співінвестують обмежені ресурси (гроші, персонал, устаткування, інформацію) для досягнення конкретних цілей у визначеній сфері	Міжнародна консалтингова компанія “Deloitte”	Контрактна угода між урядовим агентством і приватною компанією, що дозволяє останньої збільшити її участь у наданні суспільних послуг
		PriceWaterhouse Coopers, C’M’C Cameron McKenna	Угода, структура якої припускає спільну роботу державного й приватного сектору для досягнення загальної мети
Варнавський В.Г.	Інституціональний та організаційний альянс між державою та бізнесом для реалізації суспільно значущих об’єктів в широкому спектрі сфер діяльності: від розвитку стратегічно важливих галузей до забезпечення суспільних послуг.	Закон України «Про державно – приватне партнерство»	Співробітництво між державою Україна, АР Крим, територіальними громадами в особі відповідних органів державної влади та органів місцевого самоврядування (державними партнерами) та приватними партнерами, що здійснюється на основі договору
К.В. Павлюк, С.М. Павлюк	Конструктивне співробітництво держави, суб’єктів підприємницької діяльності та громадянських інститутів в економічній, соціальній, гуманітарній та ін. сферах суспільної діяльності для реалізації суспільно значимих проектів на засадах пріоритетності інтересів держави, її політичної підтримки, консолідації ресурсів, ефективного розподілу ризиків, рівноправності і прозорості відносин для забезпечення поступального розвитку суспільства.	В.Г. Варнавський, А.В. Клименко, В.А. Королев	Державно – приватне партнерство становить собою юридично закріплену форму взаємодії між державою та приватним сектором відносно об’єктів державної та муніципальної власності, а також послуг, що виконуються та надаються державними та муніципальними органами, установами та підприємствами, з метою реалізації суспільно значимих проектів в широкому спектрі видів діяльності

Очевидною є прикладна спрямованість «вузьких», більш конкретизованих трактувань ДПП, які містяться в законодавчих актах, концепціях консалтингових компаній, тобто становлять правове та методичне підґрунтя дій для безпосередніх учасників ДПП, та відповідають потребі запровадження конкретних проектів.

Водночас, незважаючи на різноманітність точок зору стосовно сутності та змісту ДПП, беззаперечним є те, що наведені визначення взаємно доповнюють одне одного, та створюють підґрунтя для створення механізмів ефективної реалізації проектів ДПП з урахуванням локальної специфіки та глобального впливу зовнішнього середовища.

Законодавчо обґрунтованими та апробованими на практиці формами реалізації ДПП на теперішній час є: концесія; оренда державного майна; лізинг; угода про розподіл продукції; договір управління державним майном; договір про спільну діяльність; державно – приватні підприємства.

Найбільш поширеною на сьогодні в світі формою ДПП при здійсненні великих, капіталомістких проектів є концесії.

Аналіз досвіду проектів державно – приватного партнерства, реалізованих за допомогою концесійної форми ДПП в країнах з різним рівнем соціально-економічного розвитку [5] показав, що такі партнерства успішно застосовуються в транспортній (автодороги, залізниці, аеропорти, порти, трубопровідний транспорт) і соціальній інфраструктурі (охорона здоров'я, освіта, туризм), ЖКГ (водопостачання, електропостачання, очищення води, газопостачання та ін.).

З метою визначення можливостей застосування ДПП в економіці України, був проаналізований європейський досвід державно-приватного партнерства.

В Європі перші прецеденти укладання угод державно-приватного партнерства сприймалися як одноразові акції, які не повторювались після покращання фінансового становища органів влади. Однак у 1992 р. консервативний уряд Дж. Мейджора і Великої Британії та Північної Ірландії запровадив Ініціативу приватного фінансування (Private Finance Initiative), яка стала першою систематизованою програмою, спрямованою на впровадження державно-приватного партнерства [6].

Уряд Великої Британії вперше вирішив застосовувати державно-приватне партнерство наприкінці 80-х рр., центром його уваги були

фінанси. Проте в міру розвитку політики протягом останніх 20-ти років стимулом розвитку державно-приватного партнерства стала ефективність його складових, тобто механізм, за допомогою якого державні ресурси могли раціональніше застосовуватися для надання суспільних послуг.

Спочатку державно-приватне партнерство базувалося на концесійних договорах, згідно з якими користувач був покупцем послуги, а приватний сектор – її постачальником. Застосування державно-приватного партнерства все більше зосереджувалося на наданні послуг для соціальної інфраструктури, такої як школи, лікарні, в'язниці. У цьому разі уряд, державний сектор є покупцем послуги.

Сьогодні програму Великої Британії можна вважати зрілою: підписано понад 900 проектів, багато з яких реалізуються у сфері соціальної інфраструктури. Це відображає пріоритети уряду, який намагається розв'язати дуже серйозну проблему завантаження банків, зокрема в галузі медицини та освіти, а також у транспортному секторі, в установах виконання покарань, у сфері обробки відходів, у військовому секторі та в секторі житлово-соціального найму. Більшість цих проектів здійснюється органами місцевої влади. У результаті із 100 проектів, що функціонує, у 80-90% випадках рівень їх виконання є задовільним. Аналіз показав, що державно-приватне партнерство є результативним у середовищі зі стабільною політикою. Дуже важливо, щоб державний сектор був незмінним і чітко визначив те, чого він хоче. З'ясовано, що державно-приватне партнерство не дуже добре працює на незначних проектах, оскільки складність та операційні витрати відносно високі. У цілому державно-приватне партнерство має величезне значення для підвищення стандартів надання послуг державним сектором Великої Британії [7].

Важливим є досвід державно-приватного партнерства у Франції. Країна мала значну практику державно-приватної взаємодії у сфері інфраструктури, але в основному у формі концесій. Правова база тут була стабільною і дуже слабкою.

У 2004 р. у Франції був прийнятий закон про державно-приватне партнерство. Існують різні підходи щодо вибору форми власності між повністю державним або спільним з приватним сектором підприємством. Наприклад, в Англії і не так давно в Німеччині вибір був зроблений на користь спільного з приватним сектором підприємства. У Франції вибір

зроблений таким чином, що тепер державно-приватне партнерство є кращою структурою, яка надає адміністративні послуги. Команда, що цим займається, виконує три завдання: ведення інформації, надання підтримки і допомоги в підготовці та підписанні договорів про партнерство. Крім того, вона здійснює оцінку, що є обов'язковою умовою для певних проектів, але для місцевої влади це альтернативний варіант. В європейських системах управління посідають важливе місце такі системи забезпечення якості, як TQM (Total Quality Management), SQMS (Scottish Quality Management System), ISO (International Standardization) та ін.

Пік зацікавленості процедурами забезпечення якості припав у світі на початок 90-х рр. XX ст. [8, с. 128].

В Російській Федерації державно-приватне партнерство розглядається як важливий інструмент для залучення вітчизняного й іноземного приватного капіталу, необхідного для задоволення потреб інфраструктури. Відповідальність за розвиток інфраструктури транспорту, міського господарства, соціальної сфери несуть органи державного управління. Розвиток об'єктів, що є складовими цієї інфраструктури, завжди пов'язаний з високими витратами. Розміри фінансування виходять за межі можливостей регіональних та міських бюджетів. Ці проблеми потребують розв'язання, адже розвиток інфраструктури безпосередньо забезпечує економічне зростання. Важливим також є питання якості надання державних послуг.

Тому для вирішення своїх завдань влада залучає приватний бізнес і вступає з ним у партнерські відносини. Для підприємців партнерство з владою означає зниження довгострокових ризиків ведення бізнесу [8, с. 9].

Особливістю системи державно-приватного партнерства є, зокрема, те, що для реалізації інвестицій з приватним партнером органи місцевого самоврядування не повинні мати власних фінансових коштів, а тільки володіти земельною ділянкою під забудову. Крім того, новий закон залишає сторонам самотійність визначення предмета угоди. Також він не обумовлює деталізованого змісту угоди, а перелічує тільки головні елементи, які мають бути включені в неї.

Досвід Італії у сфері державно-приватного партнерства демонструє значні переваги цієї форми правління. У країні активно застосовуються механізми впровадження і реалізації державно-приватного партнерства, його правові та економічні аспекти, концесійні механізми. Державно-приватне

партнерство є одним з найбільш перспективних та ефективних інструментів міського і регіонального економічного та соціального розвитку. Концесії – досить універсальний засіб розв’язання економічних проблем в Італії [10]. Вони є найбільш розвиненою прогресивною формою партнерства держави, органів місцевої влади та приватного сектора на сучасному етапі. Основними сферами застосування державно-приватного партнерства в Італії є транспорт, житлово-комунальна галузь. Ця форма управління державною власністю поширена в понад 120-ти країнах Європейського Союзу, Центральної і Латинської Америки, в Азії, Океанії, а також у Східній Європі та СНД.

Досвід формування державно-приватної взаємодії розповсюджується у всіх регіонах світу. Доведено, як свідчить аналіз міжнародної практики, найпоширенішими об’єктами державно-приватного партнерства є:

- житлово-комунальна сфера (виробництво і транспортування електроенергії, водопостачання, експлуатація та благоустрій);
- будівництво та утримання автошляхів;
- енергозбереження;
- експлуатація будівель бюджетного сектору економіки.

У результаті вивчення та аналізу досвіду європейських країн з’ясовано, що особливостями механізмів забезпечення державно-приватного партнерства є:

- довготривалість відносин між органами державної влади, місцевого самоврядування і приватними партнерами;
- збереження державної та комунальної форми власності на об’єкти з одночасним упровадженням механізмів управління інфраструктурою приватними партнерами;
- відкритість і прозорість діяльності органів державної та місцевої влади щодо визначення приватних партнерів;
- забезпечення надання якісних і здешевлених послуг як показник результативності й ефективності державно-приватного партнерства;
- поєднання ресурсів фінансово-кредитних установ під гарантії органів державної та місцевої влади;
- розподіл ризиків, визначення зобов’язань та відповідальності в договорі державно-приватного партнерства;

- захист інтересів та задоволення потреб громади, контроль за якістю надання послуг приватними партнерами, обговорення та моніторинг проектів за участю громадських організацій.

Таким чином, можна сформулювати, що недоліками європейського досвіду державно-приватної взаємодії є:

- короткострокові проекти між органами державної і місцевої влади та приватними партнерами, нестале планування, недостатня ініціатива приватного сектора щодо участі в соціально-економічному розвитку регіону та міста;

- наявність впливу прийняття політичних рішень у застосуванні державно-приватного партнерства, зокрема юридичний прецедент перегляду угод з приватними партнерами;

- недостатньо розроблена правова база та відсутність повноважень у місцевих органах влади щодо оформлення договорів з приватним сектором;

- зволікання з проведенням переговорів та підписанням угод, результатом чого є висока вартість витрат у проектах.

Висновки

На підставі аналізу практики застосування та підтримки державно-приватного партнерства в економічно розвинених країнах можна стверджувати, що кожна країна використовує свої інструменти сприяння розвитку державно-приватного партнерства. Високий рівень його застосування передбачає скоординовану діяльність урядів, органів державної і місцевої влади та приватних партнерів.

Пріоритетами забезпечення механізму державно-приватного партнерства в органах місцевого самоврядування є:

- використання фінансових ресурсів приватних партнерів у процесі реалізації місцевих програм та проектів; скорочення бюджетних витрат на розвиток необхідних об'єктів та реконструкцію інфраструктури;
- упровадження прогресивних технологій.

Основною перевагою державно-приватного партнерства для приватного сектора є можливість інвестувати у соціально-економічні проекти розвитку регіону, населеного пункту та брати в них участь.

Використання європейського досвіду ефективної державно-приватної взаємодії сприятиме застосуванню механізмів, ідеології та принципів державно-приватного партнерства щодо умов нашої держави на регіональному та місцевому рівнях.

Література

1. Варнавский В. Г. Концессии в транспортной инфраструктуре : теория, практика, перспективы / В.Г. Варнавский. – М. : ИМЭМО РАН, 2002. – 189 с.
2. Варнавский В. Г. Альянс на неопределенный срок / В. Г. Варнавский // ФельдПочта. – 2004. – № 29. – С. 5-11.
3. Варнавский В.Г. Государственно-частное партнерство в России: проблемы становления. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.strana-oz.ru>
4. Тараненко І.В., Охінько О.В. Бюлетень Міжнародного Нобелівського економічного форуму. 2011. № 1 (4)
5. Яковлев П.А. Государственно - частное партнерство: анализ международного опыта и перспектив / П.А. Яковлев // Коммунальное хозяйство городов: научно-технический сборник. – К.: Техника – 2010. - № 92. – С. 323-331.
6. Государственно - частное партнерство: проблемы и перспективы [Электронный ресурс] / В. Г. Варнавский. – Режим доступа : <http://news.liga.net/pr/NR080293.html>
7. Государственно-частное партнерство: новые возможности для развития инфраструктуры в странах с переходной экономикой : материалы междунар. науч.-практ. конф.(Москва, 21-22 окт. 2008 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://veb.ru/ru/PPP/pppconfi.html>
8. Бондаренко Е. Ю. Оптимизация рисков частно-государственного партнерства с участием международных финансовых институтов / Е. Ю. Бондаренко // Экон. науки. – 2008. –№ 5. –140 с.

Соколова Н.М., канд. екон. наук, Шкарівська Н.

АНАЛІЗ ДОСВІДУ ДЕРЖАВНО-ПРИВАТНОГО ПАРТНЕРСТВА В ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. Розглянуто світовий досвід впровадження державно-приватного партнерства в експлуатації автомобільних доріг, визначені задачі створення механізму його реалізації в дорожньому господарстві України.

Ключові слова: державно-приватне партнерство, ДПП, контракти, експлуатація доріг, аутсорсинг.

Аннотация. Рассмотрен мировой опыт внедрения государственно-частного партнерства в эксплуатации автомобильных дорог, определены задачи создания механизма его реализации в дорожном хозяйстве Украины.

Ключевые слова: государственно-частное партнерство, ГЧП, контракты, эксплуатация дорог, аутсорсинг.

Annotation. Considered the world's experience in implementing public-private partnerships to operate roads, set the task of creating a mechanism for its implementation in the road sector in Ukraine.

Keywords: Public-Private Partnership, PPP, contracts, maintenance of roads, outsourcing.

Постановка проблеми. Сучасні умови світового економічного розвитку в останні десятиріччя висунули новий підхід до взаємодії держави і приватного сектора - державно-приватне партнерство (ДПП), яке позиціонується як «нова технологія розвитку економіки».

Зміст і форми ДПП, а також способи його ефективного застосування в українському державному управлінні та в економічній політиці досліджені поки недостатньо. Зокрема, не знайшли достатнього відображення проблеми розробки механізму реалізації ДПП в дорожньому господарстві, особливо в сфері експлуатації автомобільних доріг. Їх вирішенню буде сприяти прийнятий в 2010 р. Закон України «Про державно-приватне партнерство», який визначає

організаційно-правові засади взаємодії державних партнерів з приватними партнерами та основні принципи державно-приватного партнерства на договірній основі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Після першого впровадження контрактів на засадах ДПП в 1988 р. в Канада [1] в різних країнах світу дорожніми адміністраціями (агентствами) був накопичений і узагальнений значний досвід впровадження ДПП, який детально проаналізовано в роботах [2,3,6,7,8], проте вітчизняні наукові джерела містять ще дуже мало розробок з теорії і практики ДПП взагалі і в дорожньому господарстві зокрема. Майже відсутні дисертаційні роботи з тематики ДПП.

Постановка завдання. На основі аналізу зарубіжного досвіду застосування контрактів ДПП в експлуатації доріг виявити основні економічні та технічні задачі впровадження ДПП в дорожньому господарстві України.

Виклад основного матеріалу. Основними формами реалізації ДПП є: контракт, оренда, концесія, угода про розподіл продукції, спільне підприємство [4,5]. В сфері експлуатації доріг найбільш поширені контракти. Вивчення зарубіжних джерел показує, що можна виділити такі моделі контрактів, в які включена експлуатація доріг [3]:

- Design-Build-Operate-Maintain та Design-Build-Finance-Operate – проектування, будівництво, експлуатація/управління, утримання (DBOM) і проектування, будівництво, фінансування, експлуатація/управління (DBFO) – чисті моделі ДПП, які називаються «моделями життєвого циклу», мінімізація вартості якого забезпечується якомога його довшою тривалістю. Основною відмінністю цих моделей є те, що DBOM використовує державне або муніципальне фінансування, а DBFO приватне фінансування з різних джерел;
- модель Альянсу – використовується в Австралії, Новій Зеландії та Англії. Вона базується на принципах проектного управління, створенні команди проекту, яка включає замовника, підрядника та інші зацікавлені сторони. Модель вважається дуже перспективною.
- Моделі з приватним фінансуванням, такі як DBFO та BOOT (B (build) – будівництво, O (own) – володіння, O (operate) –

експлуатація/управління, T (transfer) – передача) і її варіації – BOO, ВТО і BOT [4], все ширше використовуються в різних країнах світу [3]. Проте моделі BOT, ВТО, BOOT зустрічаються ще дуже рідко, звичайно в проектах платних доріг.

- Ефективність сучасних моделей ДПП є однією з причин їх використання, тому що ці моделі забезпечують краще співвідношення ціни та якості, скорочення фаз проектування і будівництва, стимулюють впровадження інновацій та покращують якість (більша довговічність елементів дороги), а також знижують вартість життєвого циклу дороги.
- Велика увага в світі приділяється реалізації принципів ДПП в контрактах на ремонти та утримання автомобільних доріг [1,2,3,6]. В останні роки в багатьох країнах світу триває стійка тенденція до використання так званого аутсорсингу (від англ. outsourcing - передача певних виробничих функцій іншій компанії, що спеціалізується у відповідній області) в управлінні дорогами, ремонті та утриманні доріг. Дорожні агенства набули впевненості в успіху утримання на основі аутсорсингу, а сфера його застосування постійно розширюється. В даний час деякі дорожні агенства укладають контракти, які охоплюють всі аспекти управління мережею доріг та її утримання на термін до десяти років. До того ж, такі контракти включають зимове утримання і управління аварійними роботами, поточний і капітальний ремонт доріг [6]. Застосовуються форми безпосередньої взаємодії з підрядником або через так звані консультаційні фірми.
- Відомі такі моделі контрактів [3,7,8]:
 - **традиційна модель** – роботи виконуються власними ресурсами дорожнього агенства. Якщо буде укладено контракт з приватним сектором в рамках традиційного підходу, застосовуються переважно методи так званої специфікації (способи, технології, матеріали та їх об'єми, а також і терміни проведення робіт), за допомогою якої дорожні агенства здійснюють контроль над тим, які матеріали і як витрачаються під час виконання робіт. Зворотною стороною є те, що в традиційних моделях контрактів мають місце великі навантаження на

агентство для підтримки власних персоналу та обладнання, рівня, необхідного для утримання дорожніх мереж;

- **модель однієї діяльності** - застосовується дорожнім агенством у випадку аутсорсингу підряднику, який може виконати роботи з одного певного виду діяльності за більш низьку ціну та більш ефективно. Якщо діяльність вважається ризикованою, то гарантії виконання ґрунтуються на застосуванні методу специфікацій, проте на основі методів специфікації краще виконувати діяльність, якій не вистачає чітких критеріїв ефективності.;
- **модель спільного виконання** – застосовується, коли об’єми роботи занадто великі для внутрішніх ресурсів дорожнього агенства. Частина роботи виконується власними силами, а залишок передається підряднику. Ця модель добре підходить для виконання періодичних ремонтів (капітальних або поточних), непередбачених аварійних робіт, для суворих погодних умов або часових обмежень на виконання робіт;
- **довгостроковий окремий контракт на ремонт та утримання** – укладається на період 5-10 років. Більша тривалість контракту дозволяє підряднику отримати віддачу від інвестицій, якщо обладнання для робіт коштує дорого. Діяльність за контрактом поширюється на багато регіонів або по всій країні. Це допомагає дорожньому агенству в виконанні ризикованих робіт, які можуть знаходитись за межами його основної спеціалізації. Наприклад, аутсорсинг обслуговування мостів, застосування гербіцидів, тощо;
- **рамкова модель** - група підрядників попередньо затверджує номінальні контракти, що дозволяє їм працювати на майбутні проекти у ротаційному стилі. Підрядники обіцяють мінімальну вартість робіт з номінальною контракту. Цей метод включає адміністрування замовлень на виконання робіт, для кожного підрядника завдання стають доступними. Нагородження підрядників за методом рамкового контракту може заощадити час і гроші на внутрішні ресурси за рахунок скорочення кількості пакетів пропозицій. Потенційно для цього швидкого стилю вибору контрактів рекомендуються термінові проекти. Експлуатаційні якості, а також метод і гарантії, засновані на специфікації, можуть бути основою моделі;

- **модель помірного групування робіт** – підряднику передається тільки невелика кількість видів діяльності з подібною природою і послідовністю робіт, наприклад, прибирання і вивезення сміття. Групування видів діяльності дозволяє зменшити кількість контрактів і, тим самим, накладні витрати дорожнього агенства. Ця модель може бути другим кроком дорожніх агенств, які мають досвід впровадження аутсорсингу. Дорожнє агенство може впровадити таку модель при наявності у нього достатніх ресурсів для інспектування стану елементів доріг, включених в контракт. Можуть бути застосовані експлуатаційні показники, а для ризикованих видів діяльності – метод, який базується на специфікаціях робіт;
- **частково конкурентна модель** – аутсорсинг здійснюється в деяких видах діяльності, а інші виконуються власними силами. Власний персонал дорожнього агенства і потенційні підрядники після оголошення ціни конкурують за об'єм аутсорсингових робіт. Конкуренція примушує штатних працівників агенства впроваджувати інновації та удосконалювати практику утримання доріг. Ця модель може розглядатися як проміжний етап переходу до повністю відкритого конкурсу;
- **модель контракту на утримання доріг** – всі роботи з утримання доріг виконуються на основі аутсорсингу. Ця модель відома як контракт всебічного управління активами (Total Asset Management contract), тобто дорогами, в якому визначені показники потрібного експлуатаційного стану і застосовується одноразова сума виплати. Виключення окремих контрактів призводить до скорочення витрат дорожнього агенства;
- **інтегрована модель утримання** - аутсорсинг комбінує як ремонт, так і утримання доріг в один контракт. Ця модель допомагає згрупувати ще більше заходів і таким чином сприяє зниженню витрат агенства;
- **модель значного групування робіт** – аутсорсинг всіх робіт з ремонтів та утримання, за винятком кількох, які є унікальними, ризикованими або які краще оцінювати в індивідуальному порядку. Ця модель відрізняється від моделі помірного групування тим, що вона містить більше ремонтних робіт у договорі. Її потрібно

застосовувати агенствам з великим досвідом аутсорсингу. Модель підходить для підрядників, які мають можливість працювати із значним навантаженням;

- **модель всебічного управління активами** - полягає в збереженні дороги протягом її життєвого циклу. Дорожні агентства передають обслуговування, ремонт і реконструкцію доріг одному постачальнику послуг. Тривалість контракту становить 5 і більше років. На основі показників якості стану доріг відбувається перехід ризику від агентства до підрядника. Агентство повинне мати такий набір якісних критеріїв, який в змозі інспектувати;
- **модель альянсу** – підрядник вибирається на основі кваліфікації а не ціни, Після вибору підрядника формується «Команда Альянсу», що складається як з персоналу підрядника так і з персоналу агентства для управління контрактом. Підрядник має можливість отримати прибуток або збиток 15% від вартості контракту. Після вибору підрядника агентство веде переговори про фіксовану ціну на роботу і узгоджує гонорар у вигляді прибутку. Така модель в максимальній мірі реалізує принципи проектного управління. Це допомагає зменшити потенційні конфлікти, які можуть виникнути між договірними сторонами в порівнянні з іншими моделями. Тільки експлуатаційні показники повинні бути використані для оцінки роботи підрядників;
- **модель кілометр за місяць** - контракт не включає в себе роботи з капітального і поточного ремонтів, тому дороги повинні бути в задовільному або доброму стані. Оплата заснована на фіксованій сумі на кілометр дороги, який підтримуються протягом місяця. Контракт включає в себе пільговий період від 3 до 4 місяців, який надається підряднику для ліквідації існуючих недоліків.
- **модель контракту CREMA (Combined Rehabilitation and Maintenance Method – метод комбінування відновлення та утримання)** – підрядник спочатку відновлює мережу доріг, а потім утримує її. Модель вважається ідеальною, оскільки вона стимулює підрядника звернути пильну увагу на відновлення, так як він повинний підтримувати дорогу пізніше.

Застосування аутсорсингу стимулювало необхідність обґрунтування і оцінки ступеню досягнення цілей контракту на основі індикаторів експлуатаційного стану утримуваних елементів дороги. Наприклад, для дорожнього одягу індикаторами є: коефіцієнт запасу міцності, показник рівності, коефіцієнт зчеплення, розміри пошкоджень (колійність, вибоїни, тріщини, тощо). Контракти, які базуються на подібних показниках, дістали назву контрактів на основі показників якості [1,2]. Це тип контракту, в якому оплата робіт з утримання дорожньої інфраструктури безпосередньо пов'язана з виконанням або перевиконанням підрядником вимог до показників експлуатаційного стану елементів доріг. Підрядник отримує оплату не за об'єми виконаних робіт, а за забезпечений ним стан дороги. Невиконання якісних показників або несвоєчасне виправлення виявлених дефектів спричиняє накладення штрафів. При дотриманні показників, оплата підряднику здійснюється в повному обсязі [2]. Контракти на основі показників якості є методом, який забезпечує підряднику стимули (або перешкоди) в досягненні бажаних результатів. В чистій формі такі контракти не деталізують як, коли або де виконуються роботи [7].

Основними перевагами контрактів на основі показників якості є [2]:

- економія коштів на 10-40%;
- повний контроль агенства над витратами без змін об'ємів робіт;
- скорочення власної робочої сили дорожнього агенства;
- покращення експлуатаційного стану доріг;
- більше задоволення користувачів доріг;
- багаторічне фінансування програм утримання доріг.

Існують також і певні труднощі впровадження таких контрактів:

- проблема розподілу ризиків між залученими сторонами;
- встановлення партнерських відносин;
- потреба персоналу агенства в нових знаннях для ефективних розробки, впровадження та супроводження контрактів;
- зменшення чисельності персоналу агенства;
- відповідність контракту розмірам ринку підрядників в країні;
- чітке визначення показників якості виконання контракту;
- створення механізмів заохочення і штрафування;

- проблема гарантування фінансування багаторічних контрактів;
- встановлення взаємних платіжних зобов'язань і відшкодування збитку між замовником і підрядником, тощо.

Аналіз показав, що для вирішення проблем, які висуває впровадження ДПП в дорожньому господарстві, потрібне розв'язання економічних і технічних задач, неповний перелік яких включає:

- дослідити хронологію і виділити етапи формування та розвитку ДПП у світовій практиці;
- виконати аналіз законодавчо-нормативного забезпечення ДПП в Україні;
- оцінити стан, перспективи та проблеми розвитку ДПП в дорожньому господарстві України;
- проаналізувати сучасні макроекономічні умови і тенденції, виявити і систематизувати фактори, що впливають на механізми реалізації ДПП та державне стимулювання ДПП в дорожньому господарстві;
- визначити найбільш відповідні сучасним економічним умовам моделі ДПП в дорожньому господарстві України;
- оцінити стан нормативів, які регламентують експлуатаційні якості доріг;
- розробити моделі економічного обґрунтування рівня обслуговування доріг та їх елементів;
- конкретизувати моделі розподілення ризиків між замовником і підрядником;
- розробити моделі оцінки вартості контрактів, що засновані на показниках експлуатаційних якостей елементів доріг;
- розробити методичні основи формування інтегрованої оцінки ефективності контрактів.

Висновок

Створення економічних, технічних та організаційних умов і механізмів реалізації ДПП в дорожній галузі України являє собою актуальну, але недостатньо досліджену проблему, вирішення якої буде сприяти підвищенню ефективності експлуатації автомобільних доріг.

Література

1. Privatization of road and bridge maintenance in British Columbia. Transfer of public employees to the private sector, British Columbia experience. / Earl A. Lund, P. Eng., Lund Consulting Ltd. // Presented to the world bank road management training seminar, Washington, D.C., december 18, 1996. – 4 p.
2. Содержание и улучшение дорожной инфраструктуры с помощью контрактов, основанных на показателях качества работ / Н. Станкевич, Н. Кюреши, Ц. Кейроз // Транспортный бюллетень TN-27. – Вашингтон (США): Всемирный банк. – Сентябрь, 2005. – 14 с.
3. Pekka A. Pakkala. “International overview of innovative contracting practices for roads”, Finnish Road Administration, Helsinki, 2007. – 108 p.
4. Дерябина М. Государственно-частное партнерство: теория и практика. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://institutions.com/general/1079-gosudarstvenno-chastnoe-partnerstvo.html>
5. Максимов В.В. Государственно-частное партнерство в транспортной инфраструктуре: критерии оценки концессионных конкурсов / В.В. Максимов. – М.: Альпина Паблишерз, 2010. – 178 с.
6. Procurement Models for Road Maintenance. / Tony M Porter, New Zealand // Best Practices in Contracting Routine Maintenance Services – From Managed Outsourcing to Full Private-Sector Delivery Session of the 2005 Annual Conference of the Transportation Association of Canada Calgary, Alberta
<http://yandex.ru/yandsearch?text=Procurement+Models+for+Road+Maintenance&clid=41139&lr=213>
7. Performance-Based Contracting for Maintenance. *A Synthesis of Highway Practice*. NCHRP Synthesis 389. // Transportation Research Board, Washington, D.C., 2009. – 117 p.
8. A literature review on alternative highway maintenance procurement strategies. / De la Garza, Arcella // 6th Annual Inter-university Symposium on Infrastructure Management (A.I.S.I.M) June 19, 2010, University of Delaware, 2010. – 17 p.

Татусь В.В.

КОНЦЕПТУАЛЬНА СХЕМА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ МІНІМІЗАЦІЇ РИЗИКІВ В УПРАВЛІННІ ПРОЕКТАМИ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. Запропонована концептуальна схема побудови імітаційної моделі процесу реалізації проекту автомобільної дороги для оцінки ризиків та алгоритмів управління ризиками проекту.

Ключові слова: управління проектами автомобільних доріг, управління ризиками, моделювання ризиків, агрегат, агрегативна система, імітаційна модель.

Аннотация. Предложена концептуальная схема построения имитационной модели процесса реализации проекта автомобильной дороги для оценки рисков и алгоритмов управления рисками.

Annotation. The proposed conceptual scheme of the simulation model of the process of road project for risk assessment and risk management algorithms.

Постановка проблеми. Врахування ризиків є одним з найбільш важливих елементів управління інфраструктурними проектами для зменшення перевитрат коштів і великих затримок в реалізації, що переслідують великі державні проекти, до яких відносяться автомобільні дороги та мостові переходи.

В роботах [1,2] показано, що 9 з 10 проектів транспортної інфраструктури мали в середньому перевитрати на 28% (44,7% залізниці, 33,8% мости і тунелі і 20,4% дорожні проекти). Вирішення проблеми пошуку засобів утримання в розумних межах проектних вартості і часу за рахунок більш адекватної оцінки ризиків та можливостей, які потенційно можуть вплинути на проект, на основі імітаційного моделювання має велике теоретичне і практичне значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В літературі з управління проектами механізм управління ризиками почав розглядатись у середині 1980-х років. Сформувався процес управління ризиками на основі аналізу фінансових та часових втрат. Наприкінці 1990-х років були створені нові методики

управління ризиками, які ґрунтувались на досвіді зниження ступеню дії несприятливих подій до прийнятного рівня.

Причинами ризику є вплив на процес реалізації проекту зовнішніх та внутрішніх випадкових факторів та невизначеності, яка трактується не лише у розумінні відсутності вичерпного знання, а й як постійна змінюваність умов, трансформація, швидка та гнучка переорієнтація складної системи. Тому, за даними аналізу останніх досліджень, основні вживані в теорії і практиці моделі оцінки ризику відносяться до класу стохастичних.

Відомі методи аналізу проектних ризиків базуються на: аналізі чутливості результатів до змін параметрів проекту, стохастичних моделях, імітаційному моделюванні з використанням методу Монте-Карло, динамічних моделях на ідеях системної динаміки Форрестера, моделях дерева рішень, тощо.

В сфері управління проектами автомобільних доріг можна відмітити, як приклад, роботи [3,4,5], в яких регламентуються або рекомендуються моделі оцінки і прогнозування ризиків на основі експертних оцінок законів розподілу вірогідності випадкових факторів ризику і застосування методу Монте-Карло для імітації впливу ризикованих подій. Однак, як показав аналіз, імітація впливу ризиків на очікувані результати реалізації проектів не враховує алгоритмів оперативного управління ризиками.

Постановка завдання. Потрібно розробити концептуальну схему імітаційної моделі ризиків реалізації проектів, яка б враховувала специфіку проектів автомобільних доріг, містила в собі алгоритми оперативної зміни параметрів проекту з метою мінімізації негативного впливу ризиків.

Виклад основного матеріалу. Проект автомобільної дороги - це діяльність, призначена для будівництва або реконструкції автомобільної дороги і її подальшого обслуговування (ремонту та утримання) до наступної реконструкції або закриття дороги.

Проектний ризик – поняття, яке складається з трьох елементів: "фактор", "подія" і "вплив". Фактори – це потенційні причини, що перешкоджають досягненню мети. Події, спричинені цими факторами, відбуваються з деякою ймовірністю, тобто як безпосередні причини, що перешкоджають досягненню мети. У результаті подій, відбувається "вплив" на параметри виконання проекту [6]. Розділення ризику на три елементи дає можливість встановити чіткий зв'язок між ними і правильне розуміння ризику.

Прогнозування ризику і управління ним на основі аналітичних математичних моделей може дати лише грубе наближення до дійсних значень досліджуваних показників з причини недостатнього відображення ними взаємодії випадкових процесів і реагування на них керуючої підсистеми проекту. В той же час, імітаційне моделювання - це процес конструювання моделі реалізації реальної системи і постановки експериментів на цій моделі з метою або зрозуміти поведінку системи, або оцінити (в рамках обмежень, які накладаються деяким критерієм або сукупністю критеріїв) різні стратегії, що забезпечують функціонування даної системи [7].

Реалізація проекту автомобільної дороги – це складний, динамічний, стохастичний процес з управлінням, тому імітаційна модель повинна мати відповідні алгоритми і відтворювати прийняття управлінських рішень, які приводять до структурних змін в проекті або до змін параметрів робіт проекту.

В якості математичного апарату імітаційної моделі можна використати концепцію, яка ґрунтується на схемах кусочно-лінійного агрегату та агрегативної системи [8,9] з кусочно-постійною структурою.

Агрегат, як перетворювач інформації, – це об'єкт, який має внутрішній стан, отримує управляючі та вхідні сигнали і видає вихідні сигнали (рис. 1).

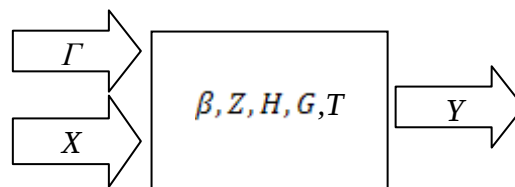


Рис. 1. Схема агрегату

Внутрішній стан агрегату характеризується:

- 1) вектором параметрів $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_n) \in B$;
- 2) множиною внутрішніх станів агрегату Z , яка представляється у вигляді об'єднання $\bigcup_v \Gamma_v$, де Γ_v - замкнута підмножина багатомірного простору з розмірністю v , яка задає область стану агрегату;
- 3) вектором простору станів:

$$Z = (v, z_1, z_2, \dots, z_v), \quad (1)$$

де v - розмірність вектору простору станів;

z_v – вектор координат простору станів, який змінюється рівномірно і прямолінійно:

$$\frac{dz_v}{dt} = -\alpha_v, \quad (2)$$

де α_v - постійний вектор, розмірності v ;

4) оператором переходів H , який визначає нову область стану агрегату Γ'_v при виході однієї з координат поточного стану на границю простору станів або при надходженні вхідного сигналу;

5) оператором виходів G , який визначає вихідний сигнал Y ;

6) T – множина моментів часу, в які агрегат змінює область стану Γ_v .

Область станів агрегату змінюється також при надходженні вхідного або управляючого сигналу, які приймають свої значення з множин X і Γ відповідно, $\Gamma_v \Rightarrow \Gamma'_v$.

Елементарним прикладом агрегату може бути модель, скажімо, роботи, яка створює технологічний заділ для можливості виконання наступної залежної від даної роботи:

$$Z = (2, z_1, z_2), \quad (3)$$

де z_1 - час, що залишився до створення потрібного заділу, $\alpha_1 = -1$;

z_2 – час, що залишився до закінчення роботи, $\alpha_2 = -1$.

Якщо $z_1 = 0$, то в агрегат видає вихідний сигнал в агрегат, який моделює виконання наступної роботи.

Якщо робота, в свою чергу, залежить від попередньої роботи і їй потрібний заділ для початку виконання, то при надходженні в агрегат сигналу від попередньої роботи визначаються:

$$z_1 = \xi_1, \quad (4)$$

$$z_2 = \xi_2, \quad (5)$$

де ξ_1 – випадкова реалізація величини z_1 , яка отримується методом Монте-Карло за заданим законом розподілення (практично, гістограмою). Аналогічно розігрується і ξ_2 .

Агрегати взаємодіють між собою шляхом обміну сигналами, утворюючи при цьому агрегативну систему (рис. 2).

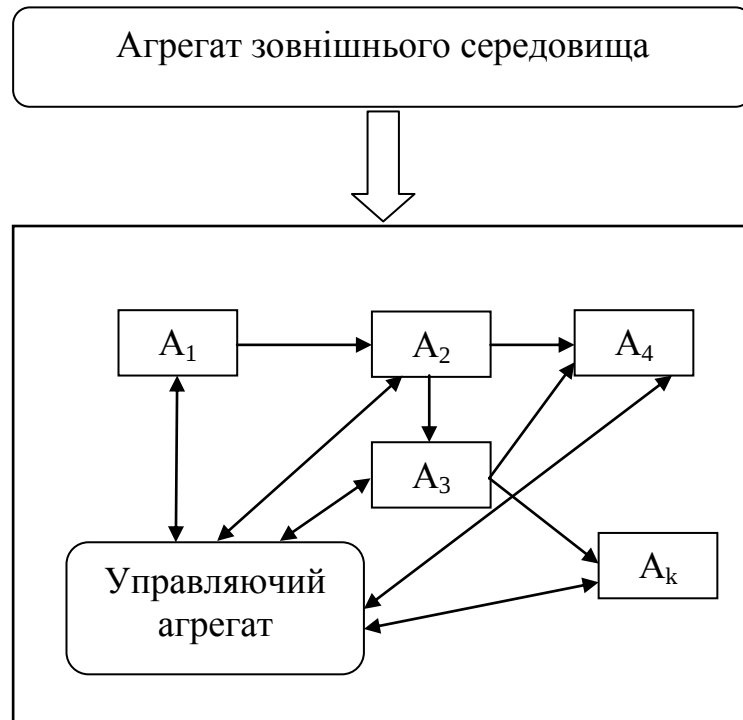


Рис. 2. Агрегативна система

Особливе місце займає управляючий агрегат. Його роль полягає у можливій зміні структури системи, що в управлінні проектом означає зміну параметрів робіт проекту або їх послідовності або змісту проекту, тощо, тобто таким чином моделюються оперативні управління, в тому числі, пов'язані з реагуванням на дії факторів ризику. Управляючий агрегат, коли відбуваються ризикові події, за допомогою спеціального алгоритму проектує реагування на ці події і змінює структуру агрегативної системи та видає управляючі сигнали. Тому агрегативна система має кусочно-постійну структуру.

Зовнішнє середовище також можна моделювати схемою агрегату або агрегативною системою. Агрегати можуть бути спеціалізованими за видами ризиків.

За допомогою агрегативних систем можна моделювати складні структури робіт проекту з урахуванням дії випадкових факторів, наприклад, представлені сітьовими графіками, графіками Ганта або іншими способами. Ці структури повинні бути введені в модель як вихідні дані, на основі яких автоматично будується склад і зв'язки агрегативної системи. Графіки можуть перепроєктовуватись управляючим агрегатом, що призводить до змін структури агрегативної системи.

Послідовність зміни стану агрегатів системи утворює випадкову траєкторію руху системи в просторі станів її агрегатів. Кожній можливій траєкторії можна поставити значення функціоналу – оператора, заданого на деякій множині функцій (в деякому функціональному просторі) і приймаючого значення з області дійсних чисел. Множина траєкторій, отриманих при одних і тих же умовах імітації, формує вибірку значень функціоналу, яка оцінюється методами математичної статистики. На відміну від аналітичних моделей, імітаційна модель дозволяє обчислити одночасно довільну кількість функціоналів, наприклад, вартість і тривалість проекту, сумарний вплив факторів ризику, тощо. Запропонована схема імітаційної моделі дозволяє обґрунтувати також ефективність алгоритмів управління, здійснюваного в процесі реалізації проекту, в тому числі, алгоритмів управління ризиками.

Агрегативна система структурно розділяється на декілька підсистем відповідно до фаз реалізації проекту автомобільної дороги: передпроектної, проектування, пропозиції та затвердження ціни, будівництва, експлуатаційної (ремонти та утримання дороги в процесі експлуатації). Для кожної з цих фаз ідентифікуються можливі фактори ризику, складаються їх списки і визначаються гістограми законів розподілу часу між подіями виникнення небезпеки або гістограми законів розподілу часу виконання робіт проекту. Приклад технології побудови гістограм наведено в роботі [3]. Списки ризиків слугують основою для формування агрегату, який моделює випадковий процес їх здійснення, подібно наведеному вище прикладу (3,4,5).

Модель системи повинна включати агрегати, які моделюють систему резервування (коштів, матеріалів, виробничих потужностей, тощо) і систему страхування проектних ризиків, для оцінки і вибору раціональних засобів вирішення цих питань.

Висновок

Запропонована концепція агрегативної системи як моделі процесу управління проектами автомобільних доріг може бути ефективною для подальшої розробки імітаційної моделі мінімізації ризиків з алгоритмізацією процесів управління здійсненням проектів і створення відповідної комп'ютерної програми, яка дозволить оцінити прогнозовані ризики і методи реагування на них.

Література

1. Flyvbjerg, Bent, Mette S. Holm, and S. Buhl. (2002). "Underestimating Costs in Public Works Projects," *Journal of American Planning Association*, Vol. 68, No. 3, 279-295.
2. Flyvbjerg, B., Holm, M. K. S., and Buhl, S. L. (2003b). "How common and how large are cost overruns in transport infrastructure projects?" *Transport Reviews*, Taylor & Francis Ltd, UK, Vol. 23, No. 1, 71-88.
3. Project Risk Management Guidance for WSDOT Projects. Washington State Department of Transportation, July 2010. – 96 p.
4. Quantitative risk analysis of road projects based on empirical data in Japan // Yukiya Sato, Keiichi Kitazume, Kazuaki Miyamoto, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 6, 2005. - pp. 3971 – 3984.
5. Risk Evaluation and Financial analysis for Road Maintenance on Urban Expressway Based on H-BMS. // Yasuhito Sakai, Mitsuru Jido, Hitoshi Furuta, Kiyoshi Kobayashi. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://psa2.kuciv.kyoto-u.ac.jp/lab/images/stories/research/2010/IABMAS2010.pdf>.
6. http://science-bsea.bgita.ru/2006/ekonom_2006/aleshina_osoben.htm.
7. Stanley Kaplan' and B. John Garric. On The Quantitative Definition of Risk. *Risk Analysis*, Vol. I , No. I , 1981, p. 11-27.
8. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем: искусство и наука. - М.: Мир, 1978. – 418 с.
9. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1968. – 355 с.
10. Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем. М., Изд-во «Советское радио», 1973. - 440 с.

УДК 625.725

Корольков Р.О., канд.техн.наук, Петрович В.В., канд.техн.наук, Каськів С.В.

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПОВЕРХНІ КОВЗАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ
СТІЙКОСТІ АРМОВАНИХ ГЕОСИНТЕТИЧНИМИ МАТЕРІАЛАМИ
УКОСІВ НАСИПІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**

Анотація. У статті розглянута можливість заміни круглоциліндричної поверхні ковзання на плоску при розрахунку стійкості армованих укосів насипів автомобільних доріг.

Ключові слова: поверхня ковзання, укіс, геосинтетичні матеріали, автомобільна дорога, ґрунтова споруда.

Аннотация. В статье рассматривается возможность замены круглоцилиндрической поверхности скольжения на плоскую при расчете стойкости армированных откосов насыпей автомобильных дорог.

Ключевые слова: поверхность скольжения, откос, геосинтетические материалы, автомобильная дорога, грунтовое сооружение.

Annotation. In the article possibility of replacement to the circular cylindrical shute is examined on flat at the calculation of firmness of the reinforced slopes of embankments of highways.

Keywords: shute, slope, geosynthetic materials, highway, ground building.

У дорожній галузі основними ґрунтовими спорудами є насипи. Першочергове значення при їх влаштуванні має стійкість таких споруд, особливо, їх укосів. На автомобільних дорогах загального користування України, найбільша кількість насипів розташована на дорогах II категорії в діапазоні висот від 6 м до 10 м. Як показує аналіз стану цих насипів, середній відсоток деформацій на них становить 31,1 %. Основний вид деформацій (понад 70 %) це деформації узбіч, розмиви і зсуви укосів насипів. Тому забезпечення стійкості укосів насипів за допомогою застосування геосинтетичних матеріалів є актуальною задачею.

Як свідчить практика, існують випадки руйнування армоґрунтових конструкцій. Це пов'язано з недостатнім вивченням процесів взаємодії ґрунту насипу та армуючого прошарку.

Актуальність забезпечення стійкості насипів обґрунтовується також ускладненням умов будівництва та експлуатації автомобільних доріг (зростання осьових навантажень, швидкостей руху, інтенсивності транспортного потоку); зміною структури і властивостей ґрунтів внаслідок впливу природних факторів та зовнішніх навантажень.

Досвід експлуатації ґрунтових споруд свідчить, що реальні поверхні ковзання не є ні плоскими, ні круглоциліндричними і, як правило, спочатку на поверхні споруди утворюється тріщина, а поверхня ковзання має криволінійний характер.

За даними багатьох авторів перед руйнуванням у утворюється тріщина, а площадки ковзання виникають, лише починаючи з глибини:

$$h_{90} = \frac{2 \cdot c}{\gamma} \operatorname{ctg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (1)$$

де c – питоме зчеплення ґрунту;

γ – об'ємна вага ґрунту;

φ – кут внутрішнього тертя ґрунту.

Враховуючи цей факт, формулу (1) потрібно враховувати у подальших розрахунках, але не на етапі проектування, а на етапі конструювання, при розрахунках, частину призми зсуву, яку обмежує тріщина, потрібно враховувати сумісно із всією призмою зсуву, з метою підвищення точності розрахунків для забезпечення запасу міцності конструкції.

В основному нормативному документі у дорожній галузі ДБН В.2.3-4 не конкретизується метод розрахунку стійкості укосів насипів та форма поверхні ковзання. У суміжних галузях також не конкретизують методи розрахунку, а вказують, що стійкість укосів потрібно перевіряти за можливими поверхнями зсуву (круглоциліндричними, ломаними тощо) із знаходженням самої небезпечної призми обвалення, що характеризується мінімальним відношенням узагальнених граничних утримуючих сил опору до активних сил зсуву.

У [1] наведено приклади розрахунку як для плоских, так і для круглоциліндричних поверхонь ковзання.

У зарубіжних нормах [2, 3] розглядають три поверхні ковзання: циліндричну; логарифмічну спіраль і лому (дві гілки) поверхні ковзання.

Критерієм стійкості насипів згідно з СНиП 2.01.15, СНиП 2.06.05 та ДБН В.1.1-3 є дотримання (для самої небезпечної призми обвалення) нерівності:

$$\gamma_f \cdot T \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} \cdot R, \quad (2)$$

де γ_f – коефіцієнт поєднання навантажень (надійності по навантаженню), для основного випадку $\gamma_f = 1,00$, для особливого $\gamma_f = 0,90$, для будівельного періоду $\gamma_f = 0,95$;

T – розрахункове значення загальної активної сили зсуву;

γ_c – коефіцієнт умов роботи, на стадії експлуатації приймають $\gamma_c = 1,0$;

γ_n – коефіцієнт надійності, що враховує ступінь важливості споруди;

R – розрахункове значення загальної активної сили граничного опору зсуву, яке потрібно визначати із врахуванням коефіцієнта надійності по ґрунту γ_g .

У ДБН В.1.1-3 відношення коефіцієнтів $\frac{\gamma_n \cdot \gamma_f}{\gamma_c}$ характеризує мінімальний запас затримуючих сил по відношенню до сил зрушення і називається нормованим значенням коефіцієнта стійкості схилу (укосу). При настанні граничних станів значення цього коефіцієнта при основних сполученнях навантажень повинно дорівнювати відповідно для захисних споруд першого ступеня відповідальності – 1,35 та 1,25; другого – 1,3 та 1,2; третього – 1,25 та 1,15; четвертого – 1,2 та 1,1. При особливих сполученнях навантажень: для

першого – 1,3 та 1,2; другого – 1,25 та 1,15; третього – 1,2 та 1,1; четвертого – 1,15 та 1,05.

Перші розрахунки стійкості укосів ґрунтових споруд передбачали плоску поверхню ковзання. Плоска поверхня ковзання або та що до неї наближується виникає у спорудах із пісків або піщано-гравійних ґрунтів, а також її приймають при розрахунках підпірних стін.

На сучасному етапі проектування автомобільних доріг при проектуванні насипів у типових умовах (на основах і із ґрунтів регламентованих будівельними нормами і стандартами) згідно із [4] закладання укосів змінюється від 1:4 до 1:1,5. Ці закладання укосів, як правило, забезпечують стійкість насипів або їх укосів. Але у типових умовах не виникає необхідність у застосуванні рішень із посилення (армування) укосів насипу або зміни його крутизни.

Тому однією із задач розрахунку армованих укосів є обґрунтування форми поверхні ковзання призми обвалення, тобто прийняття індивідуальних (для кожного об'єкта своїх) проектних рішень. У даному випадку економічна доцільність в армуванні виникає при закладанні укосів насипу від 1:0,577 до 1:0,364, тобто у діапазоні від 60° до 70° , оскільки від 70° до 90° конструктивні рішення з армування або укріплення укосів насипів відносять до підпірних стінок, у нашому випадку – армоґрунтові підпірні стінки. Питання проектування підпірних армоґрунтових стінок розроблено як у вітчизняній, так і у зарубіжній практиці.

Тобто, поставлена задача, яку поверхню ковзання приймати для насипів із закладанням укосів від 60° до 70° , оскільки, як правило, для насипів з укосами до 60° приймають – круглоциліндричну, а для 70° і більше – плоску.

Детальна робота виконана Г.Л. Фісенком, М.О. Рєвазовим і Е.Л. Галустьяном [5] свідчить, що похибка у визначенні величини коефіцієнта запасу стійкості укосу, при заміні круглоциліндричної поверхні ковзання на плоску, для $\delta = 60^\circ$ складає близько 15 %. Зі збільшенням кута δ похибка зменшується, і при $\delta = 90^\circ$ плоска і круглоциліндрична поверхні ковзання зливаються.

Для підтвердження цих тверджень, авторами виконано велику кількість розрахунків, як інженерних – з безпосереднім пошуком поверхні ковзання з використанням графіків і метода Янбу, так і з використанням сучасного програмного забезпечення "Откос" проектного програмного комплексу для

проектування автомобільних доріг CREDO. Для різних вихідних умов і різних розрахункових схем отримано поверхні ковзання і коефіцієнти стійкості, які порівнювали із отриманими за розробленим авторами методом при плоскій поверхні ковзання. Метод і отримані залежності наведені нижче.

Схема порівняння поверхонь ковзання за методом Янбу і плоскою поверхнею ковзання для насипу висотою 10 м, кутом нахилу укосу 60° , питомою вагою ґрунту 18 кН/м^2 , кутом тертя ґрунту 25° і зчепленням ґрунту 10 кПа, наведена на рис. 1.

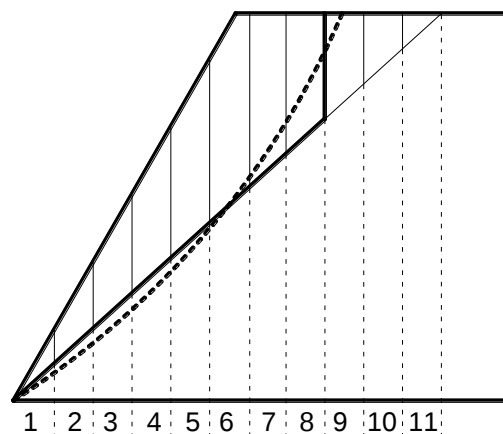


Рис. 1. Схема порівняння поверхонь ковзання за методом Янбу і плоскої поверхні ковзання (ППК) для насипу висотою 10 м і кутом закладання укосу 60°

Результати порівняння поверхонь ковзання за методом Янбу і отриманими за допомогою програми "Откос" у деяких випадках мають розбіжності як у визначенні положення поверхні ковзання, так і в отриманих коефіцієнтах стійкості. Наприклад, для насипу висотою 10 м і даних, які характеризують насип на рис. 1 коефіцієнт стійкості за методом Янбу становить 0,804, для аналогічних умов за програмою "Откос" коефіцієнт стійкості складає 1,0, а поверхня ковзання має зовсім інше розташування.

Слід зауважити, що аналіз отриманих поверхонь ковзання і коефіцієнтів стійкості укосу за програмою "Откос" дає неоднозначні результати, наприклад, при визначенні коефіцієнтів стійкості укосу, при однакових вихідних даних, для насипу висотою 10 м становить 1,0, а для насипу 5 м – 0,996, проте для насипу 3 м вже – 1,257. Теж стосується коли для однієї висоти насипу та інших вихідних умов змінювали кут внутрішнього тертя ґрунту насипу отримали: для

$\varphi = 16^\circ k_{cm} = 0,999$; $\varphi = 20^\circ k_{cm} = 1,0$; $\varphi = 25^\circ k_{cm} = 0,996$. Тому для подальшого аналізу і розрахунків приймали метод Янбу.

Результати порівняння за цим методом і методом плоских поверхонь ковзання наступні (рис. 2–4).

Аналіз результатів, що наведені на рис. 2–4 свідчить, у першому випадку про задовільну, а в інших випадках про високу кореляцію коефіцієнтів стійкості за методом Янбу і методом ППК для насипів із різних ґрунтів із закладанням укосів у діапазоні від 60° до 70° .

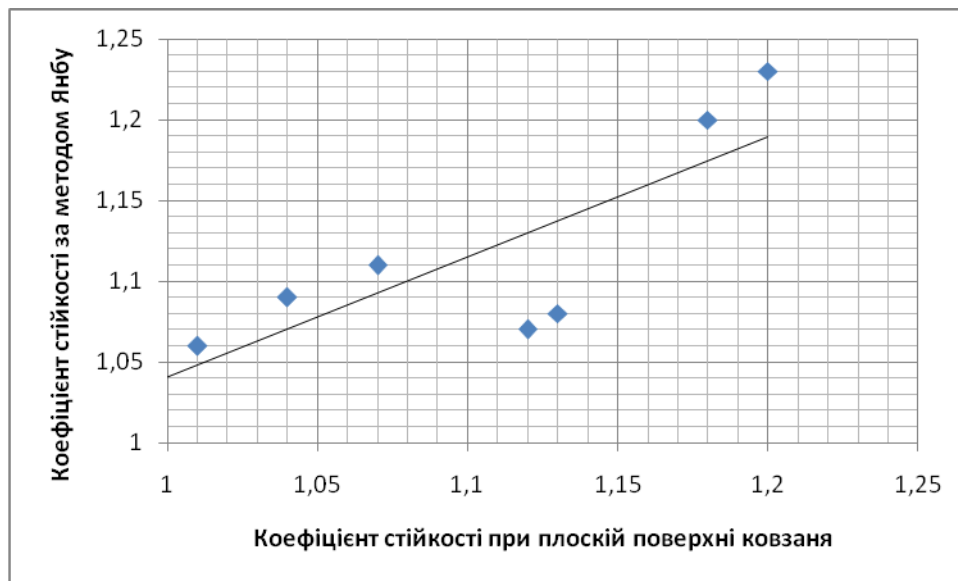


Рис. 2. Результати розрахунків коефіцієнта стійкості за методом Янбу і ППК при зміні кута закладання укосу насипу від 60° до 70° і зміні власної ваги ґрунту

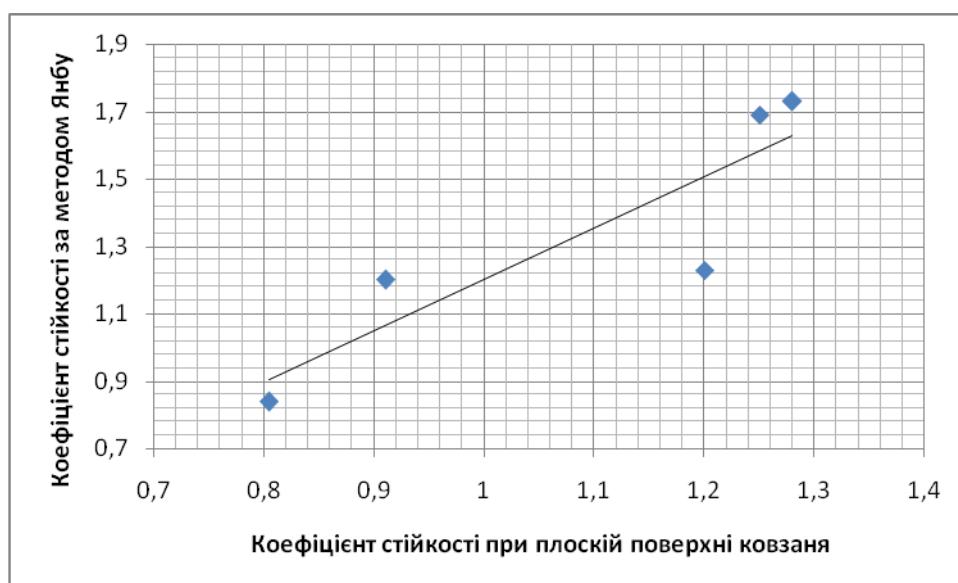


Рис. 3. Результати розрахунків коефіцієнта стійкості за методом Янбу і ППК при зміні висоти насипу від 3 м до 10 м

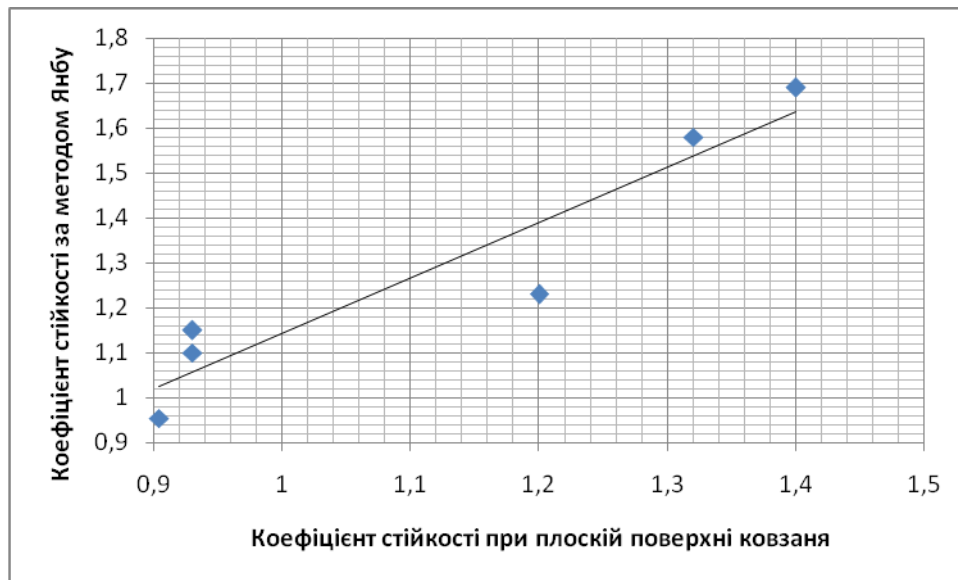


Рис. 4. Результати розрахунків коефіцієнта стійкості за методом Янбу і ППК при зміні кута внутрішнього тертя ґрунту від 16° до 35°

Висновки

На підставі розрахунків встановлено, що при збільшенні кута внутрішнього тертя ґрунту довжина круглої та плоскої поверхонь ковзання при куті закладання укосу від 60° до 70° , майже співпадає, різниця не перевищує 2 %. Ця ж тенденція спостерігається і для коефіцієнта стійкості при $c = 0$. Коефіцієнт кореляції між коефіцієнтом стійкості отриманим за методом Янбу і методом ППК становить від 0,670 до 0,943.

Література

1. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83). – М.: НИИОСП им. Герсенова Госстроя СССР, 1986. – 422 с.
2. BS 8006 Code of practice for strengthened/reinforced soil and other fills. – London: British Standards Institution, 1995. – 198 p.
3. Guide to reinforced fill structure and slope desing. – Hong Kong: Geotechnical Engineering Office, 2002. – 238 p.
4. Державні будівельні норми. Споруди транспорту. Автомобільні дороги: ДБН В.2.3–4:2007. – К.: Держбуд України, 2008. – 91 с.
5. Фисенко Г.Л. Укрепление откосов в карьерах / Фисенко Г.Л., Ревазов М.А., Галустьян Э.Л. – М., Недра, 1974. – 208 с.

Кузло М.Т., канд. техн. наук

ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГРУНТОВИХ МАСИВІВ ПРИ ЗМІННИХ ФІЛЬТРАЦІЙНИХ І ДЕФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ГРУНТУ

Анотація. Отримані розв'язки напружено-деформованого стану ґрунтових масивів для випадку, коли фільтраційні і деформаційні характеристики ґрунту залежать від концентрації сольових розчинів.

Ключові слова: напруження, деформації, фільтрація, сольові розчини.

Аннотация. Получены решения напряженно-деформованого состояния ґрунтовых массивов для случая, когда фильтрационные и деформационные характеристики ґрунта зависят от концентрации сольовых растворов.

Annotation. The solutions of soil massifs' strained-deformed state for the case when filtrational and deformational characteristics of soil depend on salt solutions' concentrations are received.

При експлуатації промислових і цивільних будівель та споруд, їх ґрунтові основи можуть забруднюватися різноманітними техногенними джерелами, зокрема розчинами солей.

Аналіз останніх досліджень показав, що до теперішнього часу кількісна оцінка напружено-деформованого стану (НДС) ґрунтових масивів для випадку, коли фільтраційні і деформаційні характеристики ґрунту залежать від концентрації сольових розчинів дана дуже слабо [1].

У зв'язку з цим виникла необхідність в оцінці НДС ґрунтових масивів для випадку, коли фільтраційні і деформаційні характеристики ґрунту залежать від концентрації сольових розчинів.

Метою роботи є визначення НДС (переміщень, деформацій, напружень) при змінних фільтраційних і деформаційних характеристиках ґрунту.

В даній роботі пропуються розв'язки НДС ґрунтового масиву для одновимірного випадку при умові, що коефіцієнт фільтрації та коефіцієнти

Ламе залежать від концентрації розчинених солей в ґрунті $c(x)$, тобто $k(c(x)), \lambda_1(c(x)), \mu_1(c(x))$ (рис.1).

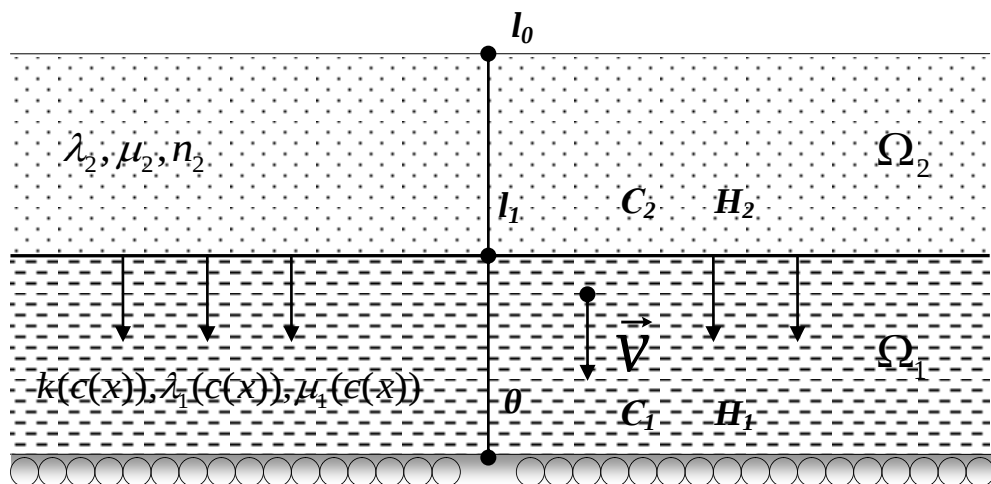


Рис. .1 Схема ґрунтового масиву з оцінки НДС при змінних фільтраційних і деформаційних характеристиках ґрунту

Нехай на нижній поверхні ґрунту на межі $x=0$ задано п'єзOMETричний напір H_1 та концентрація розчинених у воді солей C_1 , а на глибині l_1 , відповідно H_2 та C_2 ($H_2 > H_1$, $C_2 > C_1$).

Запишемо рівняння НДС в переміщеннях:

$$(\lambda_1(c(x)) + 2\mu_1(c(x))) \frac{d^2 u_1}{dx^2} + \frac{d(\lambda_1(c(x)) + 2\mu_1(c(x)))}{dx} \cdot \frac{du_1}{dx} = X_1, \quad x \in (0, l_1), \quad (1)$$

$$(\lambda_2 + 2\mu_2) \frac{d^2 u_2}{dx^2} = X_2, \quad x \in (l_1, l), \quad (2)$$

де u_i , $i=1,2$ – переміщення вздовж осі Ox в ґрунтах, що знаходяться відповідно в зваженому ($x \in (0, l_1)$) та в природному ($x \in (l_1, l)$) стані;

$\lambda_1(c(x)), \mu_1(c(x)), \lambda_2, \mu_2$ – коефіцієнти Ламе (пружні сталі);

$$X_1 = \gamma_{se} + \frac{dp}{dx}, \quad X_2 = \gamma_{np}, \quad (3)$$

де $\gamma_{сб}$ – ґрунт, що знаходиться в зваженому стані; $\gamma_{пр.}$ – питома вага ґрунту в природному стані; $\frac{dp}{dx}$ – зміна тиску відносно вертикальної осі ОХ.

Тиск від фільтраційного потоку визначається за формулою

$$p = \gamma_w (h - x), \quad (4)$$

де γ_w – питома вага фільтруючої рідини; h – п'єзометричний напір; x – вертикальна координата.

Крайові умови для переміщень мають вигляд

$$u_1(0) = 0, \quad u_2(l_0) = 0. \quad (5)$$

Це означає, що переміщення на краях шару ґрунту відсутні.

Запишемо умови спряження на межі вільної поверхні в ґрунтовому масиві:

$$u_1(l_1) = u_2(l_1), \quad (6)$$

$$(\lambda_1(c(l_1)) + 2\mu_1(c(l_1))) \frac{du_1(l_1)}{dx} = (\lambda_2 + 2\mu_2) \frac{du_2(l_1)}{dx}. \quad (7)$$

Так, як нами розглядається задача, що ґрунтовий масив насичений сольовими розчинами запишемо рівняння конвективної дифузії розчинених речовин:

$$D \frac{d^2 c}{dx^2} - V \frac{dc}{dx} - \gamma(c - C_*) = 0. \quad (8)$$

Крайові умови для концентрації мають вигляд

$$L_1 c = \left(\alpha_1 c + \beta_1 \frac{dc}{dx} \right) \Big|_{x=0} = C_1,$$

$$L_2 c = \left(\alpha_2 c + \beta_2 \frac{dc}{dx} \right) \Big|_{x=l_1} = C_2. \quad (9)$$

Фільтрація сольових розчинів у ґрунтовому масиві відбувається згідно модефікованого закону А. Дарсі [1]:

$$V = -k(c(x)) \frac{dh}{dx}, \quad \frac{dV}{dx} = 0, \quad (10)$$

$$h(0) = H_1, \quad h(l_1) = H_2. \quad (11)$$

Перейдемо у (1)-(11) до безрозмірних вличин згідно формул

$$\bar{x} = \frac{x}{l}, \quad \bar{h} = \frac{h}{l}, \quad \bar{p} = \frac{p}{l}, \quad \bar{l}_1 = \frac{l_1}{l}, \quad \bar{c} = \frac{c}{C_*}, \quad \bar{k} = \frac{k}{\tilde{k}}, \quad \bar{D} = \frac{D}{l\tilde{k}}, \quad \bar{u}_i = \frac{u_i}{l}, \quad i = 1, 2,$$

де $\tilde{k} = k|_{c=0}$ – коефіцієнт фільтрації чистої води в даному ґрунтовому середовищі. Для спрощення рисочки над безрозмірними змінними опустимо.

Знайдемо розв’язок задачі фільтрації сольових розчинів (10)-(11). Використовуючи формули (10), маємо

$$\frac{d\left(k(c(x))\frac{dh}{dx}\right)}{dx} = 0, \quad \text{звідси} \quad h(x) = A \int_0^x \frac{ds}{k(c(s))} + B.$$

Визначимо значення невідомих коефіцієнтів A, B :

$$B = H_1, \quad A = \frac{H_2 - H_1}{\int_0^{l_1} \frac{ds}{k(c(s))}}. \quad (12)$$

Тоді значення п’єзометричного напіру буде визначатися за формулою:

$$h(x) = \frac{H_2 - H_1}{\int_0^{l_1} \frac{ds}{k(c(s))}} \int_0^x \frac{ds}{k(c(s))} + H_1. \quad (13)$$

Знайшовши п’єзометричний напір, можна визначити швидкість фільтрації за допомогою формул (10):

$$V = -A, \quad V = \frac{H_1 - H_2}{\int_0^{l_1} \frac{ds}{k(c(s))}}. \quad (14)$$

Визначимо зміну тиску $\frac{dp}{dx}$ використовуючи формулу (4):

$$\frac{dp}{dx} = \gamma_w \left(\frac{1}{k(c(x))} \cdot \frac{H_2 - H_1}{\int_0^{l_1} \frac{ds}{k(c(s))}} - 1 \right).$$

Таким чином, складова об'ємних сил буде визначатися за формулою

$$X_1 = \gamma_{sb} + \gamma_w \left(\frac{1}{k(c(x))} \cdot \frac{H_2 - H_1}{\int_0^{l_1} \frac{ds}{k(c(s))}} - 1 \right). \quad (15)$$

Знайдемо розв'язок задачі масопереносу (8), (9) при $\gamma = 0$:

$$\frac{d^2 c}{dx^2} - \frac{V}{D} \frac{dc}{dx} = 0. \quad (16)$$

Загальний розв'язок рівняння (16) має вигляд

$$c(x) = b_1 e^{\lambda_1 x} + b_2 e^{\lambda_2 x}, \quad (17)$$

де $\lambda_1 = 0, \lambda_2 = \frac{V}{D}$ – корені характеристичного рівняння $\lambda^2 + \frac{V}{D} \lambda = 0$.

Підставивши їх значення в (17), отримаємо

$$c(x) = b_1 + b_2 e^{\frac{V}{D} x}. \quad (18)$$

Для знаходження невідомих коефіцієнтів b_1, b_2 використовуємо крайові умови (9). У випадку, коли $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ та $\beta_1 = \beta_2 = 0$, отримаємо розв'язок

$$c(x) = \frac{C_2 (1 - e^{\frac{V}{D} x}) + C_1 (e^{\frac{V}{D} x} - e^{\frac{V}{D} l_1})}{1 - e^{\frac{V}{D} l_1}}. \quad (19)$$

Введемо деяке позначення, враховуючи, що $\overline{A_1} = A_1 \cdot l$, $\overline{a_i} = a_i \cdot l$, $i = 1, 2$ (надалі риси над позначенням для простоти опущені):

$$q(x) = \lambda_1(c(x)) + 2\mu_1(c(x)), \quad (20)$$

$$P(x) = \frac{1}{q(x)} \cdot \frac{dq(x)}{dx}, \quad (21)$$

$$f(x) = \frac{1}{q(x)} \left(a_1 + \frac{A_1}{k(c(x))} \right), \quad (22)$$

$$\text{де } a_1 = \gamma_{se} - \gamma_w, \quad A_1 = \frac{\gamma_w(H_2 - H_1)}{\int_0^{l_1} \frac{ds}{k(c(s))}}, \quad a_2 = \frac{\gamma_{np.}}{\lambda_2 + 2\mu_2}.$$

У безрозмірних змінних математична модель НДС шару ґрунту запишеться у вигляді:

$$\frac{d^2 u_1}{dx^2} + P(x) \frac{du_1}{dx} = f(x), \quad x \in (0, l_1), \quad (23)$$

$$\frac{d^2 u_2}{dx^2} = a_2, \quad x \in (l_1, l). \quad (24)$$

Розглянемо випадок, коли верхня межа ґрунту може переміщуватися, тобто крайові умови для переміщень мають вигляд

$$u_1(0) = 0, \quad \frac{du_2(l)}{dx} = 0. \quad (25)$$

Умови спряження:

$$u_1(l_1) = u_2(l_1), \quad q(l_1) \frac{du_1(l_1)}{dx} = (\lambda_2 + 2\mu_2) \frac{du_2(l_1)}{dx}. \quad (26)$$

Перейдемо до безрозмірних величин користуючи формулами:

$$\bar{x} = \frac{x}{l_0}, \quad \bar{h} = \frac{h}{l_0}, \quad \bar{p} = \frac{p}{l_0}, \quad \bar{l} = \frac{l}{l_0}, \quad \bar{l}_1 = \frac{l_1}{l_0}, \quad \bar{A}_1 = A_1 \cdot l_0, \quad \bar{a}_i = a_i \cdot l_0, \quad \bar{u}_i = \frac{u_i}{l_0}, \quad i = 1, 2,$$

$$\bar{c} = \frac{c}{C_*}, \quad \bar{k} = \frac{k}{\widetilde{k}}, \quad \bar{D} = \frac{D}{l_0 \widetilde{k}}.$$

Враховуємо, що $l(t) \leq l_0$, $l(t) - l_0 = u_2(l(t))$, $l(0) = l_0$.

В даному випадку розв'язок задачі задається формулами

$$u_1(x) = \int_0^x \left(\frac{1}{q(z)} \int_0^z f(s)q(s)ds \right) dz + c_1 q(0) \int_0^x \frac{1}{q(z)} dz + c_2, \quad x \in (0, l_1), \quad (27)$$

$$u_2(x) = \frac{a_2 x^2}{2} + c_3 x + c_4, \quad x \in (l_1, l), \quad (28)$$

$$\text{де} \quad c_2 = 0; \quad (29)$$

$$c_3 = -a_2 l; \quad (30)$$

$$c_1 = \frac{1}{q(0)} \left((\lambda_2 + 2\mu_2)(a_2 l_1 - a_2 l) - \int_0^{l_1} f(z)q(z)dz \right); \quad (31)$$

$$c_4 = -\frac{a_2 l_1^2}{2} + a_2 l l_1 + \int_0^{l_1} \left(\frac{1}{q(z)} \int_0^z f(s)q(s)ds \right) dz + \\ + \int_0^{l_1} \frac{1}{q(z)} dz \left((\lambda_2 + 2\mu_2)(a_2 l_1 - a_2 l) - \int_0^{l_1} f(z)q(z)dz \right). \quad (32)$$

Величина деформації обчислюється за формулами

$$\varepsilon_1(x) = \frac{1}{q(x)} \int_0^x f(z)q(z)dz + c_1 \frac{q(0)}{q(x)}, \quad 0 \leq x \leq l_1; \quad (33)$$

$$\varepsilon_2(x) = a_2 x + c_3, \quad l_1 \leq x \leq l. \quad (34)$$

Напруження матимуть вигляд

$$\sigma_1(x) = \int_0^x f(z)q(z)dz + c_1 q(0), \quad 0 \leq x \leq l_1; \quad (35)$$

$$\sigma_2(x) = (\lambda_2 + 2\mu_2)(a_2 x + c_3), \quad l_1 \leq x \leq l. \quad (36)$$

Таким чином, задача НДС ґрунтових масивів для випадку, коли фільтраційні і деформаційні характеристики ґрунту залежать від концентрації сольових розчинів описується формулами (27)-(36).

Осідання поверхні ґрунту визначається за формулами

$$l(t) - l_0 = u_2(l(t)). \quad (37)$$

Використовуючи формулу (28), маємо

$$u_2(l(t)) = \frac{a_2 l^2(t)}{2} + c_3 l(t) + c_4, \quad (38)$$

де c_3, c_4 – коефіцієнти, що визначаються за формулами (30), (32).

Підставивши значення (30) і (32) у формули (37,38), отримаємо

$$\frac{a_2}{2} l^2(t) + b_1 \cdot l(t) + b_2 = 0, \quad (39)$$

$$\text{де} \quad b_1 = (\lambda_2 + 2\mu_2)a_2 \int_0^{l_1} \frac{dz}{q(z)} - a_2 l_1 + 1, \quad (40)$$

$$b_2 = \frac{a_2 l_1^2}{2} - \int_0^{l_1} \left(\frac{1}{q(z)} \int_0^z f(s)q(s)ds \right) dz - \int_0^{l_1} \frac{1}{q(z)} dz \left((\lambda_2 + 2\mu_2)a_2 l_1 - \int_0^{l_1} f(z)q(z)dz \right) - l_0. \quad (41)$$

Розв'язуючи квадратне рівняння (39) відносно змінної $l(t)$, маємо

$$l(t) = \frac{-b_1 + \sqrt{b_1^2 - 2a_2 b_2}}{a_2}, \quad (42)$$

де b_1 і b_2 визначаються за формулами (40), (41).

Нижче наведені результати числових розрахунків при наступних вхідних даних:

$$\lambda_2 = 17000 \text{ кг/м}^2; \mu_2 = 11500 \text{ кг/м}^2; \gamma_{se} = 10,5 \text{ кН/м}^3; \gamma_{np} = 17,0 \text{ кН/м}^3; \\ \gamma_w = 10,0 \text{ кН/м}^3; H_1 = 0 \text{ м}; H_2 = 0,5 \text{ м}; C_1 = 0 \text{ г/л}; C_2 = 350 \text{ г/л}; D = 0,002 \text{ м}^2/\text{доба}; l_1 = 0,5 \text{ м}; l_0 = 1 \text{ м}.$$

За формулою (42) знаходимо значення $l \approx 0,99 \text{ м}$.

Залежність коефіцієнта фільтрації від концентрації сольового розчину записується у вигляді [2]:

$$k(c) = a_5 \cdot c^5 + a_4 \cdot c^4 + a_3 \cdot c^3 + a_2 \cdot c^2 + a_1 \cdot c + a_0,$$

де $a_5 = 5,9404 \cdot 10^{-2}$; $a_4 = -1,6703 \cdot 10^{-1}$; $a_3 = 1,7051 \cdot 10^{-1}$; $a_2 = -7,4311 \cdot 10^{-2}$;
 $a_1 = 1,0563 \cdot 10^{-2}$; $a_0 = 1,0054 \cdot 10^{-3}$;

$c \in [0,1]$ – безрозмірна величина.

Запишемо залежності коефіцієнтів Ламе від концентрації сольового розчину [3].

$$\mu_1(c) = a_3'' \cdot c^3 + a_2'' \cdot c^2 + a_1'' \cdot c + a_0'',$$

де $a_3'' = -1205,2846$; $a_2'' = 2880,3214$; $a_1'' = -1741,9191$; $a_0'' = 1696,3239$.

$$\lambda_1(c) = a_3''' \cdot c^3 + a_2''' \cdot c^2 + a_1''' \cdot c + a_0''',$$

де $a_3''' = -1798,9582$; $a_2''' = 4314,7316$; $a_1''' = -2615,3737$; $a_0''' = 2545,7428$.

$c \in [0,1]$ – безрозмірна величина)

Результати розрахунків наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення переміщень, деформацій та напружень.

	x	$u(x), \times 10^{-4}$	$\varepsilon(x), \times 10^{-3}$	$\sigma(x)$
Ґрунт в природному стані	1	-8,69113	0,00037	0,01477
	0,9	-8,67025	-0,04213	-1,68523
	0,8	-8,60687	-0,08463	-3,38523
	0,7	-8,50099	-0,12713	-5,08523
	0,6	-8,35261	-0,16963	-6,78523
	0,5	-8,16173	-0,21213	-8,48523
Ґрунт в зваженому стані	0,5	-8,16173	-1,48732	-8,48523
	0,4	-8,28152	-1,98113	-10,60596
	0,3	-7,00350	-2,38529	-11,92272
	0,2	-4,91598	-2,64366	-12,79873
	0,1	-2,43410	-2,62233	-13,33688
	0	0	-2,31295	-13,73523

Графіки розподілу переміщень, деформацій та напружень по глибині ґрунту наведені відповідно на рис.2, 3 та 4.

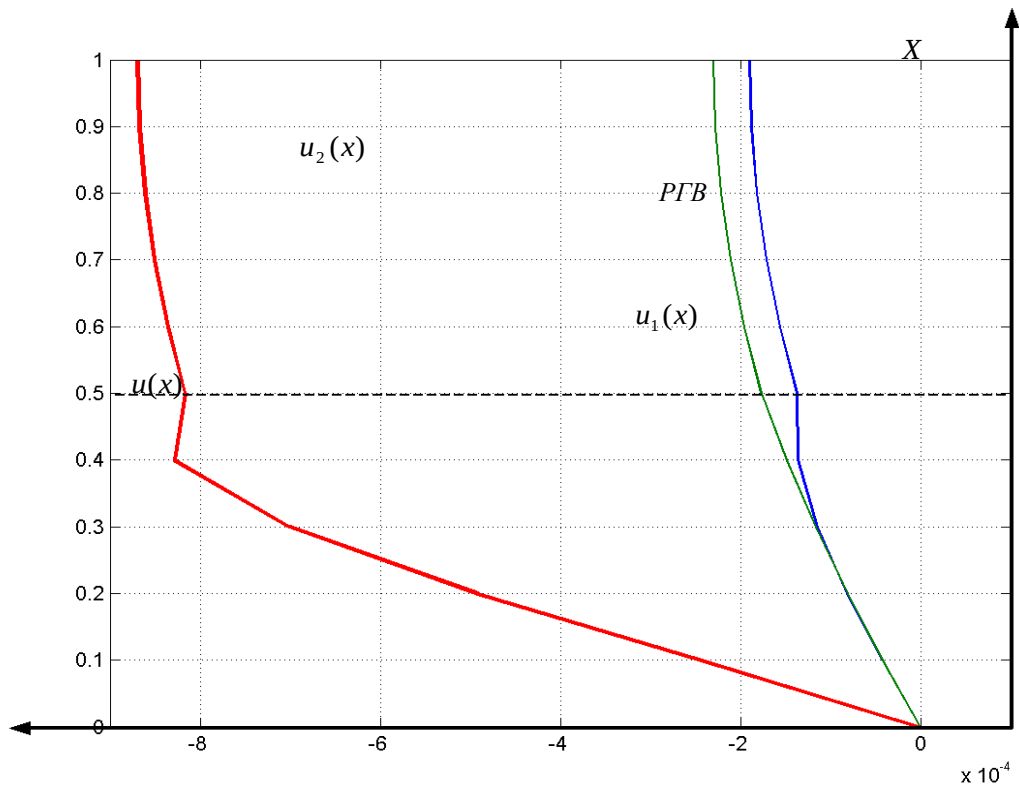


Рис.2. Графік розподілу переміщень в ґрунтовому масиві

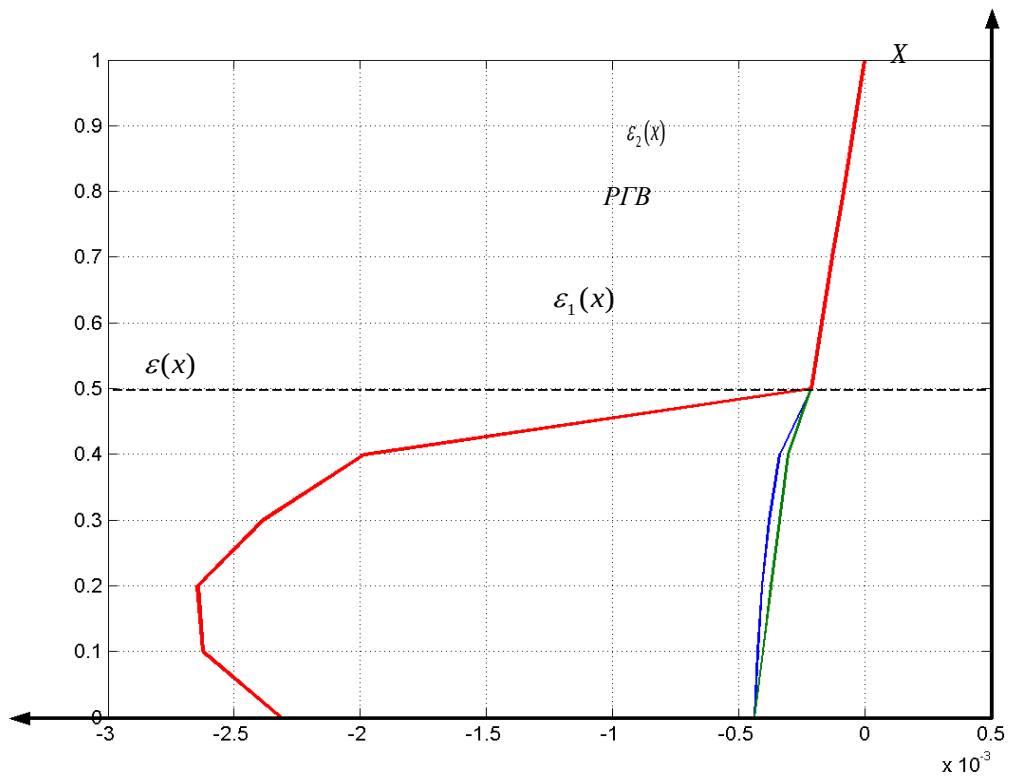


Рис.3. Графік розподілу деформацій в ґрунтовому масиві

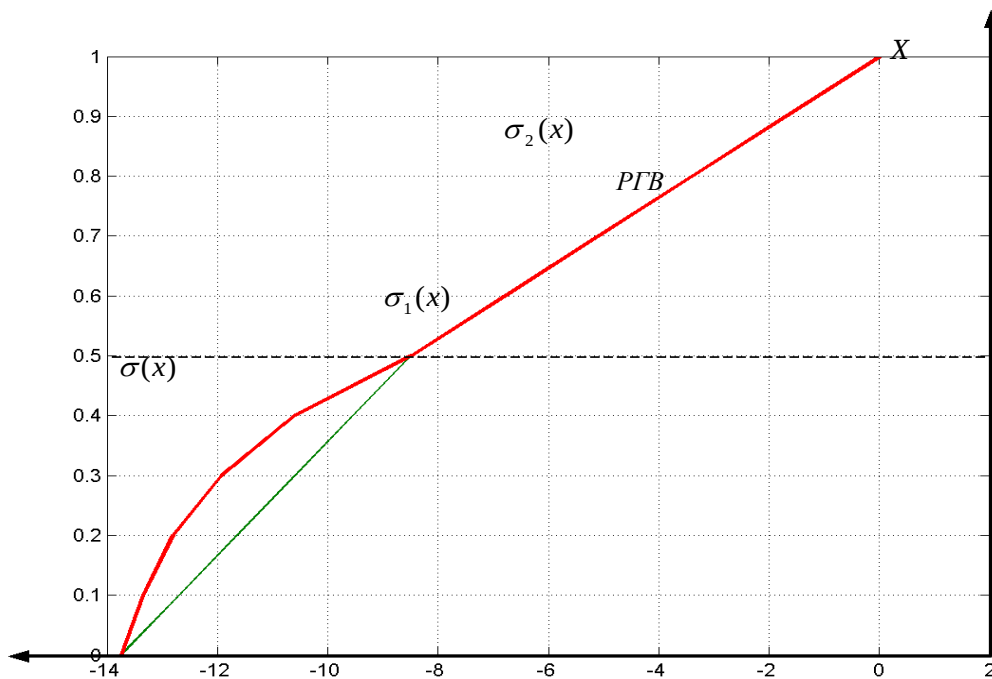


Рис.4. Графік розподілу напружень в ґрунтовому масиві

Графік розподілу напружень ґрунту з залежними від концентрації коефіцієнтами Ламе та напружень ґрунту зі сталими коефіцієнтами Ламе співпадають.

Висновки

Представлені математичні моделі дають можливість виконати оцінку напружено-деформованого стану ґрунтових масивів при змінних їх фільтраційних і деформаційних характеристиках, що обумовлені наявністю сольових розчинів. Вони можуть бути використані при оцінці ґрунтових основ промислових і цивільних будівель та споруд, експлуатація яких передбачається в умовах забруднення техногенними джерелами, зокрема розчинами солей. Подальшими дослідженнями можуть бути, отримання відповідних розв'язків в умовах плоскої задачі.

Література

1. Сергиенко И.В., Скопецкий В.В., Дейнека В.С. Математическое моделирование и исследование процессов в неоднородных средах. – К.: Наук. думка, 1991. – 432 с.
2. Власюк А.П., Кузло М.Т. Експериментальні дослідження деяких параметрів фільтрації сольових розчинів у піщаних ґрунтах // Меліорація і водне господарство. – 2001.- Вип.87. – С.139-145.
3. Кузло М.Т., Філатова І.А. Дослідження впливу концентрації сольових розчинів на деформаційні характеристики ґрунтів // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. Збірник наукових праць. НУВГП. Випуск 31. Рівне 2007. – С. 175-182.

Кузьмінець М.П., канд. техн. наук

ВЗАЄМОДІЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ ПІД МАГІСТРАЛЬНИМИ ТРУБОПРОВОДАМИ З СЕРЕДОВИЩЕМ ТА ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЇ

Вступ

Однією з оригінальних, за виконуваними технологічними операціями та конструкцією робочого обладнання, є машина підбивання ґрунту під магістральний трубопровід МП-М [1]. Вона використовується під час капітального ремонту магістральних трубопроводів [2]. Робочий орган для ущільнення ґрунту під трубопроводом цієї машини є складним плоским багатоланковим важільний механізмом, частиною ланок якого є гідроциліндри. За їх допомогою здійснюється привід робочого обладнання та орієнтування положення відносно трубопроводу, в робочому режимі ущільнення ґрунту.

Аналіз досліджень

Накопичення досвіду експлуатації машини ущільнення ґрунту під трубопроводами в умовах робочих режимів на випробувальному полігоні НДТЦ «Ротор» [3], при монтажно-демонтажних роботах, а також під час транспортування трейлерами та залізницею дозволило виявити деякі режими навантаження окремих елементів і вузлів робочого обладнання машин, які важко було передбачити на стадіях проектування та випробування машин.

Проблема

Як виявилось в процесі випробувань та експлуатації, при зміщенні тягача машини відносно номінальної відстані що дотрубопроводу в один або інший бік – не вистачає ходу штоків деяких гідроциліндрів для нормального позиціонування ґрунтоущільнювального робочого обладнання. При цьому, а також через нерівномірність засипання ґрунту, часто виникала ситуація, коли реакцію від ґрунта під час ущільнення сприймала лише одна лапа (рис. 1). Це призводило до

поломок та тріщин в елементах металоконструкції робочого обладнання, особливо металоконструкції підвісу робочого органа до стріли машини.

Мета дослідження

Розробити розрахункову схему взаємодії робочого обладнання машини для ущільнення ґрунту під трубопроводом з середовищем, визначити максимальні значення навантажень та виконати розрахунки напружено-деформованого стану одного з важливих елементів ґрунтоущільнювального робочого органа – підвісу.

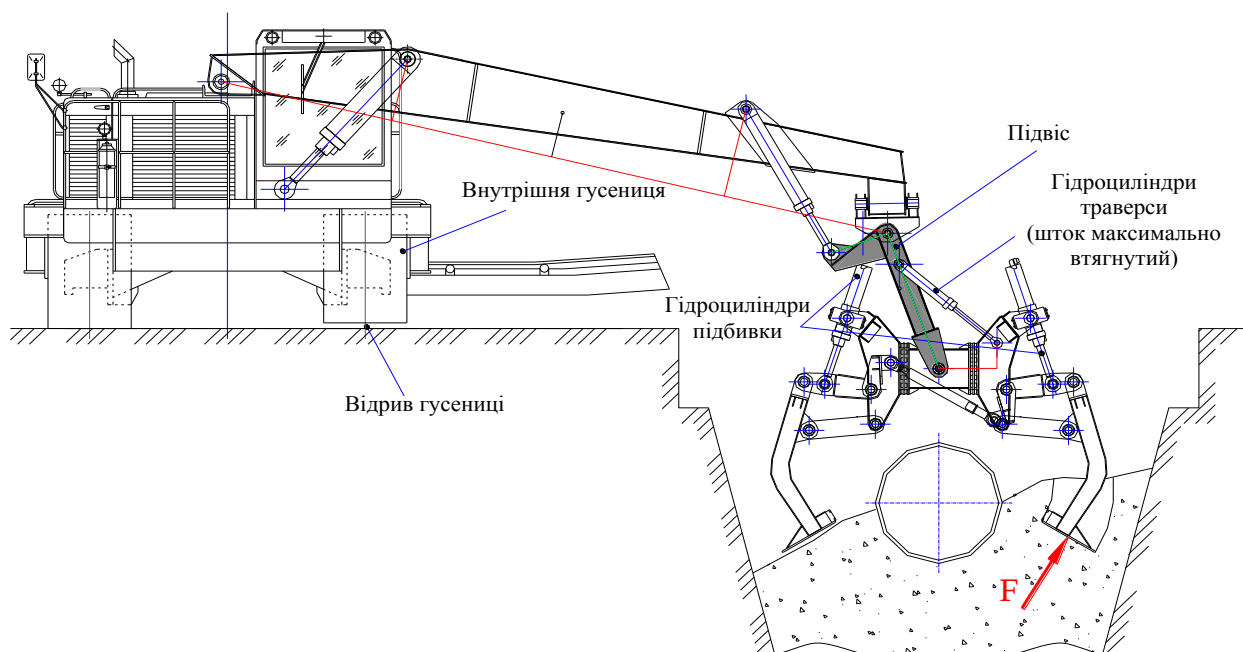


Рис. 1. Схема взаємодії робочого органа для ущільнення ґрунту з середовищем (екстремальний режим)

Задачі дослідження

1. Проаналізувати причини появи тріщин металоконструкції під час випробувань в умовах полігону.
2. Розробити розрахункові положення навантаження механізму ущільнення (критичні випадки навантаження).
3. Виконати силовий аналіз механізму та визначити напруження в металоконструкції підвісу.
4. Запропонувати зміни до конструкторської документації на металоконструкцію підвісу.

Основна частина

Під час випробування на полігоні машини підбивання ґрунту під трубопровід було виявлено тріщини в металоконструкції підвісу. Оскільки вони не могли бути наслідком руйнування металу від стомлювання. Огляд механізму показав, що найбільшою була деформована металоконструкція підвісу.

Однією з причин вказаних поломок могла бути невідповідність товщин металу, з якого виготовлено підвіс – конструкторській документації. Встановлено, що деталь „Стенка МП.17.00.014” передбачена товщиною 16 мм, а виготовлена товщиною 10 мм. Після підсилення місця, де з’явилися тріщини, додатковими пластинами металоконструкція підвісу працювала нормально.

Крім того, причиною поломки підвісу могли стати також не передбачувані на стадії проектування, розрахункові положення ґрунтоущільнювального робочого органа. Як виявилися пізніше, під час експлуатації машини і, особливо – під час навчання персоналу на випробувальному полігоні НДТЦ «Ротор», по причині недосвідченості роботи з новою машиною нерівномірно відсипали ґрунт з обох боків труби, задавали потенціометром максимальний тиск у гідроциліндрах приводу ущільнювальних лопаток та створювали різні умови взаємного положення шасі, ґрунтоущільнювального обладнання та труби (див. рис. 1).

Тому для визначення чіткої картини перерозподілу напруженого стану металоконструкції підвісу потрібно виконати комплекс досліджень, результатом яких повинні стати рекомендації по внесенню змін в конструкторську документації на металоконструкцію підвісу.

Перелік цих робіт включає:

- уточнення дійсних товщин елементів металоконструкції підвісу та співставлення їх з проектними товщинами;
- уточнення, з врахуванням досвіду експлуатації машин, додаткових розрахункових положень і умов навантаження підвісу;
- створення 3D моделі звичайної та підсиленої металоконструкції підвісу;
- визначення реакцій в шарнірах механізму ущільнення ґрунту для складання розрахункової моделі металоконструкції підвісу;
- виконання розрахунків напруженого стану в металоконструкції підвісу для прийнятих розрахункових положень;
- аналіз отриманих результатів;

- складання рекомендацій на доопрацювання документації металоконструкції підвісу.

Під час випробування машини на полігоні виявлено також вихід з ладу (протікання робочої рідини) гідравлічних з'єднань трубопроводів з гідроциліндрами, що можна пояснити великими реактивними тисками, обмеження яких, як виявилось, не передбачено в гідросистемі. Визначення можливих реактивних тисків у гідроциліндрах механізму підбивання ґрунту в кожному розрахунковому положенні є також однією з задач розрахунку.

Розрахункові положення для металоконструкції підвісу визначаються комбінаціями таких параметрів як орієнтація механізму ущільнення і підвісу відносно вертикалі та величини і місця прикладення зовнішніх сил.

Для розрахунку реакцій в шарнірах механізму підбивання ґрунту під трубопровід використано програму [4], яка призначена для автоматизації розрахунків плоских важільних механізмів довільної структури. Перевагою програми є формалізація задавання вихідних параметрів статично визначених важільних механізмів: структури механізму (кількості ланок і шарнірів та їх нумерацію), геометричних даних (довжин ланок, відстаней між шарнірами, кутів нахилу ланок в локальних системах координат) та зовнішніх сил (величин, напрямків та точок їх прикладання в локальній системі координат кожної ланки).

Плоский важільний механізм підбивання ґрунту під трубопровід (див. рис. 1) має $m = 6$ ланок, які зв'язані $n = 9$ шарнірами, отже умова статичної визначеності механізму $3m = 2n$ виконується ($3 \cdot 6 = 2 \cdot 9$). Механізм ущільнення ґрунту (приводу трамбівки) у цій задачі як об'єкт визначення реакцій в шарнірах не розглядався.

Зовнішніми навантаженнями механізму є сили тяжіння кожної ланки, прикладеними в центрах мас ланок та сила F (див. рис. 1), яка діє на ущільнюючу лопатку (її величина обґрунтована в кожному розрахунковому положенні).

Для визначення величини зовнішніх сил, які діють на механізм прийнято, що ведучою ланкою механізму підбивання ґрунту може бути будь-який його гідроциліндр. У розглянутому розрахунковому положенні (див. рис. 1) ведучими ланками є гідроциліндри механізму ущільнення ґрунту, тобто у ці гідроциліндри подається робоча рідина, яка створює зусилля на ущільнюючих

лопатках, а в інших гідроциліндрах механізму (стріли, підвісу, траверси) з'являється реактивний тиск.

Зусилля F на ущільнюючих лопатках у більшості випадків визначається з умови відриву від опорної поверхні внутрішньої гусениці машини з рівняння суми моментів прикладених до ланок сил відносно краю внутрішньої гусениці (див. рис. 1).

Визначивши силу F на ущільнюючих лопатках, за допомогою програми статичного розрахунку [4, 3], отримуємо реакції в шарнірах механізму (складові по осях глобальної системи координат XOY та сумарну реакцію). Результати розрахунку зусиль, для металоконструкції підвісу наведено на рис. 2.

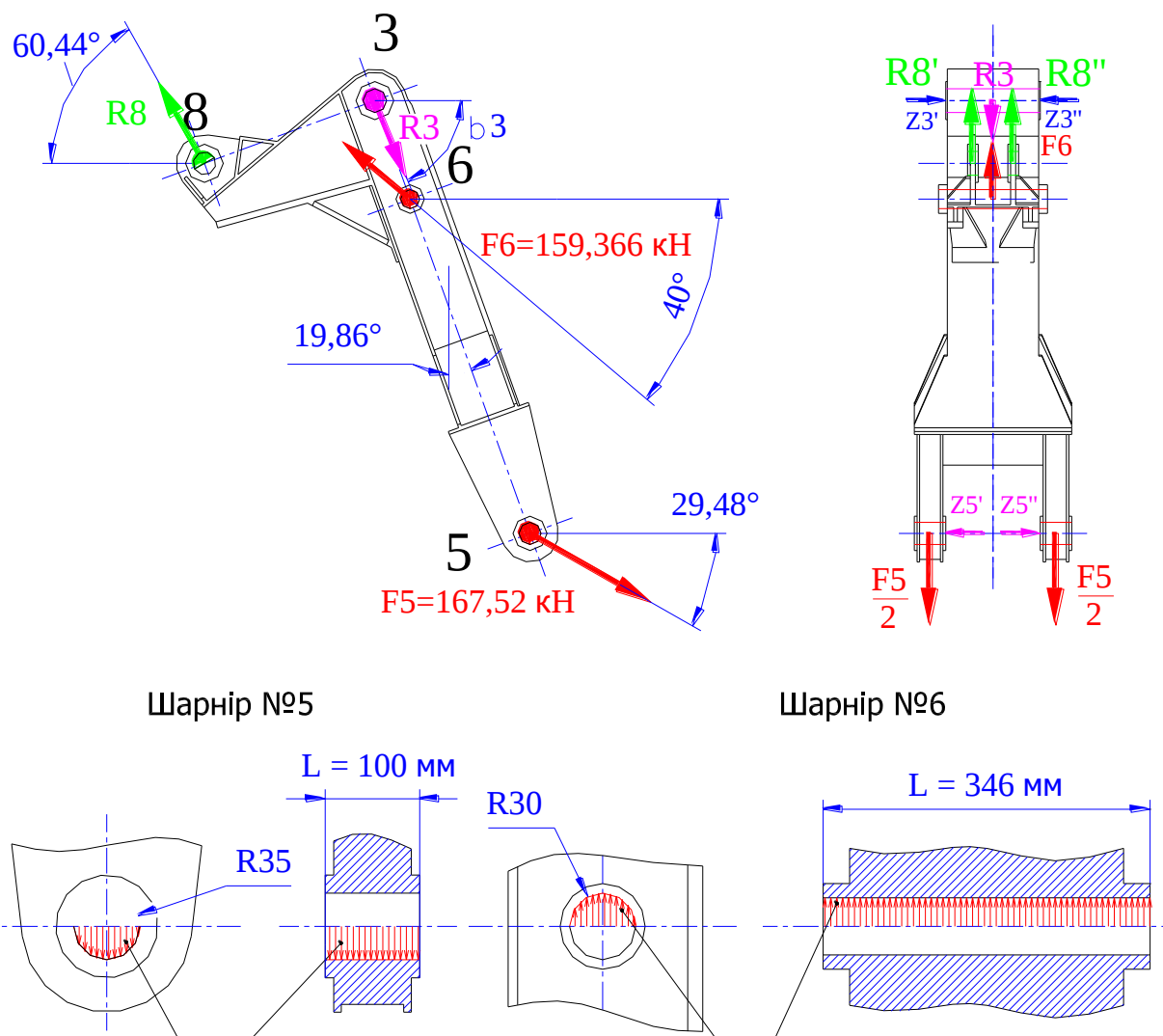


Рис. 2. Схема визначення зусиль в шарнірах металоконструкції підвісу

Наступним етапом дослідження було створення 3D моделі металоконструкції підвісу із застосуванням програмного комплексу Mechanical Desktop [5]. Після чого в моделі задавалися граничні умови, властивості матеріалу металоконструкції підвісу та прикладалися попередньо отримані значення та напрями навантаження, які діють на металоконструкції підвісу. Отримані результати напружено-деформованого стану конструкції наведено на рис. 3.

Аналіз результатів виконаних досліджень показав, що максимальні напруження критичних місць підсиленої металоконструкції не перевищують 223 МПа (без врахування напружень в концентраторах). Отже запас міцності удосконаленої конструкції підвісу складає близько 1,8. При цьому руйнування металоконструкції не відбуватиметься.

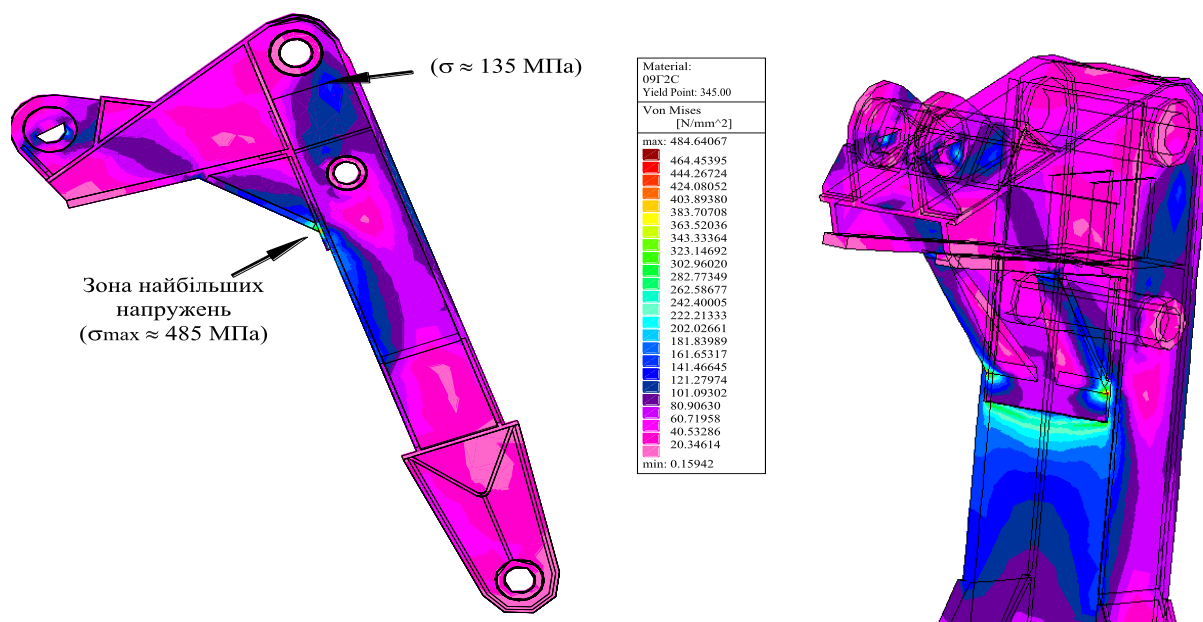


Рис. 3. Результати визначення напружено-деформованого стану металоконструкції підвісу

Висновки

1. Експериментально виявлено можливі причини поломок металоконструкції підвісу: невідповідність КД товщини деталі МП.17.00.014, непередбачувані розрахункові положення та відсутність обмеження реактивних тисків в гідроциліндрах підвісу і траверси.

2. Аналіз силового навантаження механізму показав, що в деяких гідроциліндрах реактивний тиск перевищує допустимий, тому необхідно передбачити в гідросистемі запобіжний клапан для обмеження реактивного тиску до 28 МПа.

3. Для екстремального розрахункового положення виконано розрахунок запропонованої (підсиленої) металоконструкції підвісу, напруження в критичних місцях якої не перевищує 223 МПа (без врахування напружень в концентраторах).

4. Запас міцності удосконаленої конструкції підвісу складає близько 1,8, тому руйнування металоконструкції не відбудуватиметься.

Література

1. Пат. 2135699 РФ, 98112438. Способ и устройство для подбивки трубопровода грунтом из отвала, оборудование для уплотнения грунта под трубопроводом и грунтоуплотняющий механизм (МП); Заявл. 27.06.97.
2. Мусійко В.Д., Кузьмінець М.П. Проблеми створення технології та техніки для виконання земляних робіт під час капітального ремонту промислових трубопроводних магістралей. // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. Всеукраїнський збірник наукових праць №70, КНУБА. – Київ, 2007. – С. 56 – 64.
3. Науково-технічний звіт про виконання роботи "Розрахунки силового навантаження та напружено-деформованого стану підвісу механізму підбивання машини МП-М (заводський № 003)" НДТЦ «Ротор». К.: – 2005. – 17с.
4. Розрахунки важільних механізмів робочого обладнання будівельних та дорожніх машин на ЕОМ: Методичні вказівки для студентів спеціальності 1504 / Укл. Є.В.Високович, Г.І.Гончаренко. – К.: КАДІ, 1993. – 24 с.
5. Крег Стинчкомб. Mechanical Desktop 6: Visual FAST START First Edition Craig Stinchcomb. – 2003. – 272 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ БАЛОЧНЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ

Анотація. У статті представлені результати розрахунків сталезалізобетонної прогонової будови автодорожнього моста, використовуючи різні скінченно-елементні моделі. Проведено аналіз результатів розрахунків і виявлені переваги і недоліки кожної з моделей. Запропоновано нову скінченно-елементну модель, що дозволяє повною мірою оцінити напружено-деформований стан даної конструкції і при цьому є ефективніше існуючих.

Ключові слова: метод скінченних елементів; скінченно-елементна модель; прогонові будови мостів; напружено-деформований стан.

Аннотация. В статье представлены результаты расчетов сталежелезобетонного пролетного строения автодорожного моста, используя различные конечно-элементные модели. Проведен анализ результатов расчетов и выявлены преимущества и недостатки каждой из моделей. Предложена новая конечно-элементная модель, позволяющая в полной мере оценить напряженно-деформированное состояние данной конструкции и при этом является эффективней существующих.

Ключевые слова: метод конечных элементов; конечно-элементная модель; пролетные строения мостов; напряженно-деформированное состояние.

Annotation. The present paper concentrates on the analyzing of plate-girder bridges using finite element method. The results of calculations of the steel-concrete composite girder bridge using different finite element models are performed. Aspects of finite element models are discussed. The new finite element model that allows carrying on more accurate calculations with smaller expenses of time is offered.

Keywords: finite element method; finite element model; plate-girder bridges; mode of deformation.

Вступление

Балочные пролетные строения являются наиболее распространенными как в отечественном, так и в зарубежном мостостроении. В автодорожных мостах получили широкое распространение разрезные и неразрезные сталежелезобетонные пролетные строения. В поперечном сечении такого типа пролетного строения может располагаться различное количество балок, которые совместно с плитой проезжей части работают как сложные пространственные системы.

Аналитический опыт расчета и проектирования таких пролетных строений заключается в определении усилий в каждой балке от временной нагрузки с помощью КПУ (коэффициент поперечной установки) и на данный момент на фоне современных вычислительных методов (метод конечных элементов и др.) является менее эффективным.

При расчете подобных конструкций с помощью современных вычислительных комплексов, которые базируются на методе конечных элементов, в основном используют такие элементы как стержень и оболочка. Можно выделить следующие виды конечно-элементных моделей сталежелезобетонного пролетного строения:

- модель конструкции аппроксимируется стержневыми элементами, в виде балочной клетки, при этом продольные стержни имеют жесткость сталежелезобетонного сечения с эффективной шириной полки, а поперечные соответственно жесткость плиты проезжей части (рис. 1а.);

- в модель вводятся оболочечные и стержневые элементы, которые пересекаются в одной плоскости в общих узлах, при этом стержни имеют ту же жесткость что и в балочной клетке, а оболочечные элементы - жесткость плиты проезжей части (рис. 1б);

- модель, где конструкция аппроксимируется аналогично предыдущей, но стержневым элементам вводят жесткость металлической балки и подвешивают их через жесткие вставки на величину равную расстоянию между центрами тяжести плиты и балки (рис. 1в);

- модель конструкции которая имеет более детальную аппроксимацию и состоит из оболочечных элементов, которыми описываются как плита проезжей части, так и металлическая балка и объединяются между собой через жесткие связи. (рис. 1г).

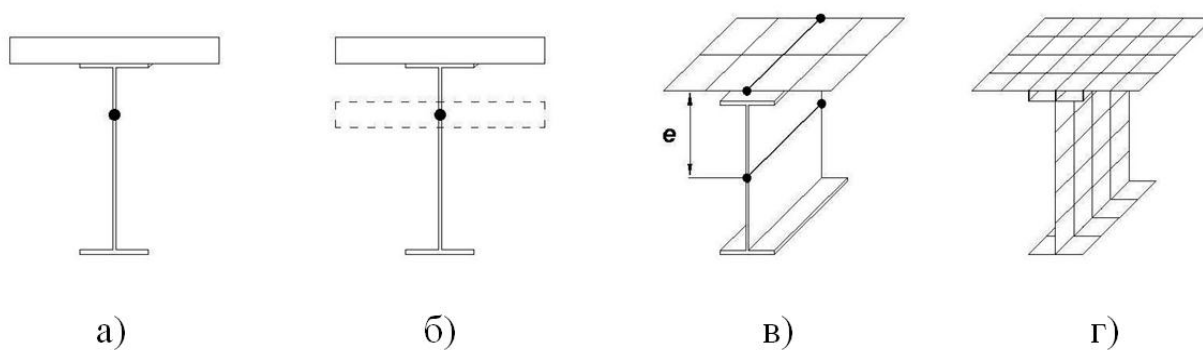


Рис. 1. Возможные варианты КЭ модели сталежелезобетонного пролетного строения

Из вышеприведенного видно, что конечно-элементные модели для расчета балочных пролетных строений мостов имеют принципиальные отличия между собой.

Для исследования особенностей и возможностей этих конечно-элементных моделей, были поставлены такие задачи:

Задачи исследования:

1. Выполнить расчет сталежелезобетонного пролетного строения автомобильного моста, используя различные конечно-элементные модели. Провести анализ результатов расчета и выявить преимущества и недостатки каждой из моделей.

2. Предложить эффективную конечно-элементную модель, позволяющую в полной мере оценить напряженно-деформированное состояние данной конструкции.

Объектом исследования расчетных моделей было выбрано неразрезное сталежелезобетонное пролетное строение по схеме 2х42 представленное на рис. 2.

Пролетное строение состоит из сварных двутавровых балок высотой 1500 мм. Верхние пояса балок имеют переменную ширину и толщину. На участке в пролете пояс имеет размеры 320х20 мм, а в надпорном участке 540х38 мм. Нижний пояс на всем протяжении имеет постоянные размеры 540х38 мм. Толщина стенки составляет 14 мм. Сварные балки пролетного строения объединены между собой монолитной железобетонной плитой проезжей части толщиной 220 мм.

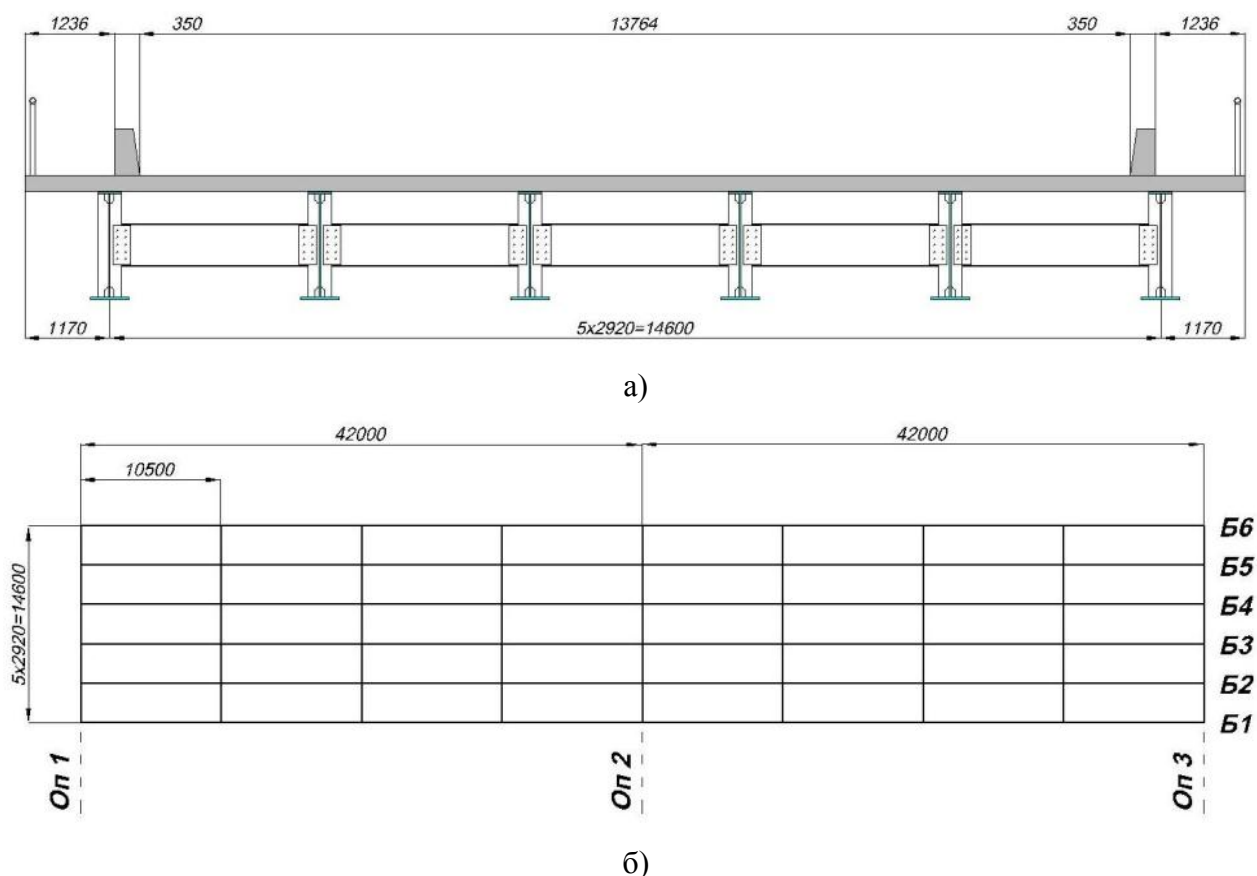


Рис. 2. Поперечное сечение и схема неразрезного сталежелезобетонного пролетного строения для численных исследований: а – поперечное сечение; б – схема

Численный анализ данного пролетного строения проводился с помощью программного комплекса Midas Civil (trial version). Были составлены следующие конечно-элементные модели:

Модель 1. Классическая модель в виде балочной клетки, которая полностью состоит из стержневых элементов (рис. 3). Продольные стержневые элементы имеют жесткость сталежелезобетонного сечения с учетом эффективной ширины полки. Плита проезжей части заменялась поперечными стержневыми элементами, жесткости которых выбирались исходя из равенства энергии деформации плиты. Также учитывались поперечные стержневые элементы с жесткостью поперечных балок пролетного строения. Число элементов в модели составило 1083, узлов 785.

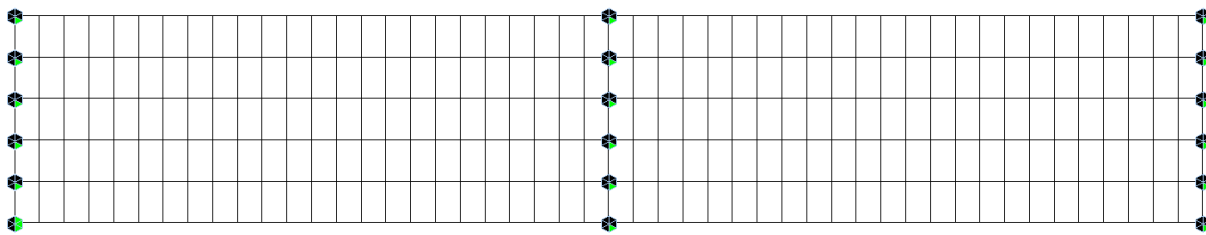


Рис. 3. Расчетная схема модели 1

Модель 2. Для второй модели использовались оболочечные и стержневые элементы. Оболочечным элементам задавалась жесткость железобетонной плиты проезжей части, а стержневым - жесткость сталежелезобетонного сечения и поперечных балок. Стержневые элементы расположенные в одной плоскости с оболочечными были объединены через общие узлы (рис. 4). Число элементов в модели составило 3122, узлов - 2620.

Модель 3. Третья модель аналогична предыдущей. Единственное отличие состоит лишь в жесткостных характеристиках продольных стержневых элементов, которые имеют жесткость двутавровой балки подвешенной через жесткие вставки на величину равную расстоянию между центрами тяжести железобетонной плиты и металлической балки.

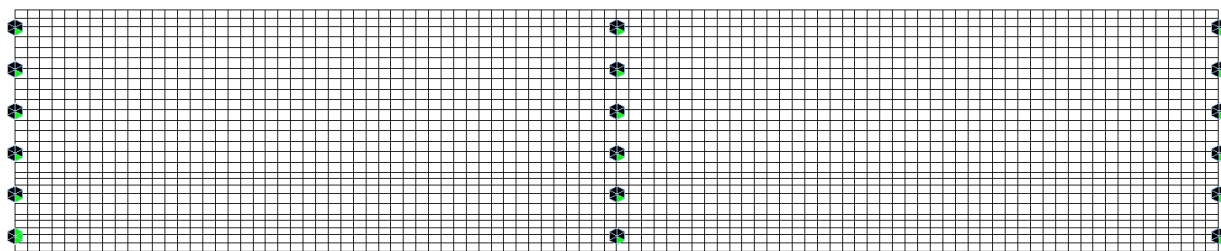


Рис. 4. Расчетная схема модели 2

Модель 4. В четвертой модели оболочечными элементами аппроксимировалось все пролетное строение (рис. 5.). Для модели использовались четырех узловые конечные элементы оболочки. Объединение элементов железобетонной плиты и верхних поясов балок выполнено через двухузловые стержневые элементы с большой жесткостью, позволяющей обеспечить их совместную работу. Такая модель имела 56950 элементов и 53646 узлов.

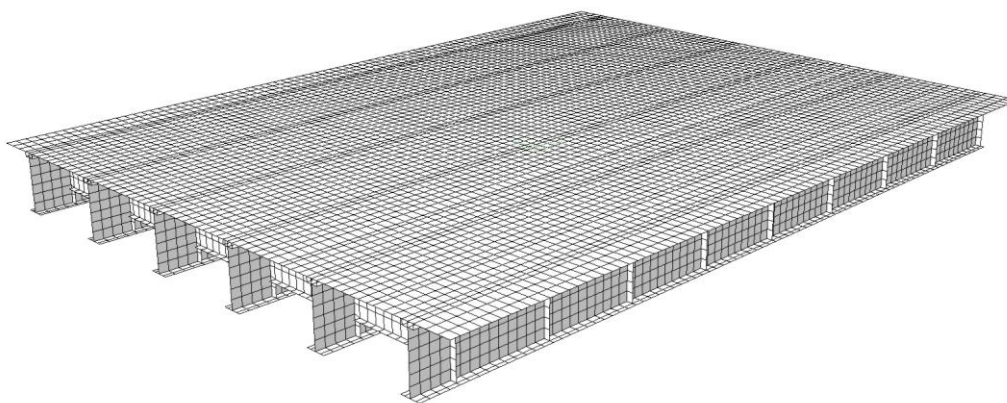


Рис. 5. Расчетная схема модели 4 (фрагмент)

Для численного исследования конечно-элементных моделей в первом пролете была приложена нормативная временная нагрузка А15 (ремонтный случай). В качестве результатов для сопоставления рассматривались напряжения в поясах второй балки, в двух сечениях, и перемещения в каждой балке в первом и втором пролете. Схема загрузки пролетного строения нагрузкой А15 и схема расположения контрольных точек для сопоставления результатов представлены на рис. 6. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты расчета конечно-элементных моделей

Точки	Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4
Прогибы, мм				
T1	-40.66	-40.47	-42.135	-42.537
T2	-37.34	-36.36	-38.183	-36.33
T3	-28.32	-28.03	-28.85	-26.91
T4	-16.31	-16.25	-16.64	-16.01
T5	-5.99	-5.97	-5.88	-6.29
T6	3.17	2.65	3.307	2.46
T7	16.43	16.37	16.885	16.69
T8	13.48	13.405	13.752	13.32
T9	10.215	10.159	10.349	9.98
T10	6.63	6.63	6.654	6.39
T11	2.94	3.04	2.887	2.92
T12	-0.69	-0.435	-0.802	-0.46
Напряжения, МПа				
σ_1	64.5	63.5	65.1	62.1
σ_2	-12.1	-12.4	-12.65	-11.8
σ_3	-34.3	-34.1	-34.7	-34.4
σ_4	6,0	6.1	6,0	5.7

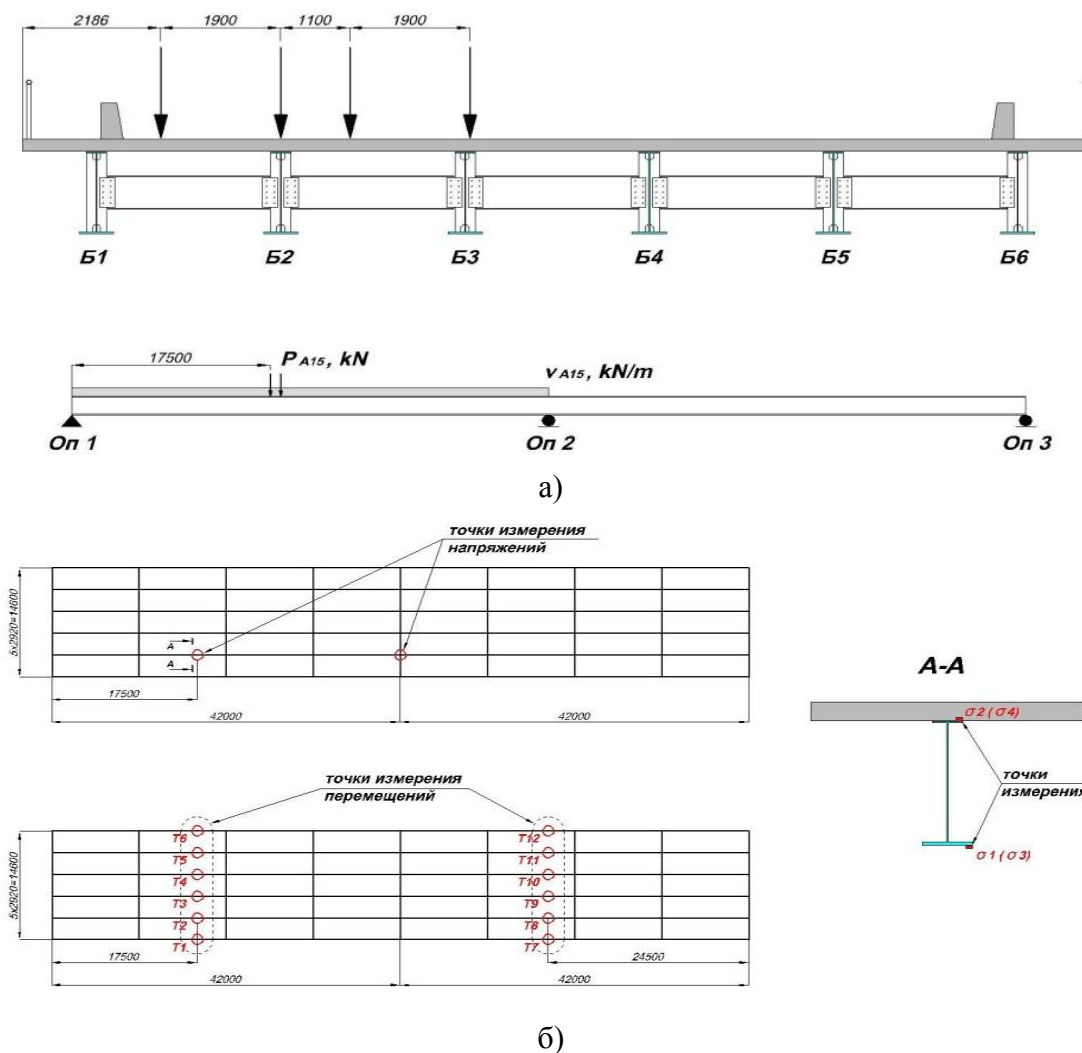


Рис. 6. Схема загрузки пролетного строения нагрузкой A15 и схема расположения контрольных точек для сопоставления результатов. а - схема загрузки пролетного строения, б - схема расположения контрольных точек

Из таблицы видно, что значения перемещений в узлах и усилий в элементах хорошо коррелируют между собой.

Если же говорить о преимуществах и недостатках каждой из моделей, то можно сказать следующее:

- Первые две модели достаточно просты в реализации и количество времени затрачиваемое на создание и расчет моделей – минимальное. Однако, несмотря на простоту в моделировании, возникает необходимость в проведении дополнительных вычислений, связанных с определением жесткостных характеристик сталежелезобетонного сечения и эффективной ширины полки;
- Третья модель, по отношению к первым двум, является удобней в использовании. В ней нет необходимости в определении эффективной ширины полки сечений и жесткостных характеристик, так как в модели это все учитывается автоматически. Однако в результате расчета в стержневых

элементах, кроме изгибающих моментов (M) и поперечных сил (Q), возникают еще и нормальные силы (N), в результате чего есть необходимость в выполнении дополнительных вычислений при определении напряжений в сечениях балок.

- Четвертая модель наиболее точна в описании напряженно-деформированного состояния пролетного строения. Она позволяет выдать как картину распределения напряжений в элементах конструкции, так и приближенную к действительности форму деформации. Одним из основных преимуществ применения оболочечных элементов в модели является то, что в результате расчета можно получить формы потери устойчивости и коэффициенты запаса устойчивости элементов конструкции. Основным недостатком этой модели является необходимость в использовании значительного количества конечных элементов, что в случае проведения численного анализа достаточно длинного моста, имеющего сложную топологию, приводит к значительным затратам времени на создание и расчет такой модели.

В тоже время использование четвертой модели обосновано в случаях проведения детальных расчетов сложнапряженных мест в конструкции, например: анализ устойчивости отсеков балки; распределение локальных напряжений; определение выносливости сварного узла, при использовании метода локальных напряжений и т.д. В исследуемом пролетном строении сталежелезобетонного моста соответствующим местом с точки зрения применения модели полностью состоящей из оболочечных элементов является надпорный участок. Используя одну из первых трех моделей, в указанном месте можно получить лишь изгибающий момент и поперечную силу и потому для анализа устойчивости в отсеках вертикальной стенки балки приходится проводить аналитические вычисления. Использование же модели состоящей из оболочечных элементов появляется возможность оценить устойчивость отсеков, без каких либо дополнительных вычислений, при этом полученные результаты будут являться более точными. Во всем остальном эта модель практически ничем не уступает стержневым моделям. Из выше представленных результатов расчета четырех конечно-элементных моделей видно, что перемещения и напряжения в характерных точках сечений пролетного строения достаточно близки между собой.

Можно сделать вывод, что есть необходимость в применении модели, которая включала бы в себя преимущества стержневой и оболочечной модели. То есть, такой модели, которая позволяла бы более подробно оценить напряженно- деформированное состояние характерных мест в конструкции и тем самым времени на расчет затрачивалось намного меньше.

В данной статье предлагается модель для балочных пролетных строений мостов, в которой оболочечными элементами аппроксимируется фрагмент надпорного участка, а вся остальная часть конструкции стержневыми элементами. При этом фрагменты модели объединяются между собой через жесткие тела. В качестве фрагмента состоящего из стержневых элементов удобнее использовать модель балочной клетки, т.к. переход от стержневой к оболочечной модели посредством жестких тел осуществляется намного легче. Такая модель представлена на рис. 6.

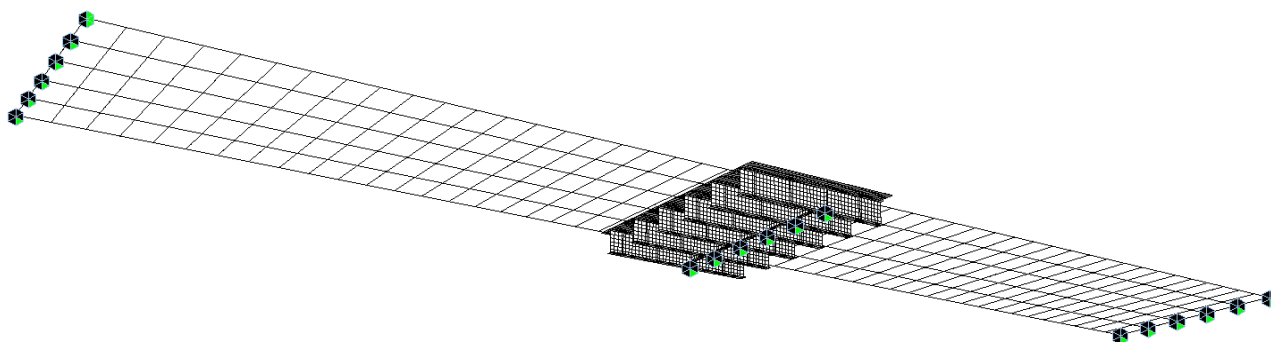


Рис. 6. Общий вид модели с жесткими телами

Численный расчет модели с жесткими телами был проведен при расположении временной нагрузки аналогично предыдущим расчетам. Загружение предлагаемой модели нагрузкой А15 и ее деформация в результате расчета представлены на рис. 7.

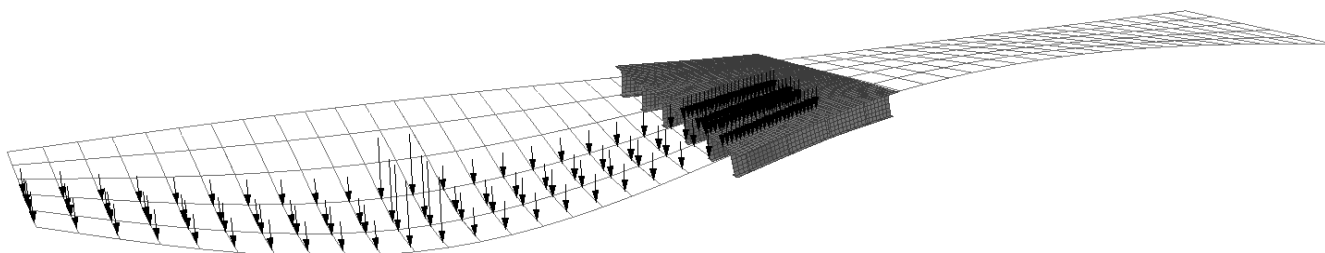


Рис. 7. Общий вид модели и ее деформация от временной нормативной нагрузки

Результаты полученных расчетов были сопоставлены с результатами расчета четвертой модели. Данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета конечно-элементных моделей

Точки	Вариант 4	Модель с жесткими телами
Прогибы, мм		
T1	-42.537	-40.73
T2	-36.33	-37.214
T3	-26.91	-28.14
T4	-16.01	-16.279
T5	-6.29	-5.97
T6	2.46	2.74
T7	16.69	16.3
T8	13.32	13.26
T9	9.98	10.026
T10	6.39	6.58
T11	2.92	3.1
T12	-0.46	-0.319
Напряжения, МПа		
σ_1	62.1	61.5
σ_2	-11.8	-11.3
σ_3	-34.4	-34.2
σ_4	5.7	5.9

Из таблицы видно, что результаты расчета модели с жесткими телами фактически совпадают с результатами расчета, полученными используя четвертую модель. Это подтверждает адекватность отображения напряженно-деформированного состояния конструкции используя модель с жесткими телами.

В случаях анализа устойчивости стенки в отсеках, более подробная конечно-элементная сетка используется лишь в одной балке, все остальные балки могут иметь более грубую сетку. Это позволит детально оценить устойчивость стенки и при этом сэкономить время расчета.

Загружение второй балки над опорой 2 и форма потери устойчивости в отсеке стенки показаны на рис. 8,9.

Как видно из представленного выше анализа модель с применением жестких тел в полной мере отображает напряженно-деформированное состояние

сталежелезобетонного пролетного строения. Такая модель намного практичней в использовании. И в случаях, когда создается модель моста имеющего значительно большие пролеты, а также множество мест для детального исследования напряженно-деформированного состояния, эффективность применения предложенной модели возрастает.

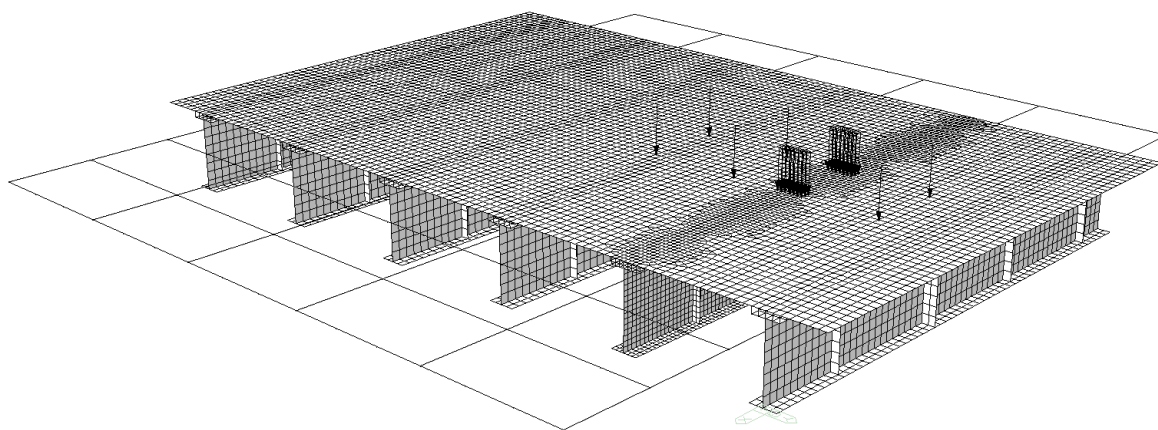


Рис. 8. Фрагмент надпорного участка с приложенной нагрузкой для исследования устойчивости стенки во второй балке

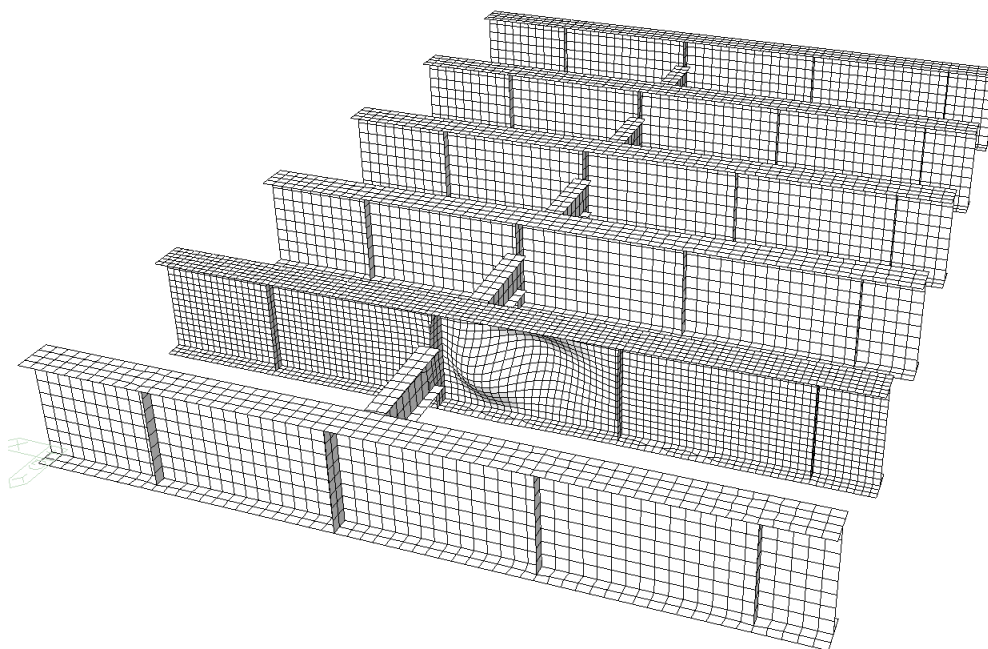


Рис. 9. Форма потери устойчивости в надпорном участке во второй балке

Выводы

Анализ результатов расчетов неразрезного сталежелезобетонного пролетного строения автомобильного моста, используя различные конечно-элементные модели, показал, что применение четвертой модели (модели состоящей полностью из оболочечных элементов) позволяет более детально отобразить напряженно-деформированного состояния всей конструкции.

Однако такая модель требует большего количества элементов, чем остальные модели. В случае, когда проводится детальный численный анализ достаточно длинного моста, имеющего сложную топологию, затраты времени на создание и расчет такой модели значительны.

Из анализа результатов видно, что не имеет смысла всю модель сталежелезобетонного пролетного строения аппроксимировать оболочечными элементами для исследования устойчивости и распределения напряжений в элементах главных балок. Достаточно описать оболочечными элементами лишь фрагмент характерного места, а все остальные участки стержневыми элементами которые объединяются с оболочечными используя жесткие тела. Такая модель позволяет в полной мере численным путем описать напряженно-деформированное состояние пролетного строения и при этом затрачивается меньше времени на создание и расчет такой конструкции.

Целесообразно провести численные исследования, связанные с использованием модели с жесткими телами и на других типах пролетных строений мостов.

Литература

1. Метод конечных элементов в проектировании транспортных сооружений/ А.С. Городецкий, В.И. Зоворицкий, А.И. Лантух-Лященко, А.О. Рассказов. - М.: Транспорт. 1981. – 143 с.
2. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 600 с., ил. (Серия «Проектирование»).
3. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. – К.: Факт, 2007. – 394 с.
4. Midas Civil. Analysis for Civil Structures (Analysis Manual). <http://en.midasuser.com>.
5. Розрахунок і проектування мостів: В 2-х т.: Навч. посіб./ О. Закора, Д. Каплинський, М. Корнієв, А. Корецький, А. Лантух-Лященко, К. Медведєв, В. Снітко, В. Тодіріка/ За ред.. А. Лантуха-Лященка. – К.: НТУ. – 2007. – 337 с.
6. Лучко Й.Й., Коваль П.М., Корнієв М.М., Лантух-Лященко А.І., Хархаліс М.Р. Мости: конструкції та надійність. – Львів: Каменярь, 2005. – (Нац. Академія наук України. Фіз.- мех.ін-т ім. Г.В. Карпенка. Довідник). – 989 с.

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

ПРОСТИЙ МЕТОД ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЧОТИРИВИМІРОВИХ ДАНИХ ТА ЗАЛЕЖНОСТЕЙ

Анотація. Наведено приклад розробки одного із засобів візуалізації чотиривимірових об'єктів, які будуть інтуїтивно зрозумілими дослідникам, тобто можуть дати конкретні уявлення про об'єкт досліджень у порівнянні з безпосереднім застосуванням чотиривимірної проективної геометрії.

Ключові слова: візуалізація; чотиривимірні моделі; проективна геометрія.

Аннотация. Приведен пример разработки одного из средств визуализации чотиривимірових об'єктів, которые будут интуитивно понятны исследователям, то есть могут дать конкретные представления об объекте исследований в сравнении с непосредственным применением чотиривимірної проективной геометрии.

Ключевые слова: визуализация; четырехмерные модели; проективная геометрия.

Annotation. An example of developing a means of rendering chotyryvymirovyh objects that are intuitive investigators, that can give concrete ideas about the object of research in comparison with the direct application of chotyryvymirovoyi projective geometry.

Keywords: visualization, four models, projective geometry.

Звичайно при дослідженнях широко оперують багатовимірними даними та залежностями. Так, наприклад, часто використовують математичні моделі, де фігурують чотири динамічні змінні ($X; Y; Z$ та W). Особливо це стосується аналізу гідрометеорологічної інформації. При візуалізації результатів досліджень будують графіки трьох змінних ($X; Y; Z$), ($X; Y; W$), ($X; Z; W$), ($Y; Z; W$) і т.п. Тобто одна динамічна змінна постійно не враховується.

Однак реальна цінність графічного представлення такої інформації досягається лише при наявності на графіку чотирьох координат, тобто повноцінного зображення картини із чотиривимірних точок $(X; Y; Z; W)$.

Як відомо, представлення чотиривимірного об'єкта на площині (монітора, аркуша паперу) не є досить складним у порівнянні з представленням трьохвимірного об'єкта [1].

Головна проблема полягає в тому, що спостерігач чотиривимірні об'єкти уявляти практично не може. Тобто від безпосередньої візуалізації чотиривимірного об'єкта особливої практичної користі не буде. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває розробка таких засобів візуалізації чотиривимірних об'єктів, які будуть інтуїтивно зрозумілими дослідникам, тобто можуть дати конкретні уявлення про об'єкт досліджень у порівнянні з безпосереднім застосуванням чотиривимірної проективної геометрії.

Розглянемо один із можливих методів вирішення проблеми, – одночасно простого в реалізації і в той же час інтуїтивно зрозумілого при інтерпретації результатів візуалізації.

Пропонується при візуалізації картини точок з координатами $X; Y; Z$ та W використовувати звичайне трьохвимірне подання об'єкта у координатах $X; Y$ та Z , а четверту координату W подавати (кодувати) кольором. При цьому найбільш просто чотиривимірний графік можна подати, якщо відмовитися від кольорового кодування і застосувати кодування у відтінках сірого кольору (зважаючи на звичайний чорно-білий друк).

При цьому методі подання графічної інформації для всіх значень координати W знаходимо максимальні та мінімальні значення, а далі виконуємо нормування всіх значень W таким чином, щоб $(I) \in [0; 1]$, оскільки значення RGB – складової кольору в системі MATLAB може змінюватися тільки в межах від нуля до одиниці [2].

Дослідження проводили за допомогою програми, розробленої авторами для системи MATLAB 7 [2,3]. При побудові певної точки з координатами $X(I); Y(I); Z(I); W(I)$ будуємо її у трьохвимірному просторі $X(I); Y(I); Z(I)$, а сірий колір точки позначає координату $W(I)$ та визначається як

$$RGB(W(I); W(I); W(I)) \quad (1)$$

згідно системи MATLAB.

Також можна використовувати подання координати $W(I)$ чотирирівимірної точки у вигляді

$$RGB(1 - W(I); 1 - W(I); 1 - W(I)). \quad (2)$$

Однак зважаючи на певні технічні умови (наприклад, при друкуванні рисунка на білому аркуші паперу) представлення (1) та (2) не можна вважати вдалим. Слід зменшити діапазон реальних змін RGB – складових кольору від 0,2 до 0,9. У цьому випадку представлення координати $W(I)$ набуде вигляду наступного співвідношення

$$RGB(0,9 - 0,7W(I); 0,9 - 0,7W(I); 0,9 - 0,7W(I)). \quad (3)$$

Представлення координати $W(I)$ у вигляді (3) застосовували у числових експериментах, що виконувались. У даному випадку меншим значенням координати $W(I)$ відповідають більш світлі відтінки сірого кольору, а більшим значенням – відповідно більш темні відтінки цього кольору.

Таким чином, запропонована палітра кодування значень координати $W(I)$ дозволяє виводити зображення на екран монітора, а також на аркуш паперу (чорно-білий друк за допомогою принтера).

В якості тестового прикладу проаналізуємо динамічну систему, поведінку якої описує диференціальне рівняння виду

$$\begin{cases} \dot{X} = A \cdot (Y - X); \\ \dot{Y} = B \cdot X + X \cdot Z - W; \\ \dot{Z} = -X \cdot Y - C \cdot Z + W; \\ \dot{W} = D \cdot X + Y, \end{cases} \quad (4)$$

яке призначеннях коефіцієнтів $A = 10,0; B = 35,0; C = 1,4$ та $D = 5,0$ має хаотичний розв'язок. Задаючи початкові значення (задача Коші) $X(0) = 0,1; Y(0) = 0,1; Z(0) = 0,1; W(0) = 0,1$, розв'язували рівняння (4) числовим способом, а далі візуалізовували розв'язок у вигляді окремих великих точок з різною градацією сірого кольору згідно (3).

Результати візуалізації розв'язку рівняння (4) наведені на рис.1 – 3 при різних положеннях спостерігача (камери).

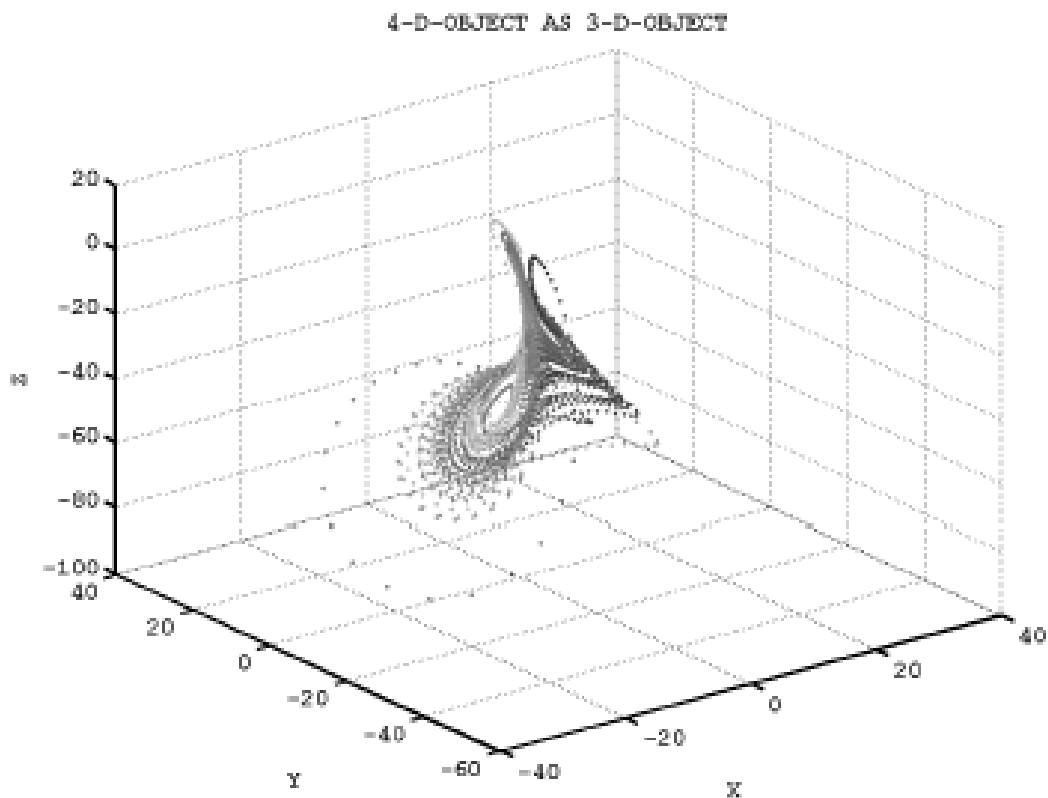
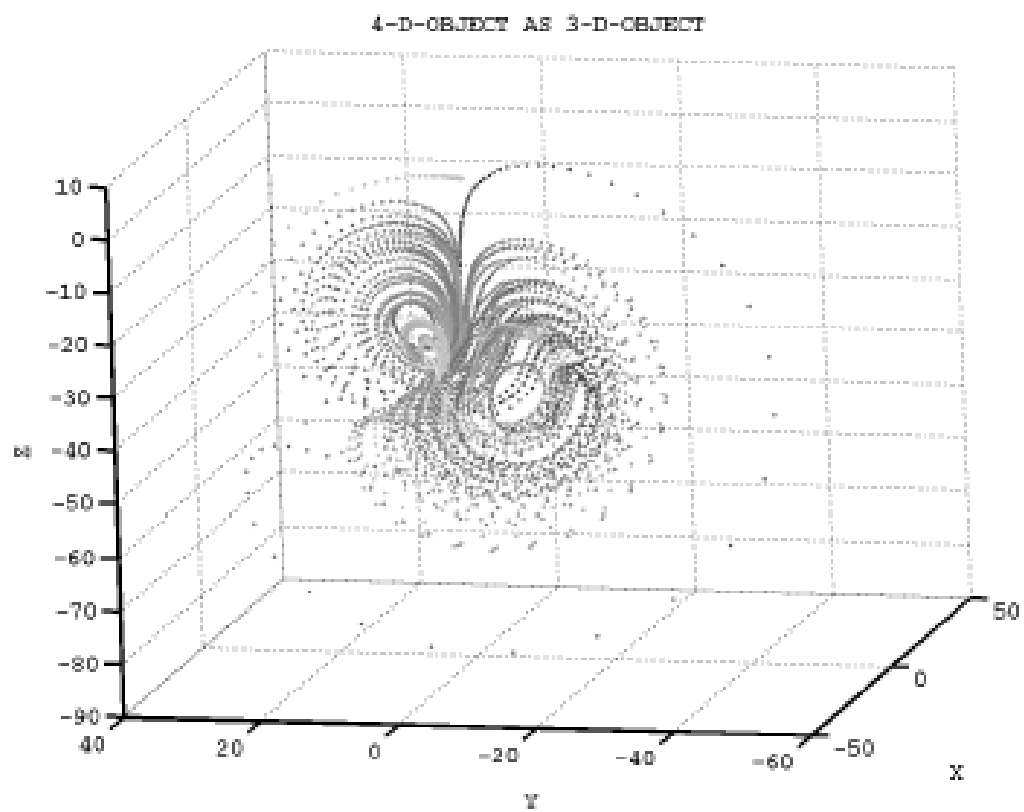
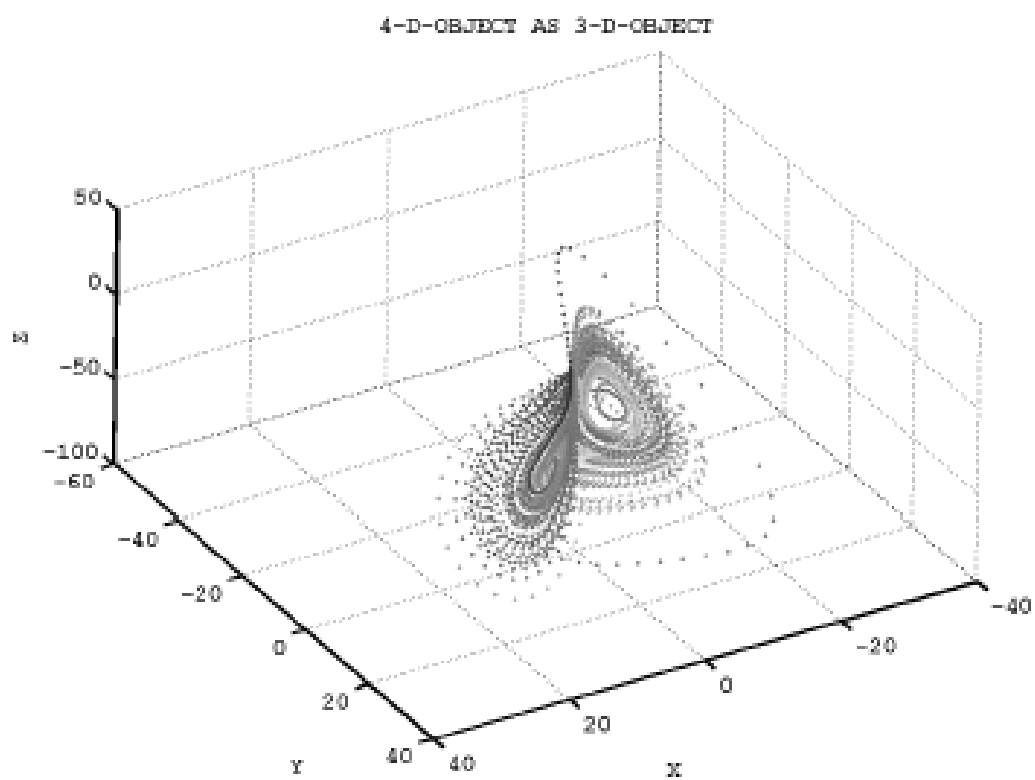


Рис.1



Puc.2



Puc.3

Аналіз результатів, що наведені на рис. 1 – 3 чітко фіксує скупчення точок однакової інтенсивності сірого кольору в одному із внутрішніх кілець аттрактора (відносно поняття аттрактора дивись останню статтю авторів “Застосування апарата нелінійної динаміки для аналізу часових рядів гідрометеорологічної інформації” у цьому ж випуску збірника). Це свідчить про те, що в цьому місці аттрактора, незважаючи на зміну координат $X(I); Y(I); Z(I)$, координати $W(I)$ практично не змінюються (значення $W(I)$ певним чином “заморожені”).

Оскільки детальний аналіз цього аттрактора не є темою даної статті, зазначимо лише, що запропонований метод візуалізації дає додаткові важливі дані про внутрішню будову об’єкту дослідження, які класичним методом отримати неможливо.

Таким чином, метод візуалізації, що пропонується, “насичує” графіки новою корисною інформацією, включаючи в аналіз одразу чотири координати $X; Y; Z$ та W , що дозволяє розглядати, що дозволяє розглядати 3D-об’єкт як 4D-об’єкт.

Литература

1. Блинова Т.А., Порев В.Н. Компьютерная графика // Под ред. В.Н.Порева. – К.: “Юниор”, – СПб.: “Коронапринт”, – К.: “Век⁺”. – 2006. – 520 с.
2. Кетков Ю.Л., Кетков А.Ю., Шульц М.М. MATLAB 7: программирование, численные методы. – СПб.: “БХВ-Петербург”. – 2005. – 752 с.
3. Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б., Смирнова Е.Н. MATLAB 7. – СПб.: “БХВ-Петербург”. – 2005. – 1104 с.

Славінська О.С., д-р техн.наук, Козарчук І.А.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗАГАЛЬНОГО РОЗМИВУ В ЗОНАХ ВПЛИВУ МОСТОВИХ ПЕРЕХОДІВ З ГРУПОВИМИ ОТВОРАМИ

Анотація. В статті проаналізовано: схеми призначення отворів мостів; методики розрахунку розподілу загальної витрати водотоку між частинами морфометричного створу та між отворами мостів; методики розрахунку загального розмиву. За програмним комплексом розраховано розподіл витрат та загальний розмив в зонах впливу мостового переходу через р. Дніпро з підходами до автомобільної дороги Київ-Знам'янка (Н-01) та Гора-Рогозів Великої кільцевої автомобільної дороги навколо м. Києва.

Ключові слова: мостовий перехід з груповими отворами, загальний розмив, русловий потік.

Аннотация. В статье проанализировано: схемы назначения отверстий мостов; методики расчета распределения общего расхода водотока между частями морфометрического створа и между отверстиями мостов; методики расчета общего размыва. По программному комплексу рассчитано распределение расходов и общий размыв в зонах влияния мостового перехода через р. Днепр с подходами к автомобильной дороге Киев-Знамянка (Н-01) и Гора-Рогозев Большой кольцевой автомобильной дороги вокруг г. Киева.

Ключевые слова: мостовой переход с групповыми отверстиями, общий размыв, русловой поток.

Annotation. In the article it is analyzed: charts of setting of bridge openings; methodologies of calculation of distribution of total expense of river between parts of morphometric fold and between bridge openings; methodologies of calculation of the general washout. Using the programmatic complex the distribution of total expense and general washout are calculated in the affected zones of bridge transition through Dnipro River with approaches to the highways Kyiv-Znamianka (N-01) and Gora-Rogoziv of Main Kyiv Automobile Ring Road.

Keywords: bridge transition with group openings, the total erosion, bearing flow.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день в Україні понад 5 тисяч мостів. Щорічно виділяються мільярди гривень на будівництво нових та реконструкцію і ремонт вже існуючих мостових споруд. Значних ресурсів потребує відновлення мостових переходів після паводків та повеней. Так, наприклад, в результаті паводку 2008 року в Західній Україні було зруйновано 80 та пошкоджено 144 мости. Збитки дорожнього господарства від стихії склали понад 2,5 млрд. грн.

Значна частина рівнинних річок України має заплави, які періодично затоплюються високими водами. На таких річках, особливо з широкими заплавами, при відповідному техніко-економічному обґрунтуванні доцільно влаштовувати мостові переходи з груповими отворами. Багаторічний досвід експлуатації даних споруд підтверджує їх високу водопропускну здатність і меншу схильність до розмивів порівняно з одним мостом з великим отвором. Це пояснюється тим, що побутовий режим водотоку спотворюється в меншій мірі, ніж при спорудженні одного мосту на корінному руслі, принаймні з тим же сумарним отвором.

Як відомо, після стиснення потоку переходом швидкість течії в отворі збільшується. Збільшення швидкості відбувається як в руслі, так і на заплаві, при чому швидкість на заплаві, залишаючись менше руслової відносно побутової, зростає зазвичай в більшій мірі, ніж в руслі. Тому при проектуванні отворів і струмененапрямних дамб необхідно брати до уваги збільшення швидкості на заплаві, де можуть виникати некомпенсовані розмиви. Руслові деформації, змінюючи площу перерізу під одним з мостів, тим самим змінюють розподіл витрат в усіх отворах групи, так як протікання води через кожен отвір взаємопов'язане з проходженням води через решту отворів. А це впливає на водопропускну роботу всіх мостів групи. Тому розрахунок групових отворів з припущенням розмиву є важливою етапом при призначенні їх розмірів.

Проте призначаючи отвори зі стисненням потоку насипами, необхідно зважати не лише на умови стійкості споруд мостового переходу і мінімум витрат на його зведення та експлуатацію, але й на особливості річки та вибраного місця переходу. Наприклад, на переході через рівнинну річку з широкими заплавами і пологими берегами, на яких безпосередньо вище за місце переходу розташовуються населені пункти, доводиться іноді збільшувати отвори, щоб понизити підпір й уникнути затоплення цінних угідь та будівель. В деяких випадках неприпустимо пересипати підходами рукави і протоки на

заплаві через те, що це може завдати збитку рибному промислу або водопостачанню населених пунктів. В цих випадках доцільно влаштовувати мостові переходи з груповими отворами.

Аналіз досліджень і публікацій. При широких заплавах можлива схема влаштування, окрім отвору на корінному руслі, окремих отворів на заплаві. Таке влаштування отворів особливо доцільно, коли на заплаві є рукави і протоки з великими питомими витратами води. Схему з декількома водопропускними отворами на загальному розливі річки А. М. Фролов [1] запропонував називати *схемою групових отворів*.

Й. С. Ротенбург [2, 3, 4] підтвердив даними спостережень доцільність застосування групових отворів на мостових переходах через річки з широкими заплавами, особливо коли дорога перетинає рукави і протоки.

Завдання гідравлічного розрахунку групових отворів полягає в основному у визначенні часткових витрат води в кожному з отворів. Рух води приймається усталеним. Розрахунок відноситься до відомої загальної витрати річки, яка відповідає піку розрахункового паводку. Витрата також залишається постійною на довжині ділянки водотоку між перерізами *с–с* і *б–б*, до яких розповсюджується вплив мостового переходу (рис. 1).

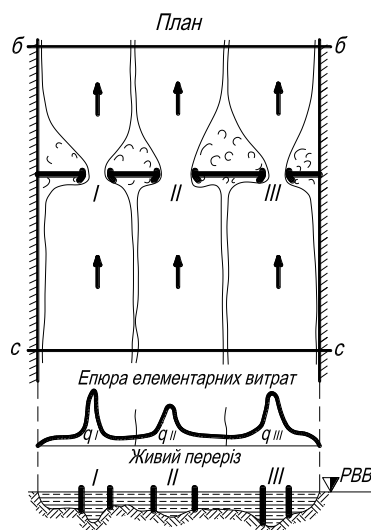


Рис. 1. Схема поділу потоку на частини на мостовому переході з груповими отворами [2]

Умова нерозривності потоку:

$$Q_{\text{заг}} = Q_I + Q_{II} + \dots + Q_n \quad (1)$$

Поділ загальної витрати між групою мостових отворів відбувається в умовах однакового максимального підпору:

$$\Delta h_{H1} = \Delta h_{HII} = \dots = \Delta h_{Hn} \quad (2)$$

Це положення підтверджується даними натурних спостережень. Розраховувати групові отвори за умовою рівності максимального підпору біля заплавного насипу запропонував Й. С. Ротенбург [2, 3].

Здебільшого головним чинником для обґрунтування величини отвору приймається величина розмиву. При цьому розрізняють: загальний, місцевий і зосереджений розмиви.

Загальний розмив викликаний стисненням річки насипами підходів і поширюється на все річище в зоні впливу мостового переходу (рис. 2).

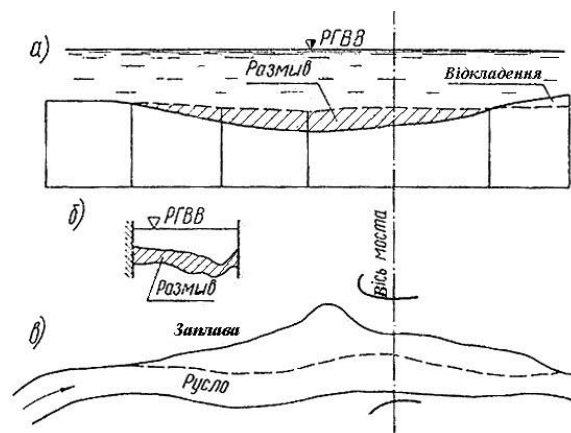


Рис. 2. Загальний розмив біля мосту: а – поздовжній профіль;
б – поперечний переріз по осі мосту; в – план [2]

Поглиблення живих перерізів потоку біля мосту внаслідок загального розмиву захоплює вгору і вниз за течією від споруди значну площу (рис. 2). Тому об'єм ґрунту, що виноситься при розмиві досить великий. У зв'язку з цим процес загального розмиву зазвичай протікає довго, протягом ряду років. У проміжні періоди між паводками, в період стояння низьких вод, коли немає стиснення потоку, загальний розмив відсутній; більше того, поглиблення дна русла біля мосту, що утворилося під час паводку, певною мірою замулюється. Розміри загального розмиву при кожному паводку залежать від його висоти і тривалості: що більший паводок, то більший розмив. Незважаючи на випадковий характер чергування високих і низьких паводків, можна

припустити, що кінцевий найбільший розмив станеться саме при проходженні найвищого багатоводного паводку. Тоді розрахунок загального розмиву слід виконувати для цього паводку, приймаючи його за розрахунковий. Така умовна методика значно спрощує знаходження величини розмиву і тому застосовується при проектуванні мостових переходів. Крім того, з метою спрощення розрахунку приймається, що під час розрахункового паводку найбільша глибина русла під мостом відповідає максимальній витраті, тобто піку гідрографа паводку. Вважають також, що розрахунковий високий паводок може настати в рік будівництва мостового переходу, і тому за початкове положення дна під мостом можна брати те його положення, яке було в побутових умовах – перед спорудженням мосту. Усе зазначене відносно спрощень, що приймаються, вказує на досить орієнтовний характер розрахунку загального розмиву [2].

В неусталеному потоці пік загального розмиву завжди відстає від піку паводку. Тому найбільша величина розмиву спостерігається на спаді паводку, коли рівні води зменшуються відносно розрахункового. Таким чином, максимальна глибина спостерігається на піку паводку, а максимальний розмив (найменша відмітка дна) досягається після проходження піку паводку [5, 6].

На рівнинних річках, що несуть значну кількість наносів, глибини у руслі після розмиву визначаються за рівнянням балансу приносу-виносу наносів, а на заплавної ділянці отвору мосту – за нерозмиваючою швидкістю для ґрунтів, що складають цю ділянку. Принцип розрахунку загального розмиву в зонах впливу мостових переходів з груповими отворами з урахуванням ходу паводка ґрунтується на пропозиції І. І. Леві [7] розраховувати розмиви дна річок при стисненні їх спорудами з боків за балансом тягнених наносів.

Вихідним диференціальним рівнянням для виведення розрахункових залежностей і формул є рівняння поздовжнього балансу донних наносів, записаного у вигляді:

$$\frac{dW}{dt} = G_m - G_{б,п} \quad (3)$$

де W – об'єм ґрунтового тіла розмиву або намиву дна на ділянці річки перед мостом;

t – час;

G_m – витрата донних наносів через живий переріз потоку під мостом;

$G_{\delta,p}$ – витрата донних наносів в руслі в побутових умовах, що поступають в підмостовий переріз згори.

Мета: дослідити процес розвитку загальних деформацій в основному руслі і в протоках в зонах впливу мостового переходу з груповими отворами.

Отримані наукові результати. Авторами було проведено розрахунки за спеціально розробленим програмним комплексом з метою визначення величини загального розмиву в зонах впливу мостового переходу з груповими отворами були взяті вихідні дані з робочого проекту на будівництво мостового переходу через р. Дніпро з підходами до автомобільної дороги Київ-Знам'янка (Н-01) та Гора-Рогозів Великої кільцевої автомобільної дороги навколо м. Києва.

Створ мостового переходу має такі основні характеристики:

- 1) імовірність перевищення $III = 1 \%$;
- 2) розрахункова максимальна витрата $Q_{\text{розр}}^{\text{max}} = 19600 \text{ м}^3/\text{с}$;
- 3) розрахунковий рівень високої води $PPBV = 95,38 \text{ м}$;
- 4) рівень меженної води $PMB = 86,80 \text{ м}$;
- 5) поздовжній похил водної поверхні $i_{\text{позд}} = 0,00011 = 0,11 \text{ ‰}$;
- 6) коефіцієнти шорсткості русла і заплав: $n_p = 0,034$, $n_z = 0,050$.

В процесі розрахунку на основі методики [2, 3] було визначено: розподіл загальної витрати водотоку між частинами морфометричного створу; витрати води, що надходять в кожен з отворів мостів; величину загального розмиву в зонах впливу мостових переходів з груповими отворами з урахуванням ходу паводка.

Для полегшення розрахунку крива рівневого графіка була замінена ступінчастою лінією відповідно до розбиття часу паводка на розрахункові інтервали.

Розподіл загальної витрати водотоку між частинами морфометричного створу визначається попереднім розрахунком за морфологічними характеристиками частин живого перерізу річки.

Розрахунок витрати води, що надходять в кожен з отворів мостів базується на умові рівності максимальних підпорів для всіх отворів мостів; а загальна витрата при цьому дорівнює сумі витрат в отворах. Рух води приймали усталеним, а витрати – постійними на довжині ділянки впливу мостового переходу. Розрахунок виконували методом підбору.

Принцип визначення величини загального розмиву ґрунтується на пропозиції І. І. Леві [7] розраховувати розмиви дна річок при стисненні їх спорудами з боків за балансом наносів.

Результати розрахунку розподілу загальної витрати водотоку між частинами морфометричного створу, представлені у вигляді графіків – гідрографів стоку (рис. 3).

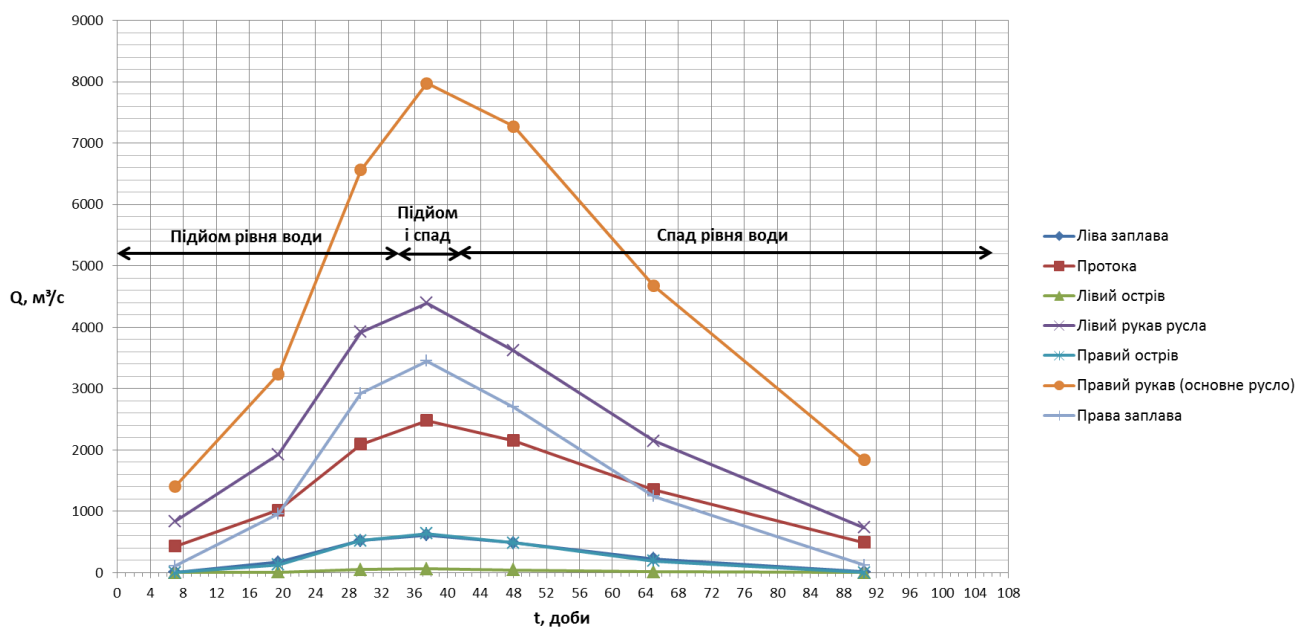


Рис. 3. Гідрографи стоку через частини морфоствору р. Дніпро

Результати розрахунку витрат води, що надходять в кожен з отворів мостів, також представлені у вигляді гідрографів стоку (рис. 4).

Витрати води в отворах мостів при загальній витраті водотоку $Q = 19600 \text{ м}^3/\text{с}$ і рівні води $z = 95,38 \text{ м}$ (тобто на піку паводка) становлять: $3110 \text{ м}^3/\text{с}$ в отворі №1; $4676 \text{ м}^3/\text{с}$ в отворі №2; $11814 \text{ м}^3/\text{с}$ в отворі №3.

Розрахувавши загальний розмив в зонах впливу мостового переходу через р. Дніпро, були отримані результати, представлені у вигляді графіків, які зображують хід деформації дна в зонах впливу кожного отвору (рис. 5).

Величина загального розмиву становить: $0,89 \text{ м}$ в отворі №1; $0,07 \text{ м}$ в отворі №2; $1,47 \text{ м}$ в отворі №3.

Оскільки в неусталеному потоці пік загального розмиву відстає від піку паводка, то найбільший розмив спостерігається на спаді паводка. В даному випадку максимального значення загальний розмив досягає наприкінці V

інтервалу часу, а в 3-му отворі наприкінці VI інтервалу. В подальші інтервали дно стабілізується, і не відбувається ні розмиву, ні наміву.

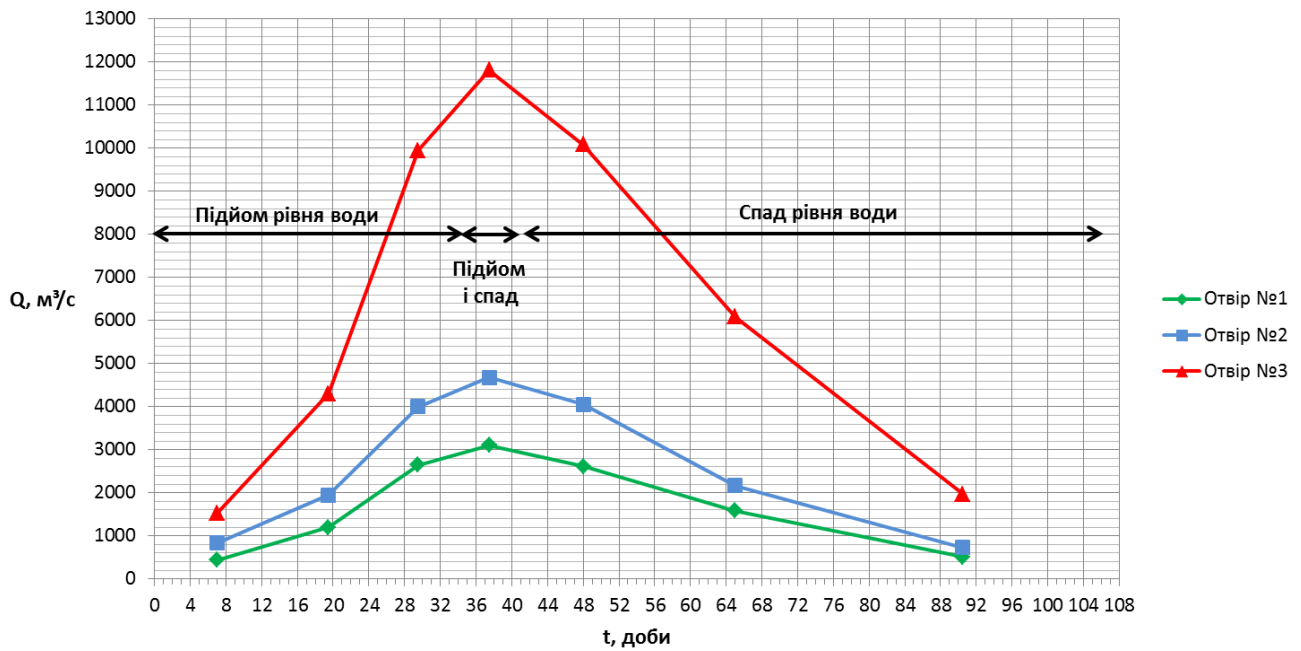


Рис. 4. Гідрографи стоку через отвори мостів р. Дніпро

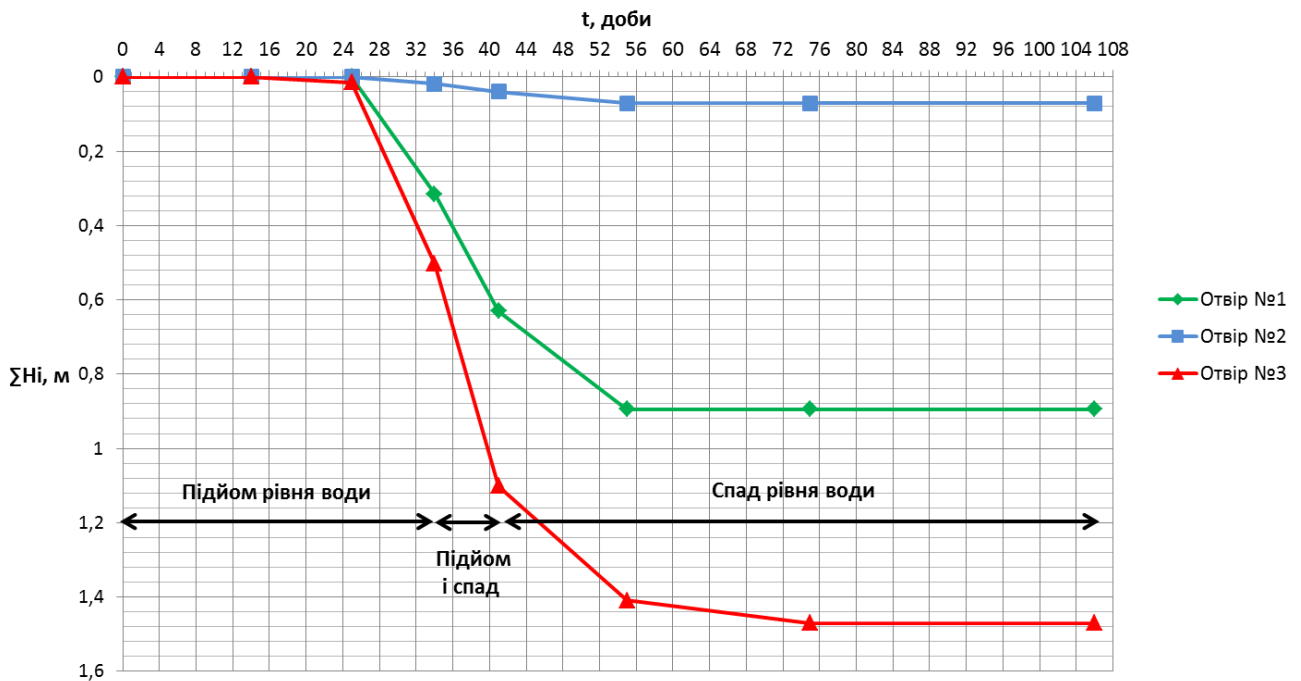


Рис. 5. Хід деформації дна р. Дніпро в зонах впливу мостового переходу з груповими отворами

Висновки

1. Влаштування мостових переходів з груповими отворами ефективно для збільшення водопропускної здатності та стійкості мостових споруд, зменшення величини максимального підпору та загального розмиву. Це пояснюється тим, що побутовий режим потоку спотворюється значно в меншій мірі, ніж при спорудженні тільки одного мосту на корінному руслі. Завдяки зниженню величини підпору зменшуються розміри затоплення високими водами цінних земель і населених пунктів.
2. При влаштування мостових переходів з груповими отворами зберігається значення рукавів і проток для потреб водопостачання, судноплавства і рибного промислу; покращуються умови руху суден біля мосту на корінному руслі; зменшується заболочення заплави.
3. Розрахунок загального розмиву в зонах впливу мостових переходів з груповими отворами дає змогу визначити зміну та розподіл витрат води між отворами мостів, величину максимального підпору та загального розмиву з урахуванням ходу паводка. А це, в свою чергу, дає можливість визначити необхідне підвищення насипів підходів до мосту і регуляційних споруд, а також затоплення місцевості вище за течією від переходу; запроектувати відповідні довговічні та ефективно працюючі отвори мостового переходу, глибину закладання фундаментів опор і частково тип фундаментів.

Література

1. Фролов А. М. О переходах через водотоки. – СПб.: Издат. Правления РУЖД, 1912.
2. Ротенбург И. С. и др. Проектирования мостовых переходов через большие водотоки. – М.: Высшая школа, 1965. – 336 с.
3. Ротенбург И. С., Вольнов В. С. Примеры проектирования мостовых переходов. – М.: Высшая школа, 1969. – 284 с.
4. Ротенбург И. С. Мостовые переходы с отверстиями на поймах. – М.: Дориздат, 1951. – 103 с.
5. Андреев О. В., Федотов Г. А. Проектирование мостовых переходов с применением ЭЦВМ (учебное пособие). Часть II. – М.: Издат. МАДИ, 1976. – 120 с.
6. Ткачук С. Г. Теорія розмивів на мостових переходах. – Донецьк: АТЗТ «Видавництво «Донеччина», 2009. – 200 с.
7. Леви И. И. Динамика русловых потоков. – Л.-М.: Госэнергоиздат, 1957. – 242 с.

Чечуга О.С., канд. техн. наук, **Каськів В.І.**, канд. техн. наук, **Лисенко О.П.**,
Лисенко А.М.

ДЕФОРМАЦІЇ, ЯКІ ВИЗНАЧАЮТЬСЯ УМОВАМИ СТАТИЧНОЇ РОБОТИ ТРУБИ В КОНСТРУКЦІЇ “НАСИП – ТРУБА – ОСНОВА”

Анотація. Наведено результати аналізу водопропускних залізобетонних труб на автомобільних дорогах загального користування.

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

Аннотация. Приведены результаты анализа водопропускных железобетонных труб на автомобильных дорогах общего пользования.

Ключевые слова: автомобильная дорога; железобетонные водопропускных труб; насыпь; деформации.

Annotation. The results of the analysis conduit concrete pipes on public highway.

Keywords: road, concrete culverts, embankment, deformations.

Обстеженню водопропускних труб на дорогах не завжди приділялась необхідна увага і тільки випадки появи масової кількості недопустимих деформацій чи окремі крупні аварії привертати до них час від часу увагу експлуатаційних організацій і проектувальників.

Більш системні обстеження стану труб під високими насипами доріг починаються у 40-х – 50-х роках. У роботах В.Я. Ярошенко [1, 2] був узагальнений досвід будівництва і експлуатації цього типу малих штучних споруд в СРСР і за кордоном, даний аналіз деформацій, які спостерігалися на трубах, доказана ефективність заміни малих мостів трубами і визначена область їх раціонального застосування. Ним же запропонований, який застосовується і тепер, метод визначення активного тиску насипу на водопропускні труби.

Подальші роботи по обстеженню стану труб проводилися СоюздорНДИ, Ленінградським інститутом залізничного транспорту, Центральним науково-

дослідним інститутом транспортного будівництва і його Сибірським філіалом, а також цілим рядом інших зацікавлених організацій і закладів. Результати цих обстежень дають достатньо повну уяву про всі види деформацій, які мають місце на водопропускних трубах [3–4].

Накопичений статистичний матеріал дозволяє виділити характерні руйнування конструкції “насип – труба – основа”.

Практика експлуатації підтверджує, що всі види деформацій, які спостерігаються на ділянках доріг із водопропускними трубами можна розділити на три основні групи:

- 1) деформації, які визначаються умовами статичної роботи труби в конструкції “насип – труба – основа”;
- 2) деформації, які визначаються гідравлічними умовами споруди;
- 3) деформації, які визначаються властивостями матеріалів.

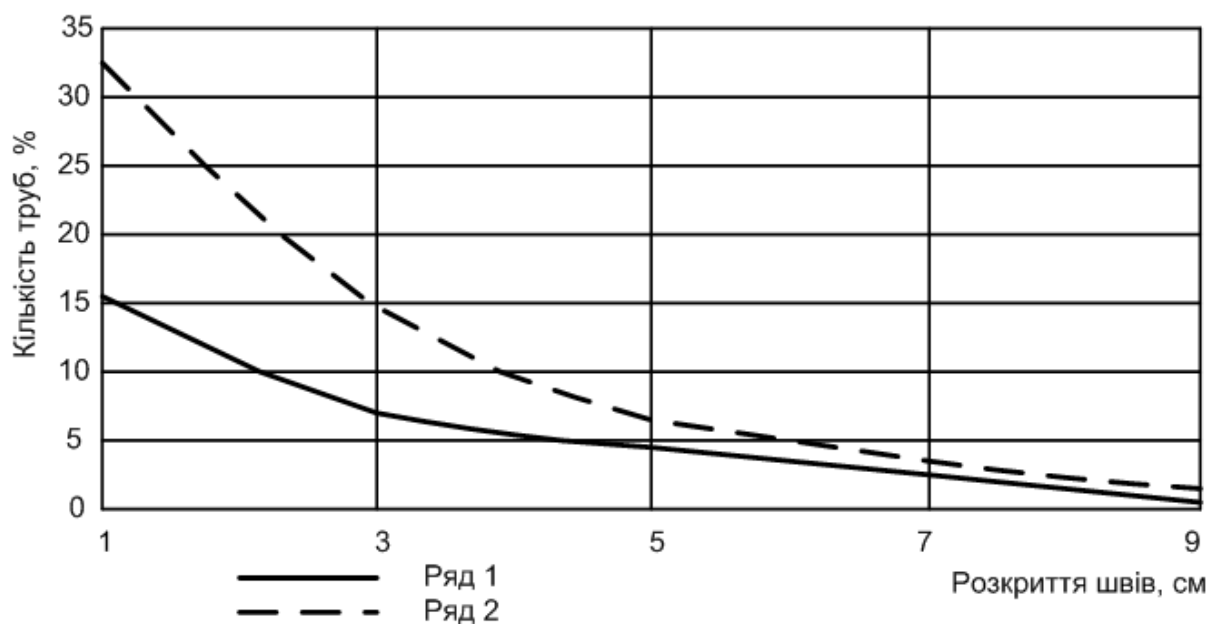
Однією із причин деформацій водопропускних труб на автомобільних дорогах слід вважати те, що в практиці проектування і будівництва прийнято розглядати насип і трубу в ньому як різні об’єкти.

Розглянемо більш детально деформації I групи.

Розтягнення труби вздовж вісі: Розтягнення – подовження труби з розкриттям швів між секціями – є одна з найбільш небезпечних деформацій. Розвиток розтягнення починається відразу після відсипки насипу і в більших випадках основна її частина проявляється в перші 1-2 роки.

Уяву про розкриття окремих швів порівняно з першочерговою величиною дає залежність (рис. 1), яка складена по даним обстежень більше 300 труб.

Розкриття окремих швів досягає 20 - 50 см і більше. Величина розтягнення для більшості труб складає 20 - 30 см, а іноді 1 - 2 м і більше. Навіть при невеликих розтягненнях із швів вивалюється матеріал ізоляції. При розкритті швів на 3 - 4 см, як правило, розривається оклеєчна гідроізоляція. Через розкриті шви обводнюється оточуючий трубу ґрунт і проникає в тіло труби. Ґрунт замулює лоток, а в тілі насипу виникають пустоти, що може призвести до осідання дороги. Розтягнення середньої частини труби супроводжується нерівномірними просіданнями секцій, а інколи виникненням в них поперечних тріщин, які потім розкриваються як деформаційні шви.



*Рис. 1 Розподілення кількості труб в залежності від найбільшої величини розкриття швів:
ряд 1 – в середній частині труби; ряд 2 – на кінцевих ділянках*

Причини цих деформацій пов'язані, в першу чергу, з поведінкою ґрунту, який оточує трубу.

Просідання секцій – наслідок незворотних деформацій при стисненні ґрунтів основи. Величина його тим більша, чим вищий насип і слабші ґрунти основи. В ряді випадків шкідливих наслідків цього явища – виникнення зворотних похилів, зустрічних уступів – можна уникнути, призначуючи будівельний підйом згідно з передбачуваним просіданням. Але при слабких ґрунтах міцність основи може виявитись недостатньою. В цьому випадку в ньому, крім ущільнення, виникають зсуви в окремих місцях, в яких виникає пластичне руйнування слабого ґрунту і попереднє відтиснення його з під насипу. Одночасно спостерігається поширення нижньої частини насипу, а при наявності труби – підвищення просідання секцій і розтягнення її середньої частини. При цьому розтягнення зазнають труби як на фундаментах мілкового закладання, так і на палях. Кількість деформованих труб і величина деформацій залежать від висоти насипу, міцностних характеристик ґрунту основи і потужності слабого шару. При наявності в верхній частині основи слабких прошарків малої потужності, наприклад, відтаючих мерзлих ґрунтів, розтягнення може виникнути за рахунок зсуву в цьому прошарку без підвищених просіданнях секцій труб.

При невеликих висотах насипів причиною розтягнення труб на автомобільних дорогах може бути дія рухомого навантаження.

Також можна відмітити, що основною причиною розтягнення труби вздовж вісі є пластичні деформації ґрунту, який оточує трубу. Розтягнення інтенсивно розвивається в час засипки труби і в період після будівництва, потім спостерігається затухання деформацій.

Поздовжні та поперечні тріщини в кільцях: Поздовжні тріщини – розповсюджений дефект труб. Тріщини більшою частиною розташовуються по обидві сторони труби симетрично її осі. Величина їх розкриття досягає 25 мм і більше. В ряді випадків в місцях тріщин відмічено відхилення стін в середину труби. В стінах залізобетонних прямокутних труб виникають тріщини з розкриттям до 5 мм.

Поздовжні тріщини в кільцях круглих залізобетонних труб зустрічаються при насипах висотою понад 8 – 10 м і розташовуються в верхній частині перетину. Такі тріщини є результатом перевищення фактичного тиску над розрахунковим, порушення розрахункової схеми обпирання круглих кілець в результаті конструктивних недоліків труби і незадовільного виконання робіт при монтажі, відхилення відносно положення арматури, незадовільної якості матеріалу тощо.

Кількісна оцінка розповсюдження тріщин в кільцях труб дала можливість простежити вплив на цю характеристику висоти земляного полотна (рис. 2).

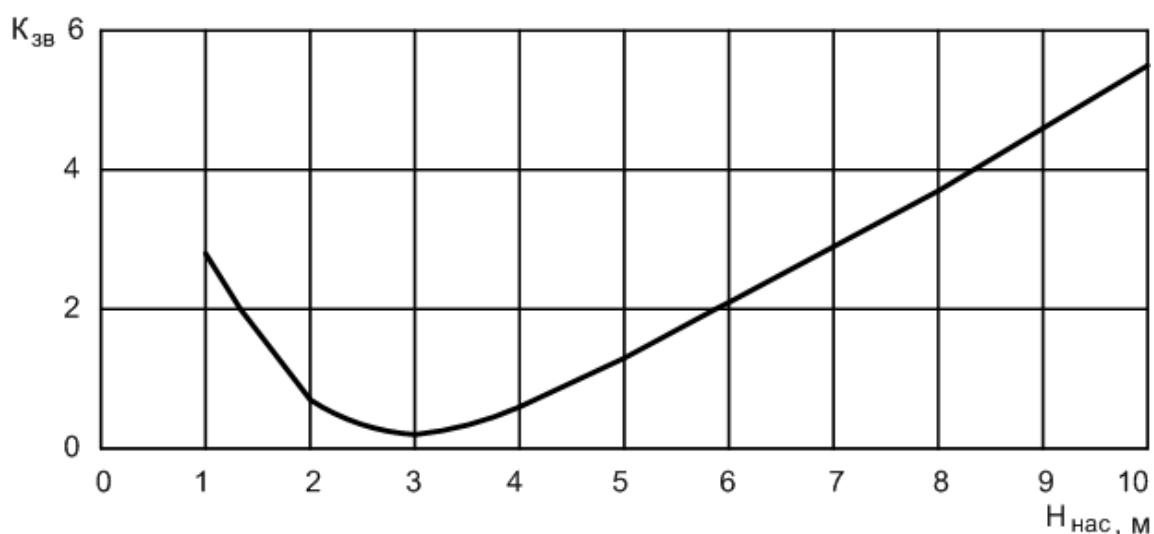


Рис. 2 Залежність коефіцієнта розповсюдження тріщин в ланках круглих труб від висоти насипу

При малих засипках переважають тимчасові навантаження, дія яких потім згасає і дає місце дії постійних навантажень. Розгляд таких залежностей показав, що порівняно з кільцями $d = 1,00$ м кільця труб $d = 1,25$ м і $1,50$ м схильні до тріщиноутворення у 1,2 і 1,4 відповідно рази більше.

Причини поздовжніх тріщин в круглих трубах полягають також в температурних напруженнях.

Кількість тріщин збільшується від країв труби до середини, де висота насипу досягає максимального значення, причому коефіцієнт розвитку тріщин для середніх кілець у 4 – 5 раз більший, чим середній для труби.

Просідання окремих кілець в тілі труби (рис. 3). Нерівномірне просідання окремих кілець в тілі труби може бути наслідком просідання основи труби, яке викликано або тиском насипу, або втратою несучої здатності ґрунтів основи через проникнення води із труби крізь шви, які виникли в результаті осідання або через зміни властивостей ґрунтів при їх промерзанні чи відтаванні.



Рис. 3 Просідання кільця в тілі труби

Просідання труби. Як правило спостерігається збільшення просідання від кінців труби до середини. Просідання водопропускних труб можна пояснити консолідацією ґрунту основи під трубою від дії тиску насипу, який знаходиться вище.

Випадки повного руйнування кілець труби: Причини таких випадків можуть бути наслідками перевищення фактичного тиску над розрахунковим;

неправильного опору кілець труб; помилок в розрахунках і незадовільній якості робіт або матеріалу труб.

Тиск на труби виявляється тим більший при інших рівних умовах, чим більша жорсткість труби і основи, на якій вона розташовується.

Тому в ряді випадків тиск на водопропускні труби може не тільки бути рівним вазі стовпа засипки над нею, але й бути більше цього значення у 1,5 рази.

Виникнення ободу руйнування і постійного вертикального тиску засипки після досягнення деякої висоти насипу, які є основою загальноприйнятого способу розрахунку жорстких труб в дійсності не спостерігалось. Тиск на жорсткі труби зростає пропорційно висоті насипу без будь-яких обмежень. Подібна невідповідність між загальноприйнятим розрахунком і фактичним вертикальним тиском на труби може бути причиною руйнування кілець водопропускних труб.

Неправильне обпирання на жорсткі фундаменти круглих залізобетонних труб різко погіршує умови їх роботи. Круглий переріз прекрасно працює при дії на нього розподіленого навантаження. Навпаки, спирання труби на жорсткий фундамент по утворюючій, тобто прикладення до кільця зосередженої сили, призводить до виникнення великих місцевих згинаючих моментів, нерідко таких, які в 2 рази перевищують розрахункові. В кільцях при цьому виникають розтягуючі напруження, в деяких випадках вони перевищували руйнуючі, з'являються поздовжні тріщини.

Руйнування кілець труби, як правило, проходить з виникненням чотирьох пластичних шарнірів по кінцям вертикального і горизонтального діаметрів труби.

Факти свідчать про те, що кільця деяких труб деформуються при висоті засипки, яка на багато менша від розрахункової, але при інших, які прийняті в типових проектах, властивостях ґрунтів основи і засипки, монтажу кілець, недотримані правил засипки і впливу інших негативних факторів. Існує цілий ряд таких негативних факторів:

- 1) недоліки при виготовленні та транспортуванні кілець:
 - незадовільний контроль якості виготовлення;
 - товщина стінок одного і того ж кільця може знаходитись в межах від 16 до 24 см, що пов'язано з використанням багатофіксуючого вібросердечника;

- розвантаження кілець з автомашин на об'єктах іноді проводять шляхом скидання кілець на землю;

2) недоліки технології виробництва будівельних робіт, монтажу;

3) порушення умов опору кілець на фундамент.

Деформація оголовків. Труби під насипами доріг знаходяться під навантаженням від тиску ґрунту насипу, від власної ваги конструкції, від тимчасового рухомого навантаження залізничних і автомобільних доріг. Саме від тиску насипу і в результаті його розповзання відбуваються деформації оголовків.

Аналіз всіх видів деформації водопропускних труб на автомобільних дорогах свідчить, що найбільш поширеними є деформації першої групи. Це пояснюється тим, що умова взаємодії труби з оточуючим її ґрунтовим масивом та основою, мають складний і, значним чином, невизначений характер, що завжди створювало великі труднощі для правильного розуміння процесів, що відбуваються в системі, і вибору найбільш достовірної розрахункової схеми і методу розрахунку.

На основі узагальнення даних можна зробити **висновки**:

–кількість тріщин збільшується від країв труби до середини, де висота насипу досягає максимальних значень, причому для середніх ланок у 4 – 5 разів більше, ніж середній для труби;

–кількість тріщин більше на трубах з постійно діючими водотоками й у заболочених місцях;

–кількість тріщин збільшується зі збільшенням діаметра ланок, так для труб діаметром 1,25 м і 1,50 м їх у 1,2 – 1,4 рази більше, ніж для труб діаметром 1,0 м;

–кількість тріщин зростає зі збільшенням жорсткості фундаменту;

–розкриття тріщин у ланках труб під високими насипами може досягати 10 мм;

–в окремих випадках спостерігається відшаровування захисного шару товщиною до 65 мм площею до 1 м²;

–нерівномірне осідання секцій блокових фундаментів може досягати 1/25 висоти насипу;

–часті випадку сплющування круглих ланок і провисання ригелів прямокутних ланок до 8 см і більше.

Як правило, деформації труб виявляються до кінця відсипання чи в перші місяці після її закінчення, причому найбільших розмірів деформації досягають у початковий період експлуатації, потім швидкість розвитку деформацій зменшується і система досягає стійкої рівноваги.

Література

1. Ярошенко В.Я. Основное положение применения водопропускных труб под железнодорожными насыпями: дис. ... к.т.н. / В.Я. Ярошенко – М., 1945.
2. Ярошенко В.А. Водопропускные трубы под железнодорожными насыпями / Ярошенко В.А. – М.: Трансжелдориздат, 1952. – 98 с
3. Зелевич П.М. Причины деформаций водопропускных труб под насыпями / Зелевич П.М. – К.: Вища школа, 1962. – №4. – 108 с.
4. Попов А. Н., Злочевський Б. І., Ліневич А. Б. Характерні деформації водопропускних труб автомобільних доріг .- Тр. СоюздорНДІ, 1972. - Вип. 59. – 180 с.
5. Муромов В.С., Лившиц М.Х. Косогорные водопропускные трубы. – М.: Транспорт, 1975. – 144 с.
6. Заворицкий В.И. Давление грунта на круглую водопропускную трубу // Сб. Автомобильные дороги и дорожное строительство. – Вып. 2. – К.: Будівельник, 1965. – С. 21–26.
7. Водопропускные трубы под насыпями / Е.А. Артамонов, Г.Я. Волченков, Р.С. Клейнер, Р.Е. Подвальный, А.С. Потапов, К.Б. Щербина, О.Я. Янковский. Под ред. О.А. Янковского. – М.: Транспорт, 1982. – 232 с.
8. Ткачук В.М., Лантух-Лященко А.И. Малые искусственные сооружения на дорогах. – К.: Вища школа, 1979. – 124 с.
9. Андреев Н.П. Справочник по постройке искусственных сооружений. – М.: Тосстройиздат, 1962.
10. Клейн Г.К. Расчет подземных трубопроводов. – М.:Стройиздат, 1969. – 240 с.