

## **РОЗВІДУВАННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ ДОРІГ ТА ПЕРЕХОДІВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ**

**УДК 625.7**

**Довгополюк Л.О.**, канд. техн. наук, **Неівестна Н.В.**, канд. техн. наук

### **ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИ ПАСПОРТИЗАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**

**Анотація.** В статті узагальнено методи визначення координат, які служать основою для побудови геометричних параметрів дороги, проаналізовано та наведено основні характеристики.

**Ключові слова:** паспорт автомобільної дороги, координати, зйомка, супутникові карти, GPS-системи, лазерні сканери.

**Аннотация.** В статье обобщены методы определения координат, которые служат основой для построения геометрических параметров дороги, проанализированы и приведены основные характеристики.

**Ключевые слова:** паспорт автомобильной дороги, координаты, съемка, спутниковые карты, GPS-системы, лазерные сканеры.

**Abstract.** The article summarizes methods for determining the coordinates of which are the basis for the construction of road geometric parameters are analyzed and are the main characteristics.

**Keywords:** passport road, coordinates, photography, satellite maps, GPS-system, laser scanners.

#### **Вступ**

Паспорт автомобільної дороги є основним документом, що характеризує її сучасний стан . Він використовується для прийняття рішень щодо ремонту, реконструкції та оцінки умов руху транспортного потоку. Виходячи з цього паспорт автомобільної дороги повинен визначати:

- план дороги із прямокутними координатами  $X, Y$ ;
- поздовжній профіль із координатами  $X, Z$ ;

– цифрову модель дороги із шириною смуги 100 – 150 м.

Крім того, паспорт автомобільної дороги фіксує:

- координати основних елементів дороги;
- з'їздів та їх параметрів;
- автобусних зупинок;
- розташування дорожніх знаків<sup>4</sup>
- розташування огороження:
- розташування підпірних стінок:
- розташування водопропускних споруд;
- розташування площадок відпочинку;
- розташування АЗС тощо.

### **Основна частина**

Отримані координати використовуються для побудови плану дороги, поздовжнього та поперечних профілів, для визначення радіусів горизонтальних кривих як колових так і перехідних, поздовжніх похилів, радіусів вертикальних кривих, кривих з'їздів.

На основі прямокутних координат будується цифрова модель як дороги, так і прилеглої місцевості із горизонталями січенням 9,5 м та будується зображення дороги у 3D-проекції для визначення просторової видимості.

Отримані дані використовуються:

- для складання проекту капітального ремонту;
- для складання проекту по реконструкції автомобільної дороги;
- для проведення аналізу умов руху транспортного потоку;
- для проведення аналізу по пропускній здатності перехрещень та примикань;
- для проведення аналізу по практичній пропускній здатності ділянки автомобільної дороги;
- для економічних розрахунків із використання графіку швидкості руху, інтенсивності руху та складу транспортного потоку.

Географічні або прямокутні координати необхідні для побудови цифрової моделі дороги та цифрової моделі смуги відводу та визначення геометричних параметрів дороги можна виконати такими методами:

- тахометричною зйомкою;
- за допомогою GPS технологій;

- за допомогою супутникових карт розроблених на основі GPS-технологій;
- за допомогою сканування;
- за допомогою аерофотозйомки.

Тахеометрична зйомка вимагає багато часу та трудових затрат. Вона може бути використана для невеликих ділянок дороги або окремих складних ділянок.

Метод на основі GPS-технологій використовується при визначенні координат окремих кадастрових ділянок та границь землекористування в тому числі і автомобільної дороги та прилеглих земель. Точність замірів залежить від способу використання цього методу (кількість супутників, наявності постійної станції) Цей метод дає результати у прямокутних координатах.

Супутникові карти – це фотографії земної поверхні, отримані із супутника. Завдяки достатньо високій точності та зручності використання супутникові карти знайшли застосування в сільському господарстві, лісовій промисловості, геодезії, геофізиці та ін. Супутникові карти використовують для вивчення місцевості, визначення координат, розрахунку відстаней, вимірювання довжини та площі, визначення рельєфу, вивчення географії, визначення маршрутів для руху по дорогам тощо.

Супутникові карти є інтерактивними, тобто з їх допомогою можна визначати координати в будь якій точці супутникового зображення, що дозволяє розраховувати довжину по карті і відстань між об'єктами, розраховувати площу будівель та форм рельєфу на планеті, відстань по дорозі, вимірювати кути та визначати азимути.

Таким чином, за допомогою супутникових геодезичних карт можна визначити основні елементи автомобільної дороги, такі як ширина проїзної частини, радіуси горизонтальних кривих, поздовжні похили, радіуси вертикальних кривих, пікетажне положення. Кожна точка на карті характеризується географічними координатами  $X$ ,  $Y$  та висотою  $Z$ .

Супутникові карти Google (3gplaneta) використовують геодезичну систему координат WGS-84.

Система WGS-84 є правостороння ортогональна система координат, початок якої суміщений з центром мас Землі, точність складає менше 2 см. В WGS-84 нульовим меридіаном вважається опорний меридіан, який проходить в 5,31" до сходу від меридіана Гринвіча. За основу взятий еліпсоїд з великим

радіусом – 6 378 137 м (екваторіальний) та менший – 6 356 752,3142 м (полярний). Вісь X направлена в точку перетину нульового меридіана з площиною екватора, які встановлені Міжнародною службою обертання Землі. Вісь Y розміщена в площині екватора під кутом 90° на схід від осі X.

**Таблиця 1** – Супутникові дані згідно геодезичної системи координат WGS-84

Дані зі супутникових геодезичних карт				
№ п/п	Пікетажне положення	Координати		
	ПК +	Широта	Довгота	Висота над рівнем моря (м)
0	0 + 00,00	50.9409150059332	31.119527220944292	113,38
1	0 + 24,40	50.94095894896714	31.119205355862505	112,51
2	0 + 43,93	50.94104345468494	31.118958592633135	111,88
3	0 + 79,20	50.94122936672346	31.118529439190752	110,99
4	1 + 20,98	50.9414423195996	31.118025183895952	109,93
5	1 + 78,49	50.94172287507443	31.11735999606026	109,00
6	2 + 25,77	50.94198314791682	31.116737723568804	109,00
7	3 + 10,63	50.94234144321246	31.11587405193859	109,88

Отримані географічні координати задані в градусах довготи та широти переводяться у прямокутну систему координат, яка являє собою три попарно перпендикулярні прямі X, Y, Z з точкою O на перетині цих прямих, що є початком координат, а прямі з вибраними напрямками осями координат. Вісь X називають віссю абсцис, вісь Y – віссю ординат, вісь Z – віссю аплікату. Початок координат розбиває кожну з осей на дві півосі – додатну (яку позначають стрілочкою) і від’ємну. Площини, які проходять відповідно через осі координат X і Y, Y і Z, X і Z називають координатними площинами XY, YZ, XZ. Кожній точці M простору в прямокутній системі координат відповідає впорядкована трійка чисел, а кожній впорядкованій трійці чисел – єдина точка простору. Цю трійку чисел називають координатами точки.

Аерофотозйомка дає такі ж результати як і супутникові карти при дуже великій вартості робіт та подальшій обробці.

**Таблиця 2** – Переведені координати в систему координат «WGS 84 / UTM 2N – 30 в. д. - 36 в. д.»

Дані зі супутникових геодезичних карт				
№ п/п	Пікетажне положення	Координати		
	ПК +	Широта	Довгота	Висота над рівнем моря (м)
0	0 + 00,00	5644938.188	367885.325	113,38
1	0 + 24,40	5644943.651	367862.838	112,51
2	0 + 43,93	5644953.489	367845.743	111,88
3	0 + 79,20	5644974.930	367816.122	110,99
4	1 + 20,98	5644999.512	367781.302	109,93
5	1 + 78,49	5645031.899	367735.368	109,00
6	2 + 25,77	5645061.955	367692.393	109,00
7	3 + 10,63	5645103.344	367632.738	109,88

**Примітка.** Переведення географічних координат за допомогою додатку GeoCalculator із системи координат «Широта-довгота WGS84 – Геодезична (широта – довгота – висота над референт – еліпсоїдом) World Geodetic System 1984» в систему координат «WGS 84 / UTM 2N – 30 в. д. - 36 в. д.».

До сучасних технологій вимірювання відносяться GPS-системи, які є складовою частиною GPS-технологій. Супутникова радіонавігаційна система або, як вона ще називається, глобальна система визначення місця розташування GPS (GlobalPositionSystem) забезпечує високоточне визначення координат і швидкості об'єктів у будь-якій точці земної поверхні, у будь-який час доби, у будь-яку погоду, а також точне визначення часу.

GPS-система складається з спеціально розроблених низькоорбітальних супутників, які служать для визначення точних координат.

Положення об'єкту обчислюється завдяки використанню GPS-приймача, який приймає та обробляє сигнали від супутників, що відносяться до космічного сегменту глобальної системи позиціонування. GPS-система в своєму складі має наземні центри управління для визначення точних параметрів орбіт супутників та їх керування.

Принцип визначення координат полягає в одночасному вимірі відстані до декількох супутників з відомими параметрами їхніх орбіт на кожний момент часу і наступному обчисленні своїх координат.

За допомогою GPS-комплексу для кожної точки отримують три координати  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , де  $X, Y$  – відносяться до плоских,  $Z$  – до вертикальних координат. Дискретність отримання інформації може бути задана і становить від секунди до декількох секунд. Таким чином за допомогою ААК отримуємо план траси автомобільної дороги зафіксованого в координатах  $X$ ,  $Y$ .

Технологія наземного лазерного сканування сьогодні вже досить широко використовується для вирішення цілого ряду завдань. Своєю появою більш ніж 20 років тому вона революційним чином змінила можливості геодезичної зйомки. Принципова відмінність технології лазерного сканування від традиційних методів геодезичних вимірювань полягає в тому, що вона дозволяє збирати величезний обсяг інформації за дуже короткий інтервал часу. При лазерному скануванні за секунду виконується вимірювання від декількох десятків тисяч до понад мільйона точок, залежно від моделі лазерного сканера і режиму вимірювань. Це дозволяє, з одного боку, підвищити продуктивність робіт, а з іншого боку, знизити трудовитрати. На сьогоднішній день не існує іншої технології, яка дозволила б з такою швидкістю, точністю і ступенем детальності збирати величезні масиви геопросторової інформації.

В результаті виконання лазерного сканування виходить хмара точок лазерних віддзеркалень, тобто тих точок, до яких були виконані вимірювання за допомогою лазерного випромінювання. Хмара точок містить інформацію просторових координат кожної виміряної точки, що належить будь-якому об'єкту в зоні роботи сканера – будівлі, щоглі вуличного освітлення, дереву, пам'ятнику архітектури і т.п. Надалі, робота з результатами вимірювань лазерних сканерів проводиться в спеціальному програмному забезпеченні, яке є невід'ємною частиною технологічного рішення. По хмарах точок можна вирішувати безліч завдань, серед яких:

- побудова тривимірних цифрових моделей поверхні виміряних об'єктів;
- побудова різних креслень – планів, профілів, перетинів;
- оцінка поточного стану різних конструкцій в порівнянні з проектною моделлю;
- визначення деформацій об'єкта в результаті порівняння послідовно виконаних вимірювань;
- виконання «віртуальної» топографічної зйомки місцевості в офісі.

Величезними перевагами технології є швидкість зйомки і її детальність. В результаті можна оперативно отримувати інформацію про поточний стан

об'єкту і, в разі необхідності, відстежувати всі зміни майже в реальному часі. Крім того, ніщо не залишиться непоміченим, тобто до результатів вимірювань можна повернутися в будь-який момент, коли буде потрібно якась додаткова інформація про об'єкт. В останньому випадку не буде потрібно повторного виїзду бригади в поле для вимірювань – всі необхідні дані у вас вже є, потрібно просто ними скористатися.

Завдяки перерахованим особливостям технології наземного лазерного сканування, вона може ефективно використовуватися в різних сферах діяльності. Нижче наведено лише кілька прикладів застосування даної технології:

– *геодезія*. Побудова топографічних планів шляхом обробки в офісі хмар точок лазерних віддзеркалень. З масиву даних вибираються точки, що належать різним об'єктам, які підлягають відображенню на топографічному плані – рельєф місцевості, будівлі та споруди, об'єкти інженерної інфраструктури тощо;

– *дорожнє будівництво*. Зйомка дорожньої інфраструктури для оцінки її поточного стану та створення проектів реконструкції.

– *гірнича справа*. Зйомка відкритих розробок для оцінки обсягів видобутку, оперативна зйомка підземних виробок в різних цілях, у тому числі для оцінки ризиків виникнення надзвичайних ситуацій.

– *архітектура*. Фасадна зйомка будівель і пам'ятників архітектури для цілей паспортизації та підготовки проектів реконструкції.

– *експлуатація інженерних об'єктів*. Моніторинг стану складних інженерних споруд (мости, греблі, і т.п.), тарування резервуарів для зберігання рідин, детальна зйомка інженерних об'єктів (електропідстанцій, виробничих підприємств та ін.) для цілей паспортизації або підготовки проектів реконструкції.

– *обстеження місця події*. Детальна зйомка місць подій за великими втратами – аварії, катастрофи, дорожньо-транспортних пригоди і т.п.

Поява нових моделей лазерних сканерів і програмних продуктів як для управління приладами, так і для обробки даних лазерного сканування говорить про те, що потенціал можливостей даної технології далеко не вичерпаний.

## **Висновки**

Завдяки сучасній комп'ютеризації значно легше виконувати детальну геодезичну зйомку, що значно прискорює темп роботи, зменшує трудові затрати та підвищує якість виконаних робіт. Проте, з розвитком технології вартість програмно-апаратних комплексів стає все більш привабливою, що забезпечує їх більш широке застосування.

## **Література**

1. URL: [http://uk.wikipedia.org/wiki/Декартова\\_система\\_координат](http://uk.wikipedia.org/wiki/Декартова_система_координат)
2. Літнарівич Р.М. Основи космічної геодезії. Лабораторний практикум. – Чернігів, 2002. – 90 с.
3. URL: <http://gis-lab.info/qa/photomod-geocalc.html>
4. Шумаков Ф.Т. Супутникова геодезія. Конспект лекцій. – Харків, 2009. – 87 с.
5. URL: <http://cities-bлаго.ru/uchebnoe-posobie-po-inzhenernoj-geodezii /271-detalnaya-razbivka-krivyx.html>

### **Рецензенти:**

Угненко Є.Б., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Балашова Юлія Борисівна, канд. техн. наук, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури.

### **Reviewers:**

Uhlenko E.B., Dr. Tech. Sci., Kharkov National Automobile and Highway University.

Balashova Yu.B., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture.

Стаття надійшла до редакції: **10.06.2016 р.**

## **ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ**

**УДК 691.3 : 691.212**

**Дворкін Л.Й.**, д-р техн. наук, **Бордюженко О.М.**, канд. техн. наук

### **ВЛАСТИВОСТІ МОДИФІКОВАНИХ ДРІБНОЗЕРНИСТИХ БЕТОНІВ З ДИСПЕРСНИМ ГРАНІТНИМ НАПОВНЮВАЧЕМ**

**Анотація.** Наведені результати досліджень модифікованих дрібнозернистих бетонів з дисперсним гранітним наповнювачем. Показано, що такий наповнювач при оптимальному дозуванні позитивно впливає на основні властивості сумішей та бетонів.

**Ключові слова:** гранітна мука, дрібнозернистий бетон, поліфункціональний модифікатор.

**Аннотация.** Приведены результаты исследований модифицированных мелкозернистых бетонов с дисперсным гранитным наполнителем. Показано, что данный наполнитель при оптимальном дозировании положительно влияет на основные свойства смесей и бетонов.

**Ключевые слова:** гранитная мука, мелкозернистый бетон, полифункциональный модификатор.

**Abstract.** The results of studies of modified fine-grained concretes with the particulate filler granite. It is shown that the optimal dosing of filler in a positive effect on the basic properties of mortars and concretes.

**Keywords:** fine-grained concrete, granite flour, multifunctional modifier.

### **Вступ**

Основна маса відходів виробництва нерудних матеріалів представлена відсівами від подрібнення гірських порід на щебінь. Значну частину відсівів (15...25%) складає пилоподібна фракція з розміром зерен менше 0,16 мм. Одним з основних напрямків її застосування є використання в якості дисперсного наповнювача при виготовленні бетонів та розчинів.

### **Основна частина**

Досить широке застосування при отриманні розчинових та бетонних сумішей знайшли карбонатні порошки. Вони сприяють зниженню витрати цементу, забезпечуючи покращення властивостей сумішей і затверділих розчинів та бетонів. В меншій мірі застосовують пилоподібні фракції, отримані при подрібненні вивержених гірських порід і, зокрема, граніту. Згідно з класифікацією мінеральних матеріалів за їх реакційною здатністю в лужному середовищі, тобто в умовах контакту з тверднучим цементом, граніти та близькі до них породи, що містять польові шпати, в умовах нормального тверднення є хімічно неактивні [1]. Але завдяки високій дисперсності та підвищеній поверхневій енергії гранітна кам'яна мука (ГКМ) також як і інші дисперсні мінеральні наповнювачі активно впливає на фізико-хімічні процеси гідратації і структуроутворення цементного каменю і, відповідно, на властивості бетонів.

В сучасні рецептури розчинів та бетонів поряд з наповнювачами вводять добавки поверхнево активних речовин (ПАР) з метою покращення легкоукладальності сумішей, зменшення їх водопотреби, втягування повітря тощо. Ряд дослідників показали, що ефективність добавок мінеральних наповнювачів в цементних розчинах і бетонах суттєво збільшується при введенні добавок ПАР. Введення ПАР може розглядатись як один із способів активації наповнювача в розчинах і бетонах.

Крім зменшення міжфазової поверхневої енергії при створенні адсорбційно активного середовища, що позитивно позначається на величині адгезійних контактів, ПАР також здійснюють дефлокулюючий вплив на високодисперсні наповнювачі, схильні до агрегування [2].

Модифікування наповнених розчинів та бетонів може здійснюватись не тільки органічними добавками ПАР і полімерів, але і мінеральними добавками, зокрема такими високоактивними, як мікрокремнезем і метакаолін. Добавки ПАР і полімерів, а також високоактивні кремнеземисті і алюмокремнеземисті добавки можна розглядати як поліфункціональні модифікатори (ПФМ), що активізують вплив мінеральних наповнювачів на властивості бетонів.

В даній статті наведені результати досліджень впливу ГКМ – продукту, вловленого аспіраційною системою при подрібненні граніту Вирівського кар'єру – активованого поліфункціональними органічними та органо-мінеральними модифікаторами, на основні властивості дрібнозернистих бетонів на їх основі.

Хімічний склад граніту у %:  $\text{SiO}_2$  – 72.97;  $\text{TiO}_2$  – 0.31;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 13.6;  $\text{Fe}_2\text{O}$  – 0.97;  $\text{FeO}$  – 0.58;  $\text{MgO}$  – 0.46;  $\text{CaO}$  – 1.29;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 3.91;  $\text{K}_2\text{O}$  – 5.18; в.п.п. – 0.60. Питома поверхня ГKM – 250 м<sup>2</sup>/кг.

В сухі суміші вводили порошкоподібний суперпластифікатор СП-3. У якості водоутримуючої добавки використовували ефіри целюлози (ЕЦ) – метилгідроксиетилцелюлозу Tylose. Як активну кремнеземисту добавку застосовували метакаолін (МTK) – продукт помірною випалу збагаченого каоліну Дерманківського родовища Рівненської області. Питома поверхня МTK – 650 м<sup>2</sup>/кг, активність за поглинанням СаО – 19 мг/г. В якості заповнювача застосовували кварцовий пісок з модулем крупності  $M_{кр} = 1,69$ . У всіх складах сумішей забезпечували постійне співвідношення цементу та піску за масою (1 : 3).

Для дослідження впливу сукупності факторів складу сумішей, наповнених ГKM та добавками ПФМ, на показник їх легкоукладальності – рухомість за зануренням стандартного конуса – виконані алгоритмізовані експерименти відповідно до типових трьохрівневих планів  $Na_5$  і  $V_4$ . Умови планування експериментів наведені у табл. 1, а отримані статистичною обробкою моделі легкоукладальності та міцності бетонів – у табл. 2.

**Таблиця 1** - Умови планування експерименту при дослідженні легкоукладальності та міцності дрібнозернистих бетонів з добавками ПФМ

Технологічні фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
Натуральний вид	Кодований вид	-1	0	+1	
Вміст водоутримуючої добавки (ЕЦ), % маси цементу	$X_1$	0	0,15	0,3	0,15
Вміст суперпластифікатора СП-3, % маси цементу	$X_2$	0	0,35	0,7	0,35
Н/Ц*	$X_3$	0	0,35	0,7	0,35
Витрата води В, кг/м <sup>3</sup>	$X_4$	240	270	300	30
В/Ц	$X_5$	0,6	0,8	1,0	0,2

\*Відношення маси заповнювача (ГKM) до маси цементу.

Аналіз отриманих моделей показує, що найбільше на зміну легкоукладальності модифікованих дрібнозернистих бетонів впливають вміст суперпластифікатора (фактор  $X_2$ ) та витрата води (фактор  $X_4$ ). Звертає на себе увагу досить значний ефект взаємодії факторів  $X_1$  та  $X_2$ , який показує, що одночасна зміна цих факторів посилює їх інтегральну дію.

**Таблиця 2** - Експериментально-статистичні моделі легкоукладальності та міцності модифікованих дрібнозернистих бетонів (наповнювач – ГKM)

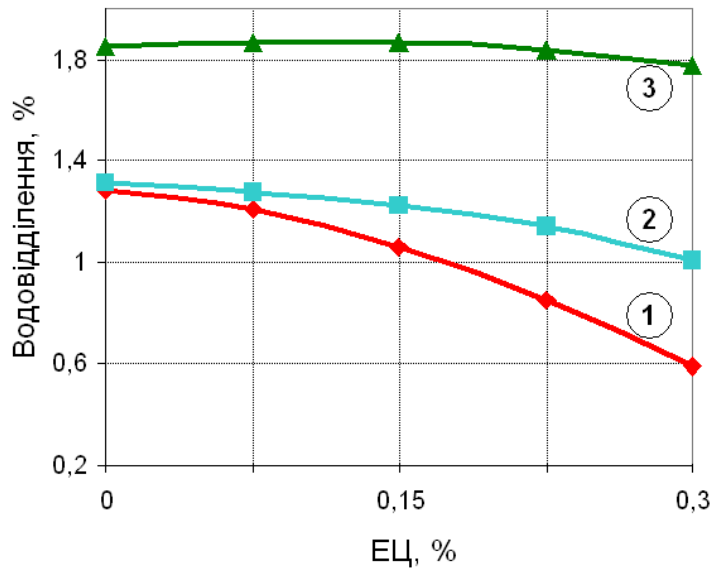
Поліфункціональний модифікатор (ПФМ)	Рівняння регресії
Суперпластифікатор СП-3 + водоутримуюча добавка ЕЦ (Tylose)	<p><i>Легкоукладальність (рухомість)</i></p> $Y_1 = 8,44 - 0,56X_1 + 2,47X_2 + 0,97X_4 + 0,07X_1^2 + 0,82X_2^2 - 0,18X_3^2 - 0,18X_4^2 + 0,07X_5^2 - 0,25X_1X_2 + 0,38X_2X_5 - 0,50X_3X_4 - 0,69X_4X_5 \quad (1)$
	<p><b>Міцність на стиск у віці 28 діб</b></p> $Y_2 = 25,5 + 2,61X_2 + 1,11X_3 - 1,62X_4 - 8,4X_5 - 1,87X_1^2 + 1,03X_2^2 - 1,62X_3^2 + 1,83X_5^2 - 0,18X_1X_2 + 1,21X_2X_3 + 1,77X_2X_5 + 0,32X_3X_5 \quad (2)$
	<p><b>Міцність на згин у віці 28 діб</b></p> $Y_3 = 3,93 - 0,289X_1 + 0,291X_2 - 0,017X_3 - 0,935X_5 - 0,491X_1^2 + 0,009X_2^2 - 0,267X_3^2 + 0,459X_5^2 - 0,031X_2X_1 - 0,044X_5X_1 - 0,069X_5X_3 \quad (3)$

В отриманій поліноміальній моделі показника рухомості сумішей ( $Y_1$ ) виявився статистично незначущим вплив фактора  $X_5$  – водоцементного відношення в діапазоні 0,6...1,0. З технології бетону відомо [3], що до певного критичного В/Ц зберігається правило постійності водопотреби, тобто із зміною В/Ц водопотреба залишається практично постійною. Очевидно, для досліджених сумішей також зберігається правило постійності водопотреби при різних дозуваннях компонентів ПФМ. При цьому на рухомість помітно позначається відношення маси наповнювача до маси цементу (Н/Ц).

Водопотреба сумішей, яка необхідна для досягнення заданого показника рухомості, суттєво (до 14%) збільшується при збільшенні відношення Н/Ц і, особливо, при  $N/C > 0,3...0,4$  а також із збільшенням у складі ПФМ долі високодисперсної мінеральної добавки (метакаоліну). Збільшення вмісту СП-3 у складі ПФМ нівелює вплив кремнеземистої добавки.

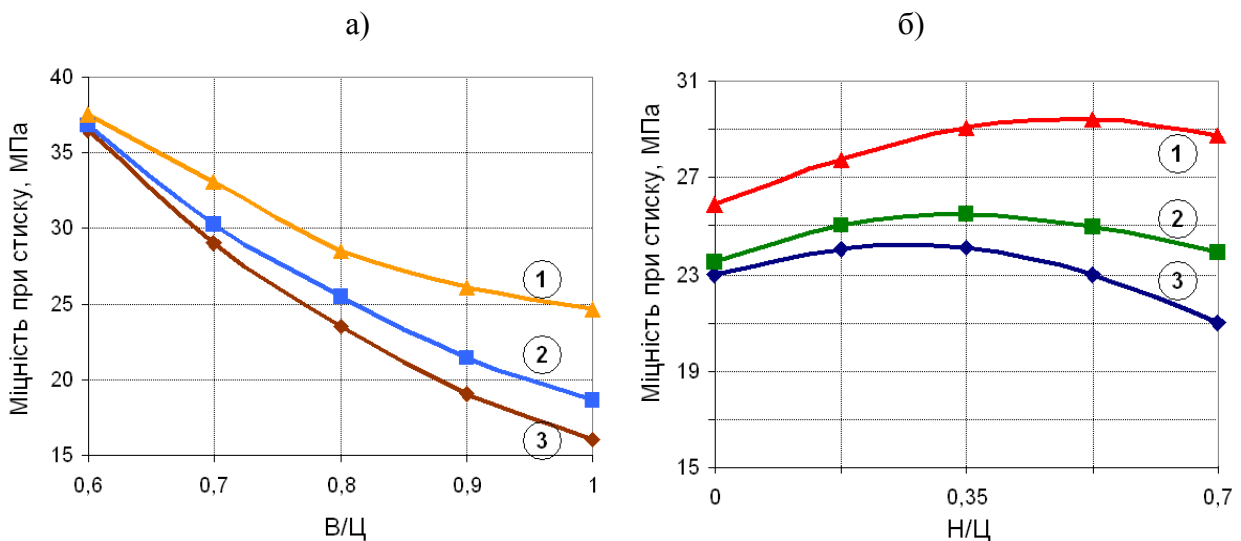
Позитивний вплив ГKM на стабілізацію рухомості сумішей у присутності СП-3 можна пов'язати з їх підвищеною водоутримуючою здатністю, що характеризується, в свою чергу, водовідділенням.

Про вплив суперпластифікаторів на водовідділення бетонних сумішей є суперечливі дані [4]. Відповідно до наших експериментальних даних при додаванні суперпластифікатора водовідділення сумішей має тенденцію до зростання. В той же час наявність полімерної добавки Tylose (ЕЦ) забезпечує зниження водовідділення у всьому інтервалі дозувань від 0 до 0,3% (рис. 1).



**Рисунок 1** – Залежність водовідділення дрібнозернистих бетонів від вмісту ЕЦ та суперпластифікатора при Н/Ц = 0,3 та МТК/Н = 0,15 (вміст суперпластифікатора: 1 – 0%; 2 – 0,5%; 3 – 1%)

Аналіз отриманих експериментально-статистичних моделей міцності модифікованих дрібнозернистих бетонів, наповнених ГKM, підтверджує визначальний вплив на міцність при стиску водоцементного відношення (В/Ц) (рис. 2).



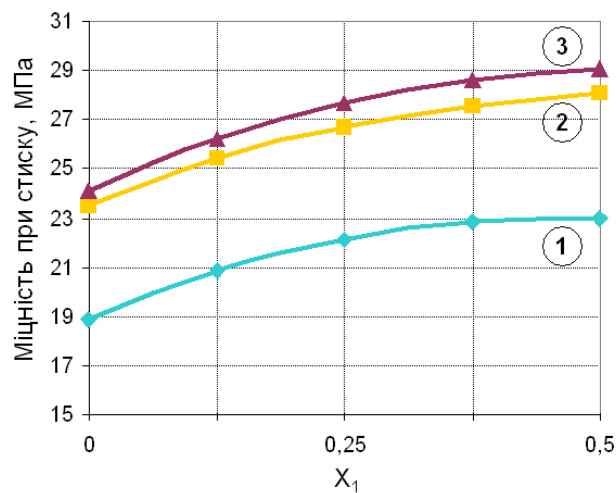
а) 1 – Н/Ц = 0,3; 2 – Н/Ц = 0,7; 3 – Н/Ц = 0

б) 1 – СП-3 = 0,7%; 2 – СП-3 = 0,35%; 3 – СП-3 = 0%

**Рисунок 2** – Залежність міцності на стиск дрібнозернистих бетонів, наповнених ГKM від В/Ц, Н/Ц і вмісту СП-3

Наступним за значимістю фактором є вміст суперпластифікатора. Помітну роль також відіграє відношення ГKM/цемент (H/C), вплив якого як на міцність при стиску, так і на міцність при згині є екстремальним. Для усіх досліджених складів близьким до оптимального є H/C=0,35...0,5.

Додаткове включення до композиції суперпластифікатор – ефіру целюлози (Tilose) високодисперсного алюмокремнеземистого компоненту – метакаоліну дає можливість додатково збільшувати міцність дрібнозернистих бетонів наповнених гранітною кам'яною мукою (рис. 3). Деяке підвищення при цьому водопотреби сумішей можна компенсувати регулюванням вмісту суперпластифікатора.



**Рисунок 3** – Залежність міцності на стиск дрібнозернистих бетонів від факторів складу:

$$x_1 = \frac{V_{\text{МТК}}}{V_{\text{МТК}} + V_{\text{ГКМ}}}; \quad x_2 = \frac{V_{\text{МТК}} + V_{\text{ГКМ}}}{V_{\text{МТК}} + V_{\text{ГКМ}} + V_{\text{Ц}}} \quad (V_{\text{МТК}}, V_{\text{ГКМ}}, V_{\text{Ц}} - \text{відповідно об'єми метакаоліну, гранітного кам'яного борошна та цементу; значення фактору } X_2: 1 - 0,25; 2 - 0,4; 3 - 0,55)$$

Для оцінки впливу складу та вмісту ПФМ на зміну міцності дрібнозернистих бетонів у часі виконані спеціальні дослідження. Зразки-куби з ребром 7,07 см тверділи у нормальних умовах. За результатами випробувань розраховували коефіцієнти зростання міцності у часі, наведені у табл. 3.

Як випливає з отриманих експериментальних даних, коефіцієнти росту міцності бетонів з добавками метакаоліну (МК) та ефірів целюлози (ЕЦ)  $K_{\tau} = R_{\tau} / R_{28}$  мають більш високі значення у 7-добовому віці. У подальші строки твердіння вони практично вирівнюються.

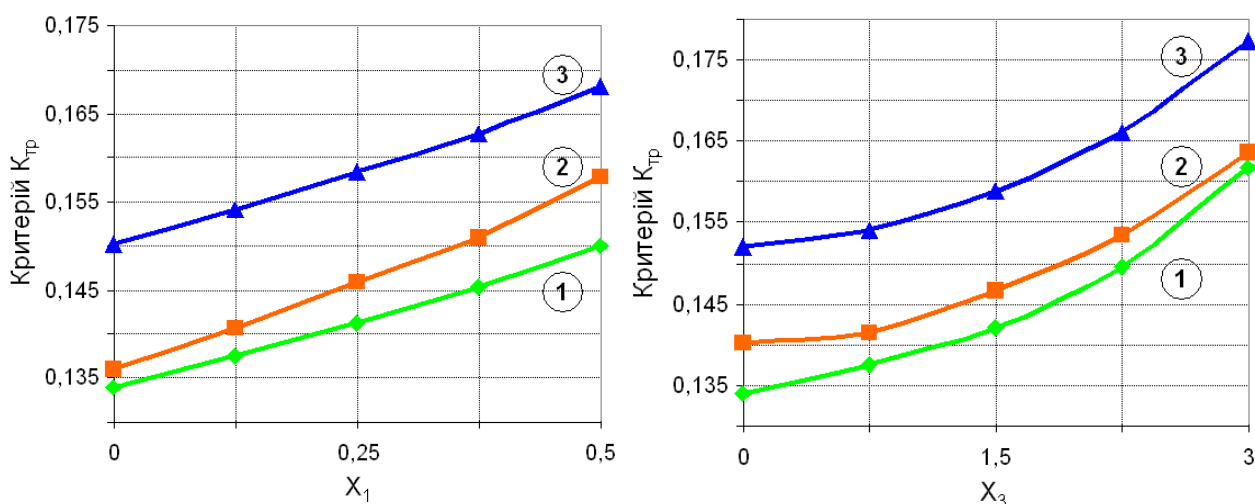
**Таблиця 3** – Коефіцієнти зростання міцності дрібнозернистих бетонів у часі

№ з/п	В/Ц	Н/Ц	В, кг/м <sup>3</sup>	МТК/Н	ЕЦ, %	Коефіцієнти зростання міцності $K_t = R_n / R_{28}$ у віці			
						7 діб	28 діб	60 діб	90 діб
1	0,8	-	250	-	-	0,60	1	1,13	1,24
2	0,75	0,4	270	-	-	0,62	1	1,14	1,24
3	0,82	0,4	277	0,15	-	0,64	1	1,18	1,23
4	0,85	0,4	281	0,3	-	0,69	1	1,16	1,27
5	0,81	0,4	275	-	-	0,63	1	1,15	1,25
6	0,83	0,4	278	-	-	0,67	1	1,18	1,26
7	0,83	0,4	279	0,3	0,15	0,71	1	1,17	1,26
8	0,82	0,4	277	0,3	0,3	0,72	1	1,18	1,25
9	0,80	0,4	273	-	0,15	0,66	1	1,15	1,24
10	0,79	0,4	271	-	0,3	0,69	1	1,17	1,27

**Примітки:** 1. У всі склади вводили СП у кількості 0,7% від маси цементу.  
2. Співвідношення пісок : цемент прийняте рівним 3 : 1 за масою.

Для оцінки порівняльної тріщиностійкості дрібнозернистих бетонів використаний критерій  $K_{тр}$ , який, характеризує відношення міцнісних показників на згин та стиск ( $R_{зг} / R_{ст}$ ).

На величину  $K_{тр}$  суттєво впливають вміст вискоактивного компонента наповнювача (МК), добавок суперпластифікатора (СП) та ефірів целюлози (ЕЦ) (рис. 4). Вона також зростає при збільшенні відношення ГКМ/Ц до 0,4...0,5.



**Рисунок 4** – Залежність критерія  $K_{тр} = R_{зг} / R_{ст}$  від вмісту в бетонах модифікуючих компонентів ( $x_1 = \frac{V_{МТК}}{V_{МТК} + V_{ГКМ}}$ ;  $x_2 = \frac{V_{МТК} + V_{ГКМ}}{V_{МТК} + V_{ГКМ} + V_{Ц}}$ ;  $x_3 = \text{СП} + \text{ЕЦ}$ ). Значення фактора  $x_2$ : 1 – 0,25; 2 – 0,4; 3 – 0,55

Для всіх досліджених складів дрібнозернистих бетонів характерне зменшення  $K_{тр}$  зі збільшенням віку. Однак темп зниження даного критерію зі збільшенням тривалості тверднення для бетонів, модифікованих метакаоліном а також добавками СП і ЕЦ суттєво менший (табл. 4).

**Таблиця 4** – Зміна критерію тріщиностійкості дрібнозернистих бетонів у часі

№ з/п	Параметри складу бетону				Критерій тріщиностійкості $K_{тр} = R_{зг} / R_{ст}$ у віці		
	В/Ц	Н/Ц	В, кг/м <sup>3</sup>	МК/Н	28 діб	60 діб	90 діб
1	0,8	-	250	-	0,140	0,136	0,132
2	0,75	0,4	270	-	0,143	0,139	0,135
3	0,82	0,4	277	0,15	0,145	0,142	0,139
4	0,85	0,4	281	0,3	0,149	0,147	0,145
5	0,81	0,4	275	-	0,147	0,145	0,142
6	0,83	0,4	278	-	0,150	0,147	0,144
7	0,83	0,4	279	0,3	0,155	0,152	0,150
8	0,82	0,4	277	0,3	0,175	0,173	0,173
9	0,80	0,4	273	-	0,160	0,157	0,156
10	0,79	0,4	271	-	0,164	0,162	0,161

### Висновки

1. Гранітна кам'яна мука (ГКМ) при оптимальному дозуванні позитивно впливає на легкоукладальність, водоутримуючу здатність та міцність дрібнозернистих бетонів.

2. Властивості дрібнозернистих бетонів, наповнених ГКМ, суттєво покращуються при додатковому введенні в розчинову суміш добавок суперпластифікатора, ефірів целюлози (Tylose) і високоактивного метакаоліну.

### Література

1. Виноградов Б.Н. Влияние заполнителей на свойства бетона. – М.: Стройиздат, 1979. – 224 с.
2. Дворкин Л.И., Соломатов В.И., Выровой В.Н., Чудновский С.М. Цементные бетоны с минеральными наполнителями. – Киев: Будівельник, 1991. – 137 с.
3. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Основы бетонознатства. – К.: Основа, 2007. – 616 с.
4. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. – М.: Стройиздат, 1998. – 768 с.

#### Рецензенти:

Мішутін А.В., д-р техн. наук, Одеська державна академія будівництва і архітектури.  
Дорошенко Ю.М., канд. техн. наук, Національний транспортний університет.

#### Reviewers:

Mishutin A.V., Dr. Tech. Sci., Odessa State Academy of Construction and Architecture.  
Doroshenko Yu.M., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: 26.05.2016 р.

УДК 625.717

**Закревський А.І.**, канд. техн. наук, **Попелиш І.І.**, канд. техн. наук,  
**Корітчук С.О.**, **Колосівський М.Л.**

## **АЕРОДРОМНІ АНТИОЖЕЛЕДНІ ХІМРЕАГЕНТИ**

**Анотація.** Високий рівень безпеки й регулярності польотів в осінньо-зимовий період експлуатації аеродромів у значній мірі залежить від готовності злітно-посадкової смуги (ЗПС) до виконання злітно-посадкових операцій, що, у свою чергу, обумовлюється попередженням утворення ожеледі й ущільненого снігу на аеродромних покриттях або їх видаленням в мінімальний термін. Найбільш економічно прийнятним способом виконання даної вимоги в наш час є використання сучасних антиожеледних хімреагентів. Розглянуті найпоширеніші хімреагенти, які застосовуються на аеропортових і під'їздних дорогах, аеродромних покриттях, наведені їхні переваги і недоліки.

**Ключові слова:** безпека польотів, регулярність польотів, ожеледь, ущільнений сніг, хімреагенти, коефіцієнт зчеплення, екологія.

**Аннотация.** Высокий уровень безопасности и регулярности полетов в осенне-зимний период эксплуатации аэродромов в значительной степени зависит от готовности искусственной взлетно-посадочной полосы (ИВПП) к выполнению взлетно-посадочных операций, что, в свою очередь, предупреждением образования гололеда и уплотненного снега на аэродромных покрытиях или их удалением в минимальные сроки. Наиболее экономически приемлемым способом выполнения данного требования в настоящее время есть использование современных антигололедных химреагентов. Рассмотрены наиболее распространенные химреагенты, применяемые на аэропортовых и подъездных дорогах, аэродромных покрытиях, отмечены их достоинства и недостатки.

**Ключевые слова:** безопасность полетов, регулярность полетов, гололед, уплотненный снег, химреагенты, коэффициент сцепления, экология.

**Abstract.** The High level to safety and regular flight in autumn-winter period to usages aerodrome to a considerable extent for-hung from readiness of the artificial

runway to you-making someone look fat run operation that, in turn, warning the formation ice and compacted snow on aerodromes covering or their removing at minimum periods. The most economic acceptable way of the execution given requirements at present there is use modern against ice chemical reagents. They are considered the most wide-spread chemical reagents, applicable on airports and access road, aerodromes covering, noted their value and defect.

**Keywords:** safety flight, regular flight, ice, compacted snow, chemical reagents, factor of the traction, ecology.

Восінньо-зимовий період експлуатації аеродромів питання підтримки високого рівня безпеки та регулярності польотів безпосередньо пов'язані з вирішенням проблеми видалення снігу і ожеледних утворень з аеродромних покриттів і підготовкою їх до польотів. Ця проблема різностороння: для аеропортів важливі економічні фактори, так і як вартість очищення та його вплив на конструктивні шари покриттів, що викликає необхідність їх ремонту, для експлуатантів повітряних суден (ПС) – вплив стану аеродромного покриття не тільки на стійкість і керованість ПС на етапах руління, зльоту й посадки, але й на знос авіаційних шин, на можливість попадання сторонніх предметів у двигуни, на міцність конструктивних елементів ПС тощо. Саме тому процеси зимового утримування аеродромів, вибір відповідних технологій повинні розглядатися комплексно, ускладнійдинамічнійсистемі: повітрянесудно – покриттяаеродрому.

Час підготовки аеродромних покриттів до польотів - важливий параметр роботи аеропорту в осінньо-зимовий період. Від цього залежить вибір маршрутів руління повітряних суден, організація злітно-посадкових операцій. Експлуатаційно прийнятними методами, що забезпечують попередження і видалення льодоутворень з аеродромних покриттів, у наш час є тепловий і хімічний методи.

**Тепловий метод** профілактики льодоутворень або їх видалення полягає у прогріванні поверхні покриття стаціонарними або пересувними джерелами тепла. Стаціонарні джерела тепла використовуються в основному на відповідальних ділянках доріг або на дослідних ділянках аеродромів. Основна перешкода широкому впровадженню покриттів, що обігріваються, – великі початкові і експлуатаційні витрати. До недоліків пересувних джерел тепла у вигляді «теплових машин» з авіадвигунами відносяться їх низький коефіцієнт

корисної дії (велика питома витрата палива) і негативний вплив на експлуатаційний стан поверхні покриття. Даний метод використовується в якості виняткового, коли хімічний метод не застосовується внаслідок невідповідності температури застосування реагенту температурам льодоутворення.

**Хімічний метод** боротьби з льодоутворенням на аеродромних (дорожніх) покриттях полягає, як правило, в їх попередженні шляхом своєчасної обробки поверхні покриттів хімічними реагентами до початку або в період формування льоду, чи плавленням вже утвореного на покритті. Реагенти руйнують льодоутворення, після чого залишки зруйнованого і відшарованого від покриття льоду, а також утворений розчин реагенту видаляються з поверхні покриття механічними засобами і, при необхідності, проводиться часткове підсушування покриття. При цьому питомі витрати коштів на 1 га покриття при використанні хімреагенту приблизно у два рази менше, ніж при використанні теплових машин.

Хімічний метод базується на властивості кристалів антиожеледних реагентів переходити з твердої фази в рідку, що відбувається при їх попаданні на крижану поверхню снігу або льоду. При цьому кристали починають активно вбирати (поглинати) вологу з навколишнього середовища, реагент починає виділяти тепло, яке й використовується для плавлення льоду чи снігу. Новоутворена з розплавленого снігу, льоду й реагенту маса (розсіл) має температуру замерзання нижче температури замерзання води. Саме розчин антиожеледного реагенту, поки його концентрація достатня, запобігає виникненню ожеледних утворень.

На цей час і на найближчу перспективу хімічний метод боротьби з льодоутвореннями на аеродромних покриттях не має експлуатаційно прийнятної альтернативи. Застосування хімічного методу забезпечує профілактику і видалення льодоутворень та сніжно-крижаного накату з метою збереження працездатності аеропортів у несприятливих погодних умовах.

Видалення льодоутворень по вартості в три-п'ятьразів перевищує профілактику їх утворення. У наш час для аеропортів з великими об'ємами перевезень, попередження льодоутворень за допомогою хімічних реагентів, за умови їх своєчасного нанесення на покриття у «вікна» між злітно-посадковими операціями, стало єдиним методом вирішення проблеми забезпечення постійної готовності аеродромних покриттів до безпечного й регулярного виконання польотів.

Хімічні реагенти за складом досить різноманітні, але всі вони повинні ефективно плавити лід і ущільнений сніг, перешкоджати їх утворенню. До хімреагентів, які застосовуються на аеродромних покриттях, згідно чинних документів ІСАО, висуваються певні вимоги по фізичному стану, щільності, гранулометричному складу, розсипчастості, міцності гранул, температурі евтектики (нижньої точки замерзання розчину), корозійного впливу на конструкційні матеріали авіаційної техніки, наземних засобів механізації та аеродромних покриттів.

Антиожеледні хімреагенти за ступенем впливу на організм людини мають відноситися до речовин з класом небезпеки не нижче 3 (помірно небезпечні), гранично допустима концентрація в повітрі робочої зони речовин, що входять до складу реагентів, повинна бути також у нормованих межах. Окрім цього, хімреагенти повинні бути нетоксичні, пожежо- і вибухобезпечні. Коефіцієнт зчеплення, після видалення продуктів руйнування льодоутворень і у процесі попередження їх утворення, повинен становити не менше 80% від величини зчеплення на мокрій поверхні.

Багаторічний вітчизняний і зарубіжний досвід застосування хімреагентів показав наступне:

- попередження льодоутворень, тобто нанесення реагенту на покриття до початку льодоутворення, видалення тонких плівок льоду (ожеледі), видалення кристалічної паморозі, запобігання прикочуванню снігу найбільш ефективно при використанні рідких реагентів або водних розчинів твердих реагентів;

- боротьба з товстими (більш 1 мм) шарами льодоутворень найбільш ефективна при використанні гранульованих хімреагентів, які проплавають лід і знижують адгезію по межі змерзання льоду з покриттям. Іде процес об'ємного руйнування льодоутворення з відділенням його від покриття й подальшим видаленням спеціалізованими аеродромними машинами.

**Рідкі** хімреагенти, або водні розчини твердих реагентів, більш прийнятні у використанні, тому що легко піддаються регулюванню по щільності й рівномірності нанесення на поверхню аеродромного покриття, добре фіксуються на його поверхні і, у порівнянні з гранульованими, забезпечують більшу площу обробленої поверхні. Використання рідких хімреагентів для плавлення товстих шарів льоду малоефективно у зв'язку з необхідністю застосування більш концентрованих їх складів, підвищення норми витрат, яка обмежується умовами стоку (ухилами поверхні).

**Тверді** хімреагенти випускаються у вигляді гранул розмірами 1-4 мм. Реагенти з гранулами менш 1 мм, мають підвищену пилимість при роботі з ними, а при нанесенні на покриття в суміші з гранулами більших розмірів осідають поблизу осі розподілу, тим самим створюючи нерівномірність щільності нанесення реагенту по ширині покриття. Нерівномірність розподілу спостерігається також при наявності в суміші гранул з більшими, ніж зазначеного діапазону розмірами. Реагенти з такими гранулами погано фіксуються на покритті, особливо при наявності вітру, і нерівномірно розподіляються по його ширині. У ряді випадків для фіксації гранул на покритті, застосовується їхнє попереднє змочування або підігрів.

Досвід застосування гранульованих хімреагентів по видаленню льодоутворень показує, що питомавитрата гранульованого хімреагенту нижче його рідкого аналога, тому що немає необхідності плавлення всього об'єму льоду, а зі збільшенням товщини шару льоду економічність застосування гранульованих реагентів ще більш зростає.

Вибір того чи іншого хімреагенту визначається аеропортами виходячи з конкретних умов, що враховують велику кількість факторів, основними з яких є:

- накопичений досвід роботи з певним видом реагенту;
- наявність і пристосованість матеріально-технічної бази до роботи з певним видом реагенту;
- оснащеність аеродрому системами прогнозування льодоутворень;
- кліматичні умови в зоні аеродрому;
- наданий час підготовки покриттів до виконання польотів.

Усі антиожеледні хімреагенти поділяються на такі основні групи:

- хлоридна: хлористий натрій ( $\text{NaCl}$ ); хлористий кальцій модифікований ХКМ ( $\text{CaCl}_2$ ), Біонорд; хлористий магній модифікований ХММ ( $\text{MgCl}_2$ ), Премелт, Бішофіт, ГХМ, Айсмелт (суміш  $\text{CaCl}_2$  і  $\text{MgCl}_2$ );
- карбаміди: карбамідно-аміачна селітра (КАС), сечовина;
- нітрати: антиожеледний некорозійний склад АНС (до 40% азотнокислого кальцію й до 60% карбаміду); нітрат кальцію, магнію, сечовини (НКМС);
- ацетати: Алексор – 60, Нордвей, Антисніг, СМА, Дефрост-1;
- форміати: Нордвей – Ф, НФ, Clearway - F1, Дефрост – Ф, СФ, Авіагоризонт.

**Хлористий натрій (NaCl)** – поширений реагент для боротьби з ожеледдю на дорогах. Його водний розчин з вмістом солі 28% має температуру кристалізації  $-23^{\circ}\text{C}$ , але з урахуванням ендотермічної реакції (поглинання тепла) найбільш ефективно його застосування обмежується температурним інтервалом від плюс  $4^{\circ}\text{C}$  до мінус  $7^{\circ}\text{C}$ . При більш низьких температурах антиожеледні властивості хлористого натрію різко знижуються. При використанні сухої солі втрачається до 70 % речовини, тому що сіль здувається з покриття турбулентними повітряними потоками й виноситься колесами транспорту. Застосування розчинів і вологих солей дозволяє в 2 рази знизити витрату солі і її негативний вплив на навколишнє середовище. Для використання солі у вологому стані до неї додається від 2,5 до 5% води, для розсолів – 25-30 %. Важливим фактором ефективної обробки покриття дороги є температура повітря. Боротьбу із зимовою слизькістю не можна проводити при температурі повітря нижче температури замерзання застосовуваного розсолу: пухкий сніг і накат обробляються при температурах до  $-20^{\circ}\text{C}$ , склоподібний лід – до  $-4^{\circ}\text{C}$ . Чим нижче температура, тим більше витрата речовини.

Використання хлористого натрію в якості антиожеледного хімреагенту має й великі недоліки, що виражається в пошкодженні (кородуванні) арматури бетонних покриттів і мостових настилів (іони хлору легко проникають крізь бетон), руйнуванні потужних залізобетонних конструкцій, а також корозійному пошкодженні автомобільних кузовів, забрудненні ґрунтів узбочин і стоку. Сіль підсилює осмотичний тиск, що змушує воду рухатися до верхнього шару плити, де відбувається її заморожування.

Із хлоридних реагентів отримав розповсюдження також **рідкий хлористий кальцій модифікований (ХКМ)**, що використовується в якості самостійного хімреагенту на автомобільних дорогах. Застосування рідкого реагенту збільшує попереджувальний протиожеледний ефект порівняно з гранульованими реагентами, скорочує кількість циклів сезонної обробки покриттів і загальні витрати реагенту, а катіон кальцію й модифікатор мають інгібіруючі (захисні) властивості від корозії. Доцільно також використання ХКМ для змочування технічної солі у співвідношенні 1:9 по масі. У порівнянні з технічною сіллю, ХКМ має декілька істотних переваг:

- норми витрати хлористого кальцію в середньому на 30-40% нижче;
- ефективний при низьких температурах (до  $-35^{\circ}\text{C}$ );

- ХКМ не дозволяє утворюватися ожеледі й сніжно-крижаним накатам;
- ХКМ не тільки розплавляє лід, але й поліпшує стан прилеглих ґрунтових поверхонь. Кальцій заміщає натрій, який накопичився в ґрунті за час використання технічної солі, і в такий спосіб удобрює його.

Незважаючи на наявні переваги, хлористий кальцій модифікований має ряд недоліків. Одним з головних мінусів ХКМ є короткий термін дії реагенту – 3 години. Це приводить до того, що дороги протягом доби необхідно обробляти кілька разів. Після обробки дорожнього покриття рідким хлористим кальцієм модифікованим, коефіцієнт зчеплення шин з дорогою знижується на 30% навіть у порівнянні з мокрим асфальтом (ХКМ притягує вологу). При використанні технічної солі волога випаровується і дороги залишаються сухими. Якщо ж на дорожньому покритті є плівка з машинного масла, пального, а пори асфальту забиті гумою, то ХКМ ще більше втрачає в ефективності.

**Хлористий магній модифікований (ХММ)** найбільш ефективний при низьких температурах ( $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). ХММ запобігає утворенню льоду протягом двох-трьох днів з моменту застосування. Він не створює білого порошкоподібного нальоту при висиханні на відміну від більшості хімреагентів. До недоліків відноситься накопичення аніонів магнію в ґрунті і воді, що негативно впливає на стан навколишнього середовища.

На аеропортових дорогах застосовуються також хімреагенти хлоридної групи, такі як Біонорд, Премелт, Бішофіт, ГХМ, Айсмелт та ін

У матеріалах ІСАО, у якості ефективного реагенту для обробки злітно-посадкових смуг, рекомендується **карбамід**. Зазвичай він використовується як добриво для потреб сільського господарства. Даний компонент входить до складу багатьох хімреагентів призначених для зимового утримування доріг, автомагістралей тощо. Карбамід має невисокі плавильні можливості, використання його в чистому виді можливо при температурах не нижче  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  (при  $-10^{\circ}\text{C}$  карбамід практично не плавить лід). Корозійний вплив на цементобетон розчинів карбаміду концентрації 10-30% в умовах поперемінного заморожування-відтавання в 1,2-1,6 разів більше в порівнянні з водою, тому даний хімреагент рекомендується використовувати тільки на асфальтобетонних покриттях при температурі повітря до  $-5^{\circ}\text{C}$ . Карбамід має

незначний негативний вплив на навколишнє середовище й людину, при цьому є важливим і необхідним добривом, постачальником азоту рослинам.

Для видалення льодоутворень з аеродромних покриттів застосовуються хімреагенти нітратної групи – **АНС, НКМС**. Ці реагенти не спричиняють корозії металів і сплавів, які застосовуються у літакобудуванні, ефективно розплавляють шар льоду товщиною 2-3мм за 10-30 хв при температурі повітря до  $-10^{\circ}\text{C}$ . Хімічний реагент АНС застосовується для видалення ожеледі на всіх типах аеродромних покриттів, НКМС – тільки на асфальтобетонних. До позитивних якостей належить те, що дані хімреагенти є добривами для рослин.

Крім вищеназваних, на сьогоднішній день досить широкого поширення набули антиожеледні реагенти на основі **ацетатів**. Перехід з азотовмісних реагентів на ацетатні, несе з собою ряд експлуатаційних переваг. Ацетатні хімреагенти здатні за найкоротший час забезпечити необхідні зчіпні якості аеродромних покриттів. Здатність ацетатів ефективно працювати при низьких температурах ( до  $-50^{\circ}\text{C}$ ) за рахунок екзотермічних реакцій (виділення тепла) при взаємодії з водою або снігом, дозволяє використовувати їх для боротьби з памороззю, що утворюється на ЗПС при різких перепадах мінусових температур. Якщо даний хімреагент застосовувати в підігрітому стані, то температурні ефекти збільшуються і швидкість плавлення льоду різко зростає за рахунок збільшення швидкості хімічних реакцій по виділенню тепла. Запас «міцності», обумовлений низькою точкою евтектики, робить можливим використання реагенту для боротьби з обмерзанням покриттів в умовах переохолодженого дощу. Ацетати не створюють мильної плівки, мають здатність утримуватися на покриттях навіть після їх механічного очищення, а при сприятливих погодних умовах можуть зберігати свої захисні властивості понад чотири доби без необхідності повторної обробки. Протикорозійна присадка, яка використовується в ацетатах, протистоїть руйнуванню бетонних покриттів льотного поля, водовідвідних споруд, значно знижує корозійний вплив на метали, які використовуються в авіабудуванні. Період їх повного розкладання в природі становить близько 15-30 діб. Найбільш ефективно застосування реагентів, коли покриття вологе і прогнозується температура нижче точки замерзання води. Основний недолік ацетатних хімреагентів – специфічний запах оцтової кислоти, тому ацетати в населених пунктах не використовуються.

Найбільше поширення одержали рідкі ацетати на основі:

- кальцієво-магнієвого ацетату (СМА) – Ацедор;
- ацетату калію – Нордвей (марок Нордвей -супер, посилений, дорожній, Еко), АКМ Північ, Дефрост 1;
- ацетату натрію – Ранмелт, АГР-1;
- ацетату амонію – Антисніг;
- ацетату кальцію – Хардвей.

Протиожеледні реагенти на основі ацетатів являють собою малов'язку слабопофарбовану рідину, яка складається з комбінацій кисню, вуглецю, водню, кальцію, магнію, калію, амонію.

**Кальцієво-магнієвий ацетат (СМА).** Температура евтектики даної хімічної суміші мінус 28 °С при масовій концентрації 32,5%. Найбільш ефективний при видаленні льодоутворень при температурі повітря до –15°С. При використанні даний реагент не осідає в трубах, не забиває їх, як це має місце з NaCl і CaCl<sub>2</sub>. Іншою особливістю даного реагенту є низька корозійна здатність. Проведені випробування показують, що сталевий зразок втрачає свою масу у водному розчині кальцієво-магнієвого ацетату в п'ять разів повільніше, чим у розчині кухонної солі, а алюмінієвий зразок – в 10 разів. Випробування реагенту, які провели у Великобританії, показали, що СМА є некородуючим матеріалом відносно сталевій арматури у цементобетоні й може затримувати корозію, що починається, викликану попереднім використанням солі (NaCl) у якості протиожеледного матеріалу. Дана властивість дає можливість використовувати СМА переважно для нових ЗПС із «молодим» бетоном. При перемішуванні зі снігом СМА не дає сніжним часткам прилипати одна до одної і до покриття. Він не утворює розтікаючого розсолу, а зберігає сніг більш легким і більш «сухим», що поліпшує зчеплення пневматика з покриттям. СМА, нанесений на покриття до снігопаду, попереджує також утворення ущільненого снігу й примерзання його до дорожнього покриття. Важливим позитивним фактором СМА є його екологічність він піддається біохімічному розкладанню, не ущільнює ґрунт, складові хімреагенту є добривом для рослин, підсилюють біологічну активність ґрунтів. Дорожні покриття, оброблені таким реагентом, мають високі зчіпні якості, що знижує аварійність на дорогах. Використовується СМА в гранульованому й рідкому стані.

**Ацетат калію** – температура евтектики в даного реагенту при концентрації 55 % мінус 70<sup>0</sup>С. У комбінації діючих речовин з комплексом присадок, забезпечує ефективний захист аеродромних покриттів і вузлів літаків від корозії. Застосовується для попередження й боротьби з льодоутвореннями на ЗПС, руліжних доріжках, пероні, місцях стоянок літаків. Реагент здатний попереджати або видаляти ожеледь у будь-яких погодно-кліматичних ситуаціях, ефективно боротися з льодом як у звичайних умовах утворення ожеледі при температурах близько 0<sup>0</sup>С, так і в екстремальних, коли інші хімреагенти не в змозі видаляти лід, а саме в умовах «крижаного дощу» і паморозі. Рідка форма реагенту рівномірно розподіляється по аеродромному покриттю й видаляє лід і паморозь за дуже короткий термін. Проведені дослідження й досвід застосування хімреагенту показали, що для досягнення прийняттого значення коефіцієнта зчеплення потрібно від 5 хвилин часу (залежно від погодних умов).

**Ацетат натрію** – твердий протиожеледний матеріал нового покоління для застосування на будь-яких типах покриттів злітно-посадкових смуг, руліжних доріжках і перонах аеропортів. Дозволяє ефективно у найкоротший термін забезпечувати необхідний коефіцієнт зчеплення на аеродромах у періоди максимальних льодоутворень. Температура евтектики даного складу –28<sup>0</sup>С, має високу плавильну здатність, ефективний при температурах до –20<sup>0</sup>С. Плавильна здатність реагенту при –5<sup>0</sup>С перевершує плавильну здатність широко відомого реагенту на основі нітрату кальцію й магнію на 20%. Склад має низьку корозійну активність навіть до цинкового покриття, яке слабостійке до впливу антиожеледних хімреагентів. Основний недолік – шкідливий вплив на слизові ділянки дихальних шляхів, оболонки очей, шкіру людини.

**Ацетат амонію** – рідкий протиожеледний реагент, являє собою 30 %-ний водний розчин ацетату амонію. Прозорий, безбарвний, із запахом оцту й аміаку. Для зниження запаху в нього вводиться спеціальна добавка. Реагент не містить хлору, позитивно впливає на ґрунт, не виявляє шкідливого впливу на зелені насадження. Евтектична температура –44<sup>0</sup>С при 30 %-ній концентрації. Для фіксації розчину на поверхні покриття в нього вводяться добавки водорозчинних ефірів целюлози.

**Ацетат кальцію** – протиожеледний реагент на основі ацетату хлористого кальцію, модифікованого біорегулятором і інгібітором корозії.

Продукт випускається у вигляді розчину й гранул і призначений для обробки в зимовий час доріг, вулиць і тротуарів з метою недопущення утворення поверхневого шару льоду й полегшення прибирання дорожніх покриттів, пішохідних зон.

Збільшення прибутковості аеропортів при переході до технології боротьби з льодоутвореннями з використанням ацетатів, стає можливим не тільки завдяки скороченню прямих і непрямих витрат на очищення покриттів, але й за рахунок збільшення доходів від більш інтенсивного використання ЗПС. Економічний ефект забезпечується завдяки зниженню норми витрат хімреагенту і рідшою частотою обробок, що дозволяє уникати закриття ЗПС через її обмерзання, а це створює можливість виконання злітно-посадкових операцій суворо за розкладом навіть у важких кліматичних умовах.

В практиці експлуатації аеропортів знаходять застосування хімреагенти на основі солей мурашиної (метанової) кислоти – **форміати**. Вони не мають запаху, швидко розкладаються на вуглекислий газ і воду, мають високу плавильну здатність (температура замерзання нижче  $-50^{\circ}\text{C}$ ) і низьку корозійну активність. У порівнянні з рідкими ацетатними реагентами, рідкий форміатний антиожеледний хімреагент має менший час біорозпаду з дещо кращими експлуатаційними характеристиками. Коефіцієнт зчеплення після видалення продуктів руйнування льодоутворень не менш 80% від величини коефіцієнта зчеплення на мокрій поверхні. Дані реагенти використовуються як для дорожніх покриттів, так і для аеродромних. Відмінність полягає в різній їх щільності, дорожній 40% -ний – початок кристалізації мінус  $40^{\circ}\text{C}$ , 25%-ний – мінус  $20^{\circ}\text{C}$ , аеродромний 50% - ний – мінус  $65^{\circ}\text{C}$ . Розроблені також і гранульовані протиожеледні реагенти на форміатній основі, які повністю сумісні з рідкими.

**Нордвей-Ф** – рідкий антиожеледний хімреагент на основі форміату калію, призначений для застосування в екстремальних кліматичних умовах. Ефективний до мінус  $45^{\circ}\text{C}$ .

**Нордвей-НФ** – гранульований протиожеледний реагент на форміатній основі, призначений для використання на злітно-посадкових смугах, руліжних доріжках і на місцях стоянок повітряних суден у зимовий період. Не містить хлорних компонентів і поверхнево-активних речовин. Ефективний до мінус  $45^{\circ}\text{C}$ .

Як рідкі, так і гранульовані хімреагенти Нордвей, застосовуються в районах з екстремальними кліматичними умовами і підвищеними екологічними вимогами. Коефіцієнт зчеплення на аеродромному покритті після видалення льодоутворення і ущільненого снігу реагентом Нордвей – не менш 80% від величини зчеплення на мокрій поверхні. Гранульований реагент сумісний з рідким антиожеледним реагентом Нордвей і його модифікаціями. Є екологічно чистим й токсикологічно безпечним для флори й фауни реагентом з класом небезпеки 4(безпечні). Фізико-хімічні й експлуатаційні показники підтверджені сертифікаційними випробуваннями реагентів і забезпечують нормативні вимоги цивільної авіації по утримуванню і антиожеледному захисту аеродромних покриттів. Реагенти відповідають міжнародному стандарту AMS 1435.

**Clearway F1** – рідкий екологічно чистий антиожеледний реагент на форміатній основі для обробки злітно-посадкової смуги, руліжних доріжок, місць стоянок ПС. Він заснований на формулі з використанням мурашинокислого калію і екологічно чистих інгібіторів, відповідає всім відомим природоохоронним вимогам, і специфікації AMS 1435. Ефективний до мінус 45 °С. Не корозійно-активний до всіх матеріалів які застосовуються в авіабудуванні і в авіаційній наземній техніці. Хімреагенту Clearway F1 привласнено 1 клас WGK (стандарт водної безпеки Німеччини), що вказує на його практичну безпеку для води.

**Дефрост-Ф** – антиожеледний рідкий реагент, виготовлений на основі мурашинокислого калію й екологічних інгібіторів, призначений для обробки аеродромних покриттів усіх типів. Активний при температурах навколишнього повітря до мінус 15 °С. Реагент відповідає міжнародному стандарту AMS 1435.

**Дефрост-СФ** – антиожеледний гранульований реагент на основі форміату натрію є ефективним засобом для обробки аеродромних покриттів. Активний при температурі навколишнього повітря до мінус 15 °С. Завдяки своїй неправильній формі, гранули реагенту залишаються на місці розподілу навіть при вітряній погоді. Комплексне використання його з рідкими реагентами дозволяє прискорити видалення льоду й ущільненого снігу. Реагент відповідає міжнародному стандарту AMS 1435.

**Авіагоризонт** – антиожеледний реагент на основі форміату калію. Являє собою прозору безбарвну рідину, яка має низкий рівень корозійної активності і

низьку температуру кристалізації. У складі реагенту присутні інгібітори корозії металів і сплавів, які застосовуються в авіабудуванні, а також при будівництві цементобетонних і асфальтобетонних покриттів. Ефективний до мінус 45 °С. Реагент не впливає на якість ґрунтових вод, безпечний для навколишнього середовища, пожежо- і вибухобезпечний, має низький ступінь небезпеки для людини, абсолютно без запаху, що дозволяє використовувати його на стоянках автомобілів і пішохідних доріжках.

У наш час питання зниження антропогенного впливу на природу набувають усе більш рішучий характер. Для багатьох аеропортів очищення стічних вод стало проблемою не тільки пов'язаною із захистом навколишнього середовища, але також і матеріально-технічною проблемою. Законодавчі акти в сфері захисту навколишнього середовища стають усе більш жорсткими і включають все більш суворі вимоги до складу стічних вод, що містять протижеледні рідини. У той же час за останні кілька років суттєво збільшилася плата за очищення таких вод від шкідливих домішок. Застосування системи рециркуляції (переробки) забрудненої хімічними реагентами води показує, що існує можливість забезпечувати ефективний захист навколишнього середовища. Економічні показники свідчать про те, що система рециркуляції заощаджує кошти аеропортів і у цілому позитивно впливає на результати їх діяльності.

В осінньо-зимовий період усі токсичні рідини з ЗПС, перонів, руліжних доріжок, повинні збиратися і відправлятися на очищення. Зменшення вмісту шкідливих домішок у стічних водах знижує витрати аеропорту на їхнє очищення і поліпшує стан навколишнього середовища.

### **Висновки**

1. Наявність на поверхні аеродромних покриттів забруднювачів у вигляді снігу різної щільності, льодоутворень є одним з чинників, які значно впливають на рівень безпеки і регулярності польотів в осінньо-зимовий період експлуатації аеродромів.

2. Попередження і видалення ущільненого снігу та льодоутворень з аеродромних покриттів можливе тепловим або хімічним методами. Перевагу слід надавати хімічному методу, як більш економічному і експлуатаційно прийнятному у порівнянні з тепловим методом.

4. Хімреагенти хлоридної групи рекомендується застосовувати для обробки під'їзних і внутрішньоаеропортових доріг. Використання їх на елементах аеродрому забороняється.

5. Для утримування елементів аеродрому при несприятливих погодних умовах, необхідно використовувати хімреагенти карбамідної, нітратної, ацетатної й форміатної груп, що мають відповідні сертифікаційні документи.

### **Література**

1. Руководство по аэропортовым службам (Дос.9137-AM/898). Часть 2. Состояние поверхности покрытия. Четвертое издание. – Монреаль: ИКАО, 2002.
2. Циркуляр ИКАО 329-AN/191 Состояние поверхности ВПП: оценка, измерение и представление данных. ИКАО, 2012.
3. Шишкова А.Ф., Запорожець В.В., О.Н. Білякович. Аеропорт: Теорія й практика зимового утримування аеродромів. – К.: Дніпро, 2006. – 196 с.
4. Белинский И.А., Закревский А.И., Шинкарчук Н.В. Техническая эксплуатация аэродромов. – К.: КМУГА, 1996. – 240 с.
5. Орлов В.А. Теория и практика борьбы с гололедом. – М.: Воздушный транспорт, 2010. – 112 с.

#### **Рецензенти:**

Солодкий С.Й., д-р техн. наук, НУ "Львівська політехніка".

Онищенко А.М., канд. техн. наук, Національний транспортний університет.

#### **Reviewers:**

Solodkyi S.Yo., Dr. Tech. Sci., NU "Lviv Polytechnic".

Onyschenko A.M., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **18.05.2016 р.**

УДК 625.852

Мозговий В.В., д-р техн.наук, Баран С.А., Ольховий Б.Ю.

## ПІДВИЩЕННЯ ОДНОРІДНОСТІ ЩЕБЕНЕВО-МАСТИКОВОЇ АСФАЛЬТОБЕТОННОЇ СУМІШІ

**Анотація.** У статті розглянуто питання оцінки однорідності щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші. Запропоновано оцінювати однорідність щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші по показнику стікання в'язучого. Також в статті розглянуто фактори впливу часу зберігання та часу транспортування на показник стікання. Наведена методика визначення показника стікання від часу транспортування. На основі проведених досліджень розроблені додаткові вимоги до показника стікання в'язучого ЩМАС в залежності від часу витримування в накопичувачі і часу транспортування.

Об'єкт дослідження – щебенево-мастикова асфальтобетонна суміш.

Мета роботи – підвищення однорідності щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші через уточнення вимог до показника стікання в'язучого ЩМАС в залежності від часу зберігання в накопичувачі і часу транспортування. Методи дослідження – аналітико-експериментальні.

**Ключові слова:** щебенево-мастикова асфальтобетонна суміш, показник стікання, однорідність, час зберігання, час транспортування.

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы оценки однородности щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси. Предложено оценивать однородность щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси по показателю стекания вяжущего. Также в статье рассмотрены факторы влияния времени хранения и времени транспортировки на показатель стекания. Приведена методика определения показателя стекания от времени транспортировки. На основе проведенных исследований разработаны дополнительные требования к показателю стекания вяжущего ЩМАС в зависимости от времени хранения в накопителе и времени транспортировки.

Объект исследования - щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь.

Цель работы - повышение однородности щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси путем уточнения требований к показателю стекания

вяжущего ЩМАС в зависимости от времени хранения в накопителе и времени транспортировки. Методы исследования - аналитико-экспериментальные

**Ключевые слова:** щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь, показатель стекания, однородность, время хранения, время транспортировки.

**Abstract.** The article deals with the assessment of uniformity stone -mastic asphalt mixture homogeneity evaluate proposed stone-mastic asphalt mix to index draining binder. Also in the article the factors influencing storage time and transport time to figure draining. The method of determination of the draining time of transport. Based on the studies developed additional requirements for index draining binder SCHMAS depending on the storage time in the storage and transportation time.

The object of study - stone-mastic asphalt mixtures.

Purpose - to improve the homogeneity of stone -mastic asphalt mixture through specification of requirements for indicator draining binder SCHMAS depending on the storage time in the storage and transportation time.

Research methods - analytical and experimental.

**Keywords:** crushed stone-mastic asphalt mixtures, index draining, uniformity, storage, transport time

**Постановка проблеми.** Відповідно до чинних нормативів однорідність щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші (ЩМАС) забезпечується двома основними заходами.

Перший з них передбачає забезпечення однорідності суміші за рахунок якісного перемішування компонентів в змішувальній установці. В даному випадку показник однорідності ЩМАС оцінюють за коефіцієнтом варіації границі міцності на стиск при 50° С, який повинен бути не більше 0,18.

Другий підхід передбачає неможливість розшарування ЩМАС (витікання мастичної частини) з урахуванням особливості зернового складу щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей (підвищена кількість в'язучого та щебеню). Це намагаються досягати, головним чином, за рахунок використання стабілізуючих добавок, які виконують функцію утримання в'язучого на поверхні кам'яного матеріалу. Для оцінки однорідності, в даному випадку, застосовують показник стікання в'язучого ЩМАС, який не повинен бути більше 0,20 % за масою, згідно чинних нормативних документів [1]

Однак у ряді випадків, навіть при дотриманні вищенаведених вимог, спостерігаються ознаки розшарування ЩМАС у вигляді бітумних плям на поверхні покриття (рис.1), що може призвести до появи колійності, а в місцях зменшеної кількості в'язучого, через певний період, виникають деформації і руйнування, викликані недостатньою водо- і морозостійкістю (рис.2).

Якщо детально проаналізувати стандартні вимоги до забезпечення однорідності ЩМАС, то можна відзначити такі їх недоліки.

При визначенні показника однорідності ЩМАС згідно [2] за коефіцієнтом варіації границі міцності на стиск при 50° С об'єм вибірки повинен складати не менше 20 значень і призначатися за кількістю випробуваних проб за період між періодичними випробуваннями.

Це свідчить про те, що таким показником однорідності неможливо оперативно скористатися під час приймально-здавального контролю. Крім того характеристика міцності на стиск при 50° С проби з суміші, яка тільки відібрана після її приготування не має можливості об'єктивно відобразити стійкість до розшарування при зберіганні в бункері, при вивантаженні в транспортний засіб для транспортування та укладання.

Також методика оцінки однорідності за показником стікання не в повній мірі відображає реальні умови зберігання і транспортування ЩМАС. Метод Шелленберга і фон дер Вепена [3, 4], що для цього застосовується, передбачає витримування суміші в нерухомому стані при температурі приготування. Це фактично імітує тільки, певною мірою, умови зберігання ЩМАС в бункері накопичувачі і не відображає умови транспортування.



**Рисунок 1** – Бітумні плями на покритті



**Рисунок 2** – Викришування на покритті із ЩМА викликані недостатньою водо-і морозостійкістю

Враховуючи вище наведене є необхідність вдосконалення існуючих стандартних положень більш об'єктивними методами оцінки однорідності ЩМАС по здатності до розшарування.

Найбільш доцільно, на наш погляд, оцінювати однорідність ЩМАС за коефіцієнтом варіації показника стікання в'язучого. Пропонується коефіцієнт варіації за показником стікання визначати на основі відбору точкових проб з однієї партії суміші під час періодичних випробувань. Він повинен бути не більше 0,20. Для цього відбирають 10 локальних проб суміші, вагою від 2 кг до 3 кг кожна, в окремих місцях кузова автосамоскида. Крім того, під час обробки результатів при визначенні показника стікання доцільно замінити абсолютне значення розбіжності між результатами паралельних випробувань на відносне значення, що не повинно перевищувати значення 15%.

Для аналізу впливу умов транспортування на розшарування суміші були проведені дослідження, які полягали в створенні коливань зразків проб ЩМАС, подібних коливанням суміші в кузові транспортного засобу.

Мастикова частина ЩМАС (суміш бітумного в'язучого, мінерального порошку, піску і стабілізуючих волокон) представляє собою композитний матеріал, що складається з бітумної матриці та наповнювачів і проявляє характерні для структурованих систем тиксотропні властивості [5, 6, 7] в результаті впливу динамічних коливань на розшарування ЩМАС при її транспортуванні.

Аналіз літературних даних свідчить, що частота коливання кузова вантажного автомобіля в залежності від характеру нерівностей покриття може змінюватися від 2 до 25 Гц, а прискорення може становити від 0,2 до 4 і більше значень прискорення вільного тяжіння [8-10].

Спочатку були проведені випробування суміші згідно зі стандартною методикою [1] з різним часом витримання суміші (30, 60, 120 хвилин) в сушильній шафі.

Для дослідження впливу динамічних коливань на розшарування суміші при транспортуванні ЩМАС використовували стандартну методику визначення показника стікання в'язучого згідно ДСТУ Б В.2.7 -127 [1] з деякими удосконаленнями, які дають можливість імітувати вібрації, схожі за своїми амплітудно-частотними характеристиками з коливаннями кузова автосамоскиду. При проведенні випробувань для імітації часу транспортування

створювали відповідний час впливу динамічних коливань протягом певних періодів, які становили 30, 60 і 120 хвилин.

Удосконалення методики випробувань полягають в наступному: для імітації вібрації в кузові автсамоскида при транспортуванні ЦМАС термостійкий стакан з сумішшю, попередньо теплоізольований, піддавали вібрації, після чого стакан поміщали в сушильну шафу, нагріту до температури випробування, і витримували протягом заданого часу. Режим випробування наступний: термоізольований стакан піддають дії 30 коливань відразу після заповнення сумішшю, після чого термостатують в сушильній шафі при температурі випробування протягом 15 хвилин, потім знову піддають дії 30 коливань, знову термостатують. Аналогічні операції повторюють кожні 15 хвилин, протягом заданого часу випробування (30, 60 і 120) хвилин, за умови, що після останнього впливу 30 коливань стакан з сумішшю поміщають в сушильну шафу і витримують 15 хвилин при температурі випробування з подальшим видаленням ЦМАС зі стакану. Після чого визначають показник стікання згідно зі стандартною методикою [1].

Амплітудно-частотні характеристики коливання досліджуваної проби ЦМАС змінювали за допомогою амортизаційної системи платформи, на якій закріплювали теплоізольований стакан з пробєю ЦМАС. Вимірювання амплітудно-частотних характеристик вібрації виконували за допомогою комплексу вимірювання прискорення і тензометричного комплексу. Під час випробувань застосовували найбільш характерні параметри коливань, що відповідають коливанням завантаженого кузова автсамоскида: частота коливання від 6 до 10 Гц, максимальне прискорення становить близько 4-5 g.

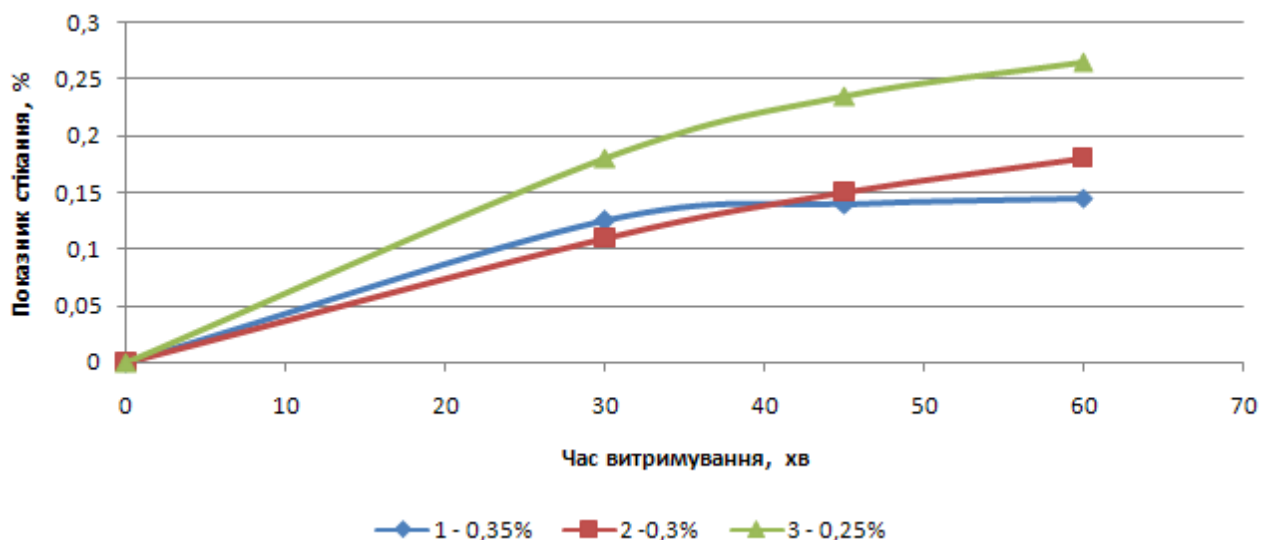
Під час випробувань ЦМАС на розшарування окремо витримували проби, як при статичних так і при динамічних впливах при різних температурах випробувань, а також при їх комбінації. Після чого за методикою [1] методом зважування стакану з залишками мастичної частини ЦМАС визначали показник стікання.

Зовнішній вигляд стаканів після визначення показника стікання наведений на рис 3. Візуальний аналіз зовнішнього вигляду стаканів свідчить про вплив на показник стікання як тривалості часу витримання ЦМАС в статичних умовах, так і, особливо, режиму витримання при динамічних коливаннях.

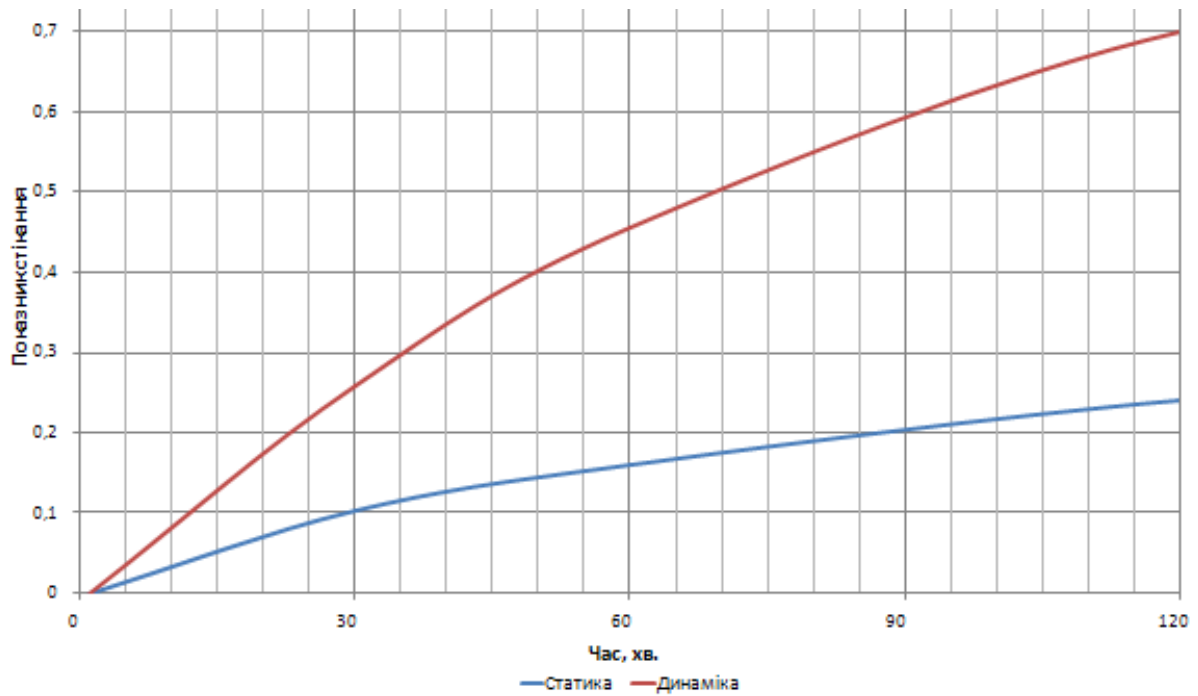
На рис. 4 показано залежності зміни показника стікання від часу, що імітує час транспортування. При проведенні досліджень аналізували зміну



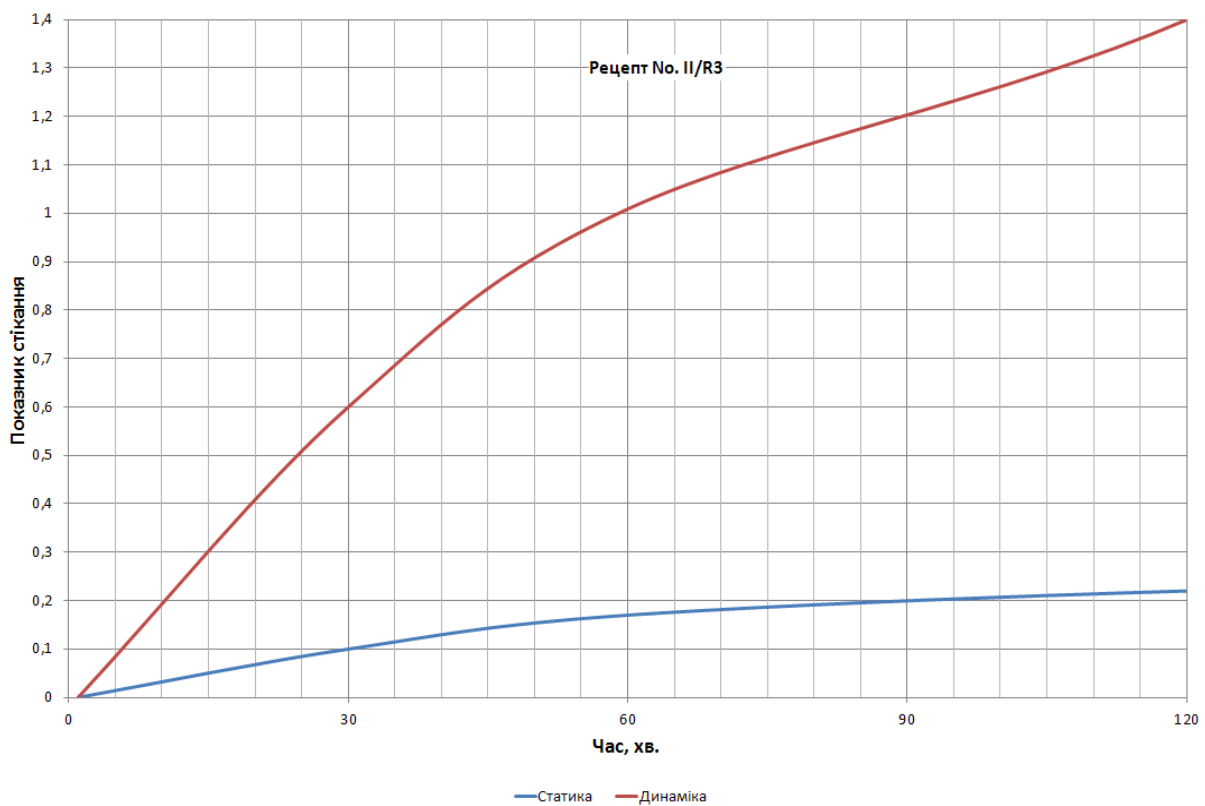
З отриманих результатів видно, що при статичному витримуванні на показник стікання впливає як максимальний розмір зерен ЩМАС так і час витримки, що імітує перебування суміші в бункері. Порівнюючи графіки залежності показника стікання від часу транспортування для ЩМАС -20 і залежності показника стікання від часу транспортування для ЩМАС-10 (рис. 4 і 5) можна відмітити, що спостерігається збільшення показника стікання, так для ЩМАС-10 показник стікання після 30 хвилин імітації часу транспортування становить від 0,12% до 0,18%, що відповідає вимогам стандарту [1], а для ЩМАС-20 показник стікання становить 0,25% , що перевищує вимоги, для ЩМАС-20 з енергозберігаючої добавкою - 0,6%, що в 3 рази перевищує вимоги. Відповідно показник розшарування після 60 хвилин імітації часу транспортування для ЩМАС-10 становить від 0,15% до 0,27% в залежності від вмісту волокон, для ЩМАС-20 - 0,45%, а для ЩМАС-20 з енергозберігаючої добавкою в 2 рази більше ніж для ЩМАС-20. При проведенні випробування за стандартною методикою при часі витримування 60 і 120 хвилин для ЩМАС-20 показник стікання становить відповідно 0,16% і 0,26%, аналогічні показники і для ЩМАС-20 з енергозберігаючої добавкою. Такі результати вказують, що час транспортування більш істотно впливає на показник стікання, оскільки при транспортуванні на великі відстані ЩМАС зазнає впливу коливальних від автосамоскида, особливо для ЩМАС з великими розмірами зерен і при використанні енергозберігаючих добавок.



**Рисунок 4** – Результати визначення показника стікання ЩМАС-10 при температурі 160° С в залежності від часу транспортування з вмістом волокон відповідно 1 - 0,35%, 2 - 0,3%, 3 – 0,25



**Рисунок 5** – Графік залежності показника стікання від часу витримування і від часу транспортування для ЩМАС-20



**Рисунок 6** – Графік залежності показника стікання від часу витримування і від часу транспортування для ЩМАС-20 на бітумі БНД 60/90 з енергозберігаючою добавкою Rediset (3%)

Проведені дослідження дозволили розробити додаткові вимоги (враховуючи максимальні терміни зберігання в накопичувальному бункері дві години і транспортуванні також дві години згідно [1]) до показника розшарування в'язучого ЦМАС в залежності від часу витримування в накопичувачі і часу транспортування, наведені в табл. 1.

**Таблиця 1** – Додаткові вимоги до значення показника стікання в'язучого залежно від часу витримування в накопичувачі і часу транспортування

Час витримування суміші в накопичувачах, год.	Час транспортування суміші, год.	Показник стікання в'язучого, % по масі, не більше
0,5, не більше	0,5, не більше	0,20
0,5, не більше	від 0,5 до 1,0 включно	0,16
від 0,5 до 1,0 включно	0,5, не більше	0,16
від 0,5 до 1,0 включно	від 0,5 до 1,0 включно	0,12
від 1,0 до 2,0 включно	0,5, не більше	0,13
від 1,0 до 2,0 включно	від 0,5 до 1,0 включно	0,09

Оскільки показник стікання характеризує ступінь розшарування суміші, то уточнення і нормування його величини від часу витримування в накопичувачі і часу транспортування дозволить подовжити терміни служби дорожніх покриттів з щебенево-мастикового асфальтобетону завдяки усуненню таких дефектів, як бітумні плями, викришування і лушення і, як наслідок, збільшити міжремонтні терміни, що забезпечить значну економію фінансових і матеріальних ресурсів.

### **Література**

1. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови. ДСТУ Б В.2.7-127-2006.- [Чинний від 2007 – 01 - 01]. –К., 2003.- 35 с. (Мінбуд).
2. ДСТУ Б В.2.7-89-99 (ГОСТ 12801-98) Матеріали на основі органічних в'язучих для дорожнього і аеродромного будівництва. Методи

випробувань. Введено в дію Наказом Держбуду України № 248 від 13 жовтня 1999 р. на заміну ГОСТ 12801-84

2. Ш. Шульц. Технология щебеночно-мастичного асфальта, CFF GmbH & Co / KG.

3. Krzystov Blazejowski . SMA . Teoria I praktyka . 2007.

4. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / В.І. Братчун, В.О. Золотарьов, М.К. Пактер, В.Л. Беспалов; під редакцією д.т.н. В.І. Братчуна. – Вид. 2-ге, перероб. і доповн. – Макіївка-Харків: ДонНАБА, 2011. – 336 с.

5. Коллоидная химия и физико-химическая механика цементных бетонов / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Л.В. Трикоз, А.С. Кагановский, Ал.А. Плугин - Киев, 2011. - 330 с.

6. Технические, реологические и поверхностные свойства битумов. Избранные труды. Том 1 / В.А. Золотарев - первое изд. - Санкт - Петербург: Славутич 2012. - 148 с.

7. В.О. Богомоллов. В.О. Гелло. Моделювання коливань кузова автомобіля у процесі гальмування на дорожніх нерівностях

8. В.О. Гелло. Розробка просторової моделі коливання кузова автомобіля під час його гальмування. Автомобильный транспорт. Вып. 29. 2011

9. П.В. Духанин и др. Разработка предложений по учету воздействия современного парка многоосных транспортных средств при проектировании нежестких дорожных одежд. Отчет о НИР - ДортрансНИИ, Ростов на Дону, 2011.

**Рецензенти:**

Жданюк В.К., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Нагайчук В.М., канд. техн. наук, ДП "ДерждорНД".

**Reviewers:**

Zhdaniuk V.K., Dr. Tech. Sci., Kharkiv National Automobile and Highway University.

Nahaichuk V.M. Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), "DerzhdorNDI".

Стаття надійшла до редакції: **27.05.2016 р.**

УДК 666.972.16

Шургая А.Г., Чиженко Н.П.

## **ВЫСОКОПРОЧНЫЙ БЕТОН В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ (ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ)**

**Аннотация.** В статье проанализированы теоретические аспекты получения высокопрочных бетонов для дорожного строительства. Усовершенствовано расчет состава высокопрочного дорожного бетона и проведено сравнение с существующим способом.

**Ключевые слова:** высокопрочный цементный бетон, химические добавки, состав бетона, оптимальность структуры, морозостойкость.

**Анотація.** У статті проаналізовані теоретичні аспекти отримання високоміцних бетонів для дорожнього будівництва. Удосконалено розрахунок складу високоміцного дорожнього бетону і проведено порівняння із існуючим способом.

**Ключові слова:** високоміцний цементний бетон, хімічні добавки, склад бетону, оптимальність структури, морозостійкість.

**Abstract.** The article analyzes the theoretical aspects of producing high-strength concrete for road construction. Improved calculation of high-strength road concrete and a comparison with the existing method.

**Keywords:** high-strength cement concrete, chemical additives, the composition of the concrete, the optimal structure, frost-resistance.

Преждевременный капитальный ремонт цементобетонных покрытий обусловлен в большинстве случаев поверхностными разрушениями и хаотическим трещинообразованием различной интенсивности. Одной из важнейших причин такого разрушения является формирование недостаточно морозостойкой и прочной структуры бетона.

При решении проблемы повышения долговечности цементобетона учитывают взаимосвязь свойств исходных материалов, состава бетонной смеси, структуры и свойств бетона, технологических факторов, эксплуатационных и природно-климатических воздействий. В связи с этим проблема повышения

долговечности цементобетонных покрытий носит комплексный характер, включающий конструктивные, материаловедческие и технологические аспекты.

Для повышения долговечности покрытий наиболее целесообразно применять высокопрочные дорожные бетоны. При одной и той же толщине плиты применение высокопрочных бетонов позволит снизить уровень напряжений от температурных деформаций и суммарного воздействия транспортных нагрузок и существенно повысить срок службы цементобетонного покрытия.

Оптимизация бетонной смеси: модуль упругости гранитного щебня  $70 - 90 \cdot 10^3$  МПа, а растворной части  $15 - 26 \cdot 10^3$  МПа. По многолетней практики и материаловедения в СССР, за границы и Украины модуль упругости бетонов дорожного и мостового строительства должен составлять  $37 - 42 \cdot 10^3$  МПа (при 5 – 6 % вовлеченного воздуха). Выходя из этого нужно ограничить количество щебня от 1050 – 1250 кг и соотношение между мелким и крупным заполнителем ( $r$ ). При мелком песке  $M_{кр} \leq 1,8$   $r = 0,35 \div 0,37$ , при среднем песке  $M_{кр} = 1,8 - 2,1$   $r = 0,38 \div 0,40$ , при крупном песке  $M_{кр} \geq 2,1$   $r = 0,4 \div 0,45$ .

Высокопрочный дорожный бетон можно рассматривать как бетон, прочность которого равна или выше чем активность цемента  $R_b \geq R_u$ .

С учетом сказанного под высокопрочным дорожным бетоном понимается бетон, прочность которого на растяжение при изгибе более 5,5 МПа (класс по прочности на растяжение при изгибе более чем  $B_{btb} 4,4$ ).

Проектирование состава высокопрочного дорожного бетона выполняется в соответствии с методологией, аналогичной для дорожного бетона обычной прочности.

При подборе состава высокопрочного бетона при одинаковой марке цемента М500 решающее значение имеет  $R_u''$  (марка цемента на растяжение при изгибе  $R_u'' \geq 6,0$  МПа) [1].

Ориентировочное значение  $B/C$  для получения среднего уровня прочности бетона определяют по следующей формуле:

$$B/C = \frac{0,34R_u''}{R_b + 0,034R_u''}, \quad (1)$$

где  $R_u''$  – предел прочности цемента при изгибе, определяемый экспериментально;

$R_{\delta}$  – средний уровень прочности при растяжении при изгибе бетона  
 $R_{\delta} \geq 5,5$  МПа.

Определение количества крупного заполнителя определяется по формуле:

$$\text{Щ} = \frac{1000}{\frac{\kappa_p \cdot V n^{\text{щ}}}{\gamma_0^{\text{щ}}} + \frac{1}{\gamma^{\text{щ}}}}, \quad (2)$$

где  $\kappa_p$  – коэффициент раздвижки;

$\gamma_0^{\text{щ}}$  – насыпная плотность щебня, кг/м<sup>3</sup>;

$\gamma^{\text{щ}}$  – истинная плотность щебня, кг/м<sup>3</sup>.

При определении количества воды после определения количества щебня, нами предложено применять формулу А.А. Саканделидзе [2]. Контрольный состав:

$$B = \frac{K_{н.г.} \cdot \text{Ц} \cdot H_{г.} + B_n \cdot \gamma^n (V_p - \text{Ц} / \gamma^{\text{щ}}) + B_{\text{щ}}}{1 + 0,001 B_{\text{п}} \cdot \gamma^n}, \quad (3)$$

где  $\text{Ц}$  – количество цемента, кг;

$H_{г.}$  – нормальная густота цементного теста;

$B_n$  – водопотребность песка, л (определяются по методу Баженова при составе цементно-песчаного раствора  $\text{Ц}:\text{П} = 1:1$ );

$\gamma^n$  – истинная плотность песка, кг/м<sup>3</sup>;

$K_{н.г.}$  – экспериментальный коэффициент.

Потребность воды на смачивание поверхности зерен щебня определяется по предлагаемой формуле:

$$B_{\text{щ}} = 0,008 \cdot \text{Щ}_{5-10} + 0,005 \cdot \text{Щ}_{10-20} + 0,003 \cdot \text{Щ}_{20-40}, \quad (4)$$

где  $\text{Щ}_{5-10}$ ,  $\text{Щ}_{10-20}$ ,  $\text{Щ}_{20-40}$  – весовой расход щебня соответственно фр. 5-10 мм, фр.10-20 мм, фр.20-40 мм на 1 м<sup>3</sup> виброуплотненного бетона, кг.

$$K_{\text{щ}} = \frac{\text{Щ}}{\gamma_{\text{с}}^{\text{щ}}}, \quad (5)$$

где  $\gamma_{\text{с}}^{\text{щ}}$  – плотность щебня в виброуплотненном состоянии, кг/м<sup>3</sup>.

Объем растворной части определяется по формуле:

$$V_p = k_{щ} \cdot V_{\epsilon}^{щ} + (1 - k_{щ} - V_{\epsilon}), \quad (6)$$

где  $V_{\epsilon}$  – содержание воздуха в бетоне;

$$V_{\epsilon}^{щ} - \text{пустотность щебня в виброуплотненном состоянии } V_{\epsilon}^{щ} = \frac{\gamma^{щ} - \gamma_0^{щ}}{\gamma^{щ}}.$$

При  $V_{\epsilon} = 0$ ,  $V_{\epsilon} = 1000\text{л}$ , тогда выражение (6) имеет вид  $V_p = k_{щ} \cdot V_{\epsilon}^{щ} + (1 - k_{щ})$ .

Содержание песка вычисляется по формуле:

$$П = (V_p - \frac{Ц}{\gamma^u} - \frac{B - B_{щ}}{1000}) \cdot \gamma^n. \quad (7)$$

При применении химической добавки содержание воды:

$$B = \frac{K_{н.г.} \cdot k_{\delta}^2 \cdot Ц \cdot H_{г} + B_n \cdot \gamma^n (V_p^1 - Ц / \gamma^u) + B_{щ}}{1 + 0,001 B_{п} \cdot \gamma^n}, \quad (8)$$

где  $k_{\delta} = \frac{H_{г}^1}{H_{г}}$  – коэффициент эффективности добавки;

$H_{г}^1$  – нормальная густота цементного теста с применением химической добавки;

$H_{г}$  – нормальная густота цементного теста.

В отличии от формулы Баломея – Скрамтаева [3], где учитывается количество воды затворения:

$$\begin{aligned} R_{\sigma}^T &= AR_{Ц} (Ц/B - 0,5) Ц/B < 2,5 & A &= 0,55 \dots 0,65 \\ R_{\sigma}^T &= AR_{Ц} (Ц/B + 0,5) Ц/B > 2,5 & A &= 0,35 \dots 0,40 \end{aligned}$$

$Ц/B = Ц/(B - B_{щ})$  - что более точно соответствует реальным результатам.

$$\begin{aligned} Ц &= 350 \text{ кг} & B &= 120 \text{ л} & B_{щ} &= 10,5 \text{ л} & \gamma_{\delta} &= 1167 \text{ кг/м}^3 \\ Ц_{5-10} &= 417 \text{ кг} & Ц_{10-20} &= 965 \text{ кг} & П &= 598 \text{ кг} & \gamma^{щ} &= 2670 \text{ кг/м}^3 & \gamma^n &= 2620 \text{ кг/м}^3 \end{aligned}$$

Авторами статьи предложено вычислять количество воды по формуле:

$$B = B + B_{д/\gamma_{д}} - B_{щ}, \quad (9)$$

где  $B_{щ}$  - потребность воды на смачивание поверхности зерен щебня, определяется по формуле (4).

$$B_{щ} = 0,008Щ_{5-10} + 0,005Щ_{10-20} = 3,336 + 4,825 \approx 8,2 \text{ л}$$

Тогда  $B = 120 + 10,5/1,167 - 8,2 = 120,8 \text{ л}$

По формуле Баломея – Скрамтаева количество воды вычисляется:

$$B = B + B_{д/\gamma_{д}} = 120 + 9 = 129 \text{ л}$$

1)  $Ц/B = 350 / 129 \approx 2,71$        $B/Ц = 0,369$       (при расчете количества воды по методике Баломея – Скрамтаева)

2)  $Ц/B = 350 / 120,8 \approx 2,9$        $B/Ц = 0,345$       (при расчете количества воды по предложенной авторами статьи методике).

Соответственно, при  $A = 0,4$        $R_{ц} = 50,0 \text{ МПаВ/В} \approx 2,0 \%$

1)  $R_{\sigma}^T = 0,4 \cdot 50 \cdot (2,71 + 0,5) = 64,2 \text{ МПа}$

2)  $R_{\sigma}^T = 0,4 \cdot 50 \cdot (2,9 + 0,5) = 68,0 \text{ МПа}$  (при расчете количества воды по предложенной авторами статьи методике).

При содержании вовлеченного воздуха в бетонной смеси более 2,3 %:

$$B/B^{\phi} = B^T/B - 2,35 \% \quad B^T/B = 6,35 \% \quad B/B^{\phi} = 6,35 - 2,35 = 4,0 \%$$

$K_{в}$  – коэф. учета потери прочности, при  $B^T/B \geq 2,35 \%$        $K_{в} = 0,8$

При  $B^T/B \leq 2,35 \%$        $K_{в} = 1,0$

1)  $R_{\sigma}^T = K_{в} \cdot A \cdot R_{ц} (Ц/B + 0,5) = 0,8 \cdot 64,2 = 51,36 \text{ МПа}$

2)  $R_{\sigma}^T = K_{в} \cdot A \cdot R_{ц} (Ц/B + 0,5) = 0,8 \cdot 68,0 = 54,4 \text{ МПа}$

“Оптимальность структуры ”подбора состава бетонной смеси ( $\kappa_p$ ,  $r$ ,  $\Delta$  и т.д.) должны определяться не только минимальной пустотностью смеси заполнителей и объемом связующего – но и требуемыми технологическими свойствами, а также экономической целесообразностью с применением отходов производства (например отсева) [4].

Что касается вопроса повышения морозостойкости цементобетона необходимо не только определенный интегральный объем воздуха, но и определенный характер дифференциальной воздушной пористости, которая определяет удельную площадь поверхности воздушных пор и фактор расстояния между ними. Для дорожного бетона высокой морозостойкости фактор расстояния не должен превышать 0,15 мм, а объем резервных пор  $d \leq 300$  мкм должен быть не менее 5 %.

По А.М. Шейнину фактическая морозостойкость (с учетом антигололедных реагентов) дорожного бетона гарантирование высокой морозостойкости должна быть существенно выше (ориентировочно в 2,5 - 3 раза от номинального (нормативного)). Нормативные марки по морозостойкости должны использоваться только при подборе состава бетона, контроле его качества в процессе строительства и при приемки цементобетонных покрытий в эксплуатацию.

При испытание дорожного бетона на морозостойкость наилучшие результаты при содержании песка  $r = 0,37 \div 0,42$ . При использовании мелких и очень мелких песках морозостойкость повышается, что можно объяснить с увеличением:

- межзернового пространства при  $\alpha_{цг} \leq 1,0$  и увеличение прослоек цементного теста от  $20 \div 40$  мкм до  $70 \div 80$  мкм;
- расположение воздушных пузырьков в основном в зоне прослоек цементного теста (растворной части);
- упорядочивание размеров воздушных пузырьков (увеличивается от  $10 \div 70$  мкм до  $100 \div 200$  мкм) [5,6].

При  $t = - 50$  °С в 5 % растворе хлорида натрия по сравнению с  $t = - 20$  °С бетон показал весьма низкую морозостойкость ( при – 50 °С до 10 циклов, а при – 20 °С 20 ÷ 40 циклов).

Следует отметить, что отличительной особенностью пропаренного дорожного бетона (сборный железобетон) при – 50 °С является “взрывной”

характер разрушения проявляющийся в образовании волосяных трещин на гранях, шелушение и т.д.

Результаты сравнительных испытаний показывают, что бетон высокой морозостойкости при  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  разрушился в 5 - 6 раз быстрее чем при  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а бетон низкой морозостойкости при  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  разрушился приблизительно в 10 раз быстрее без потери массы.

### **Выводы**

Для получения высокопрочных дорожных бетонов нужно учесть следующие факторы:

- использовать цементы высокой прочности при изгибе, желательно мокрого помола с учетом зарубежного опыта (Канады, США, Финляндии, Швеции);
- применять эффективные комплексные добавки на основе суперпластификаторов с воздухововлекающими добавками (с водоредуцированием более 30 %), живучестью бетонной смеси не менее 60 - 120 мин.;
- подбор оптимального состава цементобетонной смеси.

### **Литература**

1. Файнер М.Ш. Высокопрочный бетон. – Черновцы: Изд-во Черновиц. нац. ун-та «Рута», 2007. – 124 с.
2. Саканделидзе А.А. Новый способ рационального проектирования высокопрочных бетонов марок 500-1000. – Тбилиси, 1978.
3. ГОСТ 27006 – 86. Правила подбора состава.
4. Шургая А.Г., Гудименко К.В., Чиженко Н.П. Теоретические и практические аспекты улучшения технологических показателей, экономической целесообразности и долговечности высокопрочных цементобетонов в дорожном строительстве // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2013. - №49 – с.154 – 161.
5. Шейнин А.М. Цементобетон для дорожных и аэродромных покрытий. – М.: Транспорт, 1991.- 151 с.
6. Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. – М.: Стройиздат, 1979. – 344 с.

#### **Рецензенти:**

Мішутін А.В., д-р техн. наук, Одеська державна академія будівництва і архітектури.  
Солодкий С.Й., д-р техн. наук, НУ "Львівська політехніка".

#### **Reviewers:**

Mishutin A.V., Dr. Tech. Sci., Odessa State Academy of Construction and Architecture.  
Solodkyi S.Yo., Dr. Tech. Sci., NU "Lviv Polytechnic".

Стаття надійшла до редакції: **11.05.2016 р.**

## **БУДІВНИЦТВО ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ДОРІГ**

**УДК 666. 983**

**Возный С.П., Дорошенко Ю.М.,** канд. техн. наук

### **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ЦЕМЕНТОБЕТОННОЕ ПОКРЫТИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

**Анотація.** У статті розглядаються фактори, що впливають на експлуатаційні властивості цементобетонних покриттів доріг. Об'єктом дослідження є цементобетонне покриття на автомобільних дорогах. Метою роботи є показати, що бетонні добавки і дисперсне армування дозволяють підвищити якість цементобетонного покриття доріг. Методом дослідження є підвищення надійності і довговічності цементобетонних покриттів.

Для підвищення довговічності і якості цементобетонних доріг необхідно підвищувати водонепроникність (W), морозостійкість (F), тріщиностійкість цементобетона, на сьогоднішній день для досягнення необхідних властивостей використовуються бетонні добавки, а також дисперсне армування. Експериментуючи з цими матеріалами ми можемо збільшити тривалість служби цементобетонного покриття.

**Ключові слова:** цементобетонне покриття, експлуатаційні властивості, дисперсне армування, пластифікатори, тріщиностійкість цементобетону.

**Аннотация.** В статье рассматриваются факторы, влияющие на эксплуатационные свойства цементобетонных покрытий дорог. Объектом исследования является цементобетонное покрытие на автомобильных дорогах. Целью работы является показать, что бетонные добавки и дисперсное армирование позволяют повысить качество цементобетонного покрытия дорог. Методом исследования является повышения надежности и долговечности цементобетонных покрытий.

Для повышения долговечности и качества цементобетонных дорог необходимо повышать водонепроницаемость (W), морозостойкость (F), трещиностойкость цементобетона, на сегодняшний день для достижения необходимых свойств используются бетонные добавки, а также дисперсное армирование. Экспериментируя с этими материалами мы можем увеличить продолжительность службы цементобетонного покрытия.

**Ключевые слова:** цементобетонное покрытие дорог, эксплуатационные свойства, дисперсное армирование, пластификаторы, трещиностойкость цементобетона.

**Abstract.** This article discusses the factors affecting the performance characteristics of cement-concrete road surfaces. The object of this study is to cement concrete pavement on the roads. The aim is to show that concrete additives and particulate reinforcement can improve the quality of cement concrete pavement of roads. The method of this study is to improve the reliability and durability of concrete slabs.

To increase the longevity and quality of cement-concrete roads is necessary to raise the water resistance (W), frost (F), fracture toughness of cement concrete, to date, in order to achieve the required properties of concrete additives used, as well as particulate reinforcement. Experimenting with these materials, we can increase the length of service of cement concrete pavement.

**Keywords:** cement-concrete coating, operational properties, disperse reinforcement, a plasticizer, a fracture toughness of cement.

### **Постановка проблемы**

В современных реалиях цементобетонное покрытие дорог работает в неблагоприятных окружающих условиях, так как подвергается механическому воздействию транспортных средств, и воздействия атмосферных осадков приводит к многократному увлажнению и высушиванию, замораживанию и оттаиванию.

Таким образом, для предотвращения данному типу воздействий и повышению долговечности бетона необходимо повышать его водонепроницаемость (W) и морозостойкость (F). Основной причиной проницаемости бетона является наличие в его структуре капиллярной пористости. Бетон мог бы иметь достаточно высокую водонепроницаемость и морозостойкость, но на практике в смесь вводят больше воды, чем нужно для

гидратации цемента. Этот избыток воды при испарении создает пустоты и поры, которые могут соединяться между собой и создавать капиллярные каналы. А.М. Невиль считал, что основную роль в проницаемости бетона играет проницаемость цементного камня и контактный слой между цементным камнем и поверхности заполнителя.

На дорожный бетон влияет также влага, проникающая в бетон за счет капиллярного подсоса. Основной причиной капиллярного подсоса является наличие в бетоне системы тончайших капилляров, способствуют переносу влаги.

Как отдельный вид воздействия, который имеет общую природу с капиллярным подсосом, является безнапорная фильтрация. В работах исследовалась безнапорная водопроницаемость бетона и цементного камня. На минимизацию деформативности и проницаемости влияют: применение суперпластификаторов, оптимального соотношения кристаллогидратов и геля, В/Ц отношение и коэффициентов раздвижки зерен.

Увлажнение материала вызывает его набухание, а высушивание - усадку. Оба процесса характеризуются соответствующими объемными деформациями, которые создают в бетоне внутренние напряжения. Усадка бетона возникает под влиянием физико-химических и капиллярных явлений, происходящих в гелиевой составляющей цементного камня и обусловлены изменением влагосодержания в бетоне. Высыхания увлажненных конструкций происходит за счет градиентов температуры и влажности между конструкцией и средой эксплуатации. По мере прохождения циклов увлажнения и высушивания отмечаются наращивания остаточных деформаций, которые могут быть определены как усталость.

Усадка и усадочные напряжения в бетоне опасны в раннем возрасте. Свежеуложенный бетон под действием сухого воздуха, солнца и ветра интенсивно испаряет влагу, вызывает уменьшение его объема и усложняет процесс твердения и формирования структуры. Возникают внутренние усадочные напряжения, которые плохо компенсируются малопрочным бетоном. В этот период на поверхности бетона появляются усадочные трещины.

Внешние знакопеременные деформации от увлажнения и высушивания вызывают повреждения бетона в дальнейшей эксплуатации конструкции.

Усадка материалов, как капиллярно-пористых тел, связанная с давлением мениска жидкости в капилляре, то есть в трещине мениск жидкости давит на берега трещин, вызывая увеличение ширины ее раскрытия. В трещине, которая заполнена водой, реализуется «эффект Ребиндера», связанный с адсорбционным снижением прочности, что ведет к увеличению объема капиллярно-пористых тел при их насыщении водой.

Действие многократного замораживания и оттаивания влияет на верхний слой цементобетонного покрытия. На бетоны дорожного покрытия зимой действует:

- многократные замораживания и оттаивания в насыщенном состоянии; причем бетон может насыщаться как чистой водой, так и растворами хлористых солей;
- многократное замерзание под слоем воды с образованием на поверхности бетона слоя льда;
- многократное глубокое высушивание (вымораживание) бетона, насыщенного раствором хлористых солей.

Важную роль в обеспечении необходимой морозостойкости бетона играет наличие нормальных условий твердения в начальный период. Нарушение таких условий твердения приводит к интенсивному прохождению массообменных процессов, вызванных градиентами температуры и влажности, а также их совместным действием. Жидкая фаза поднимается к поверхности, образуя в его растворимой части поры и капилляры открытого типа или расширяя уже существующие. Важную роль играет водно-тепловой режим конструкции дорожной одежды в целом. При близком расположении грунтовых вод может происходить инфильтрация влаги снизу, что приведет к тому, что бетон постоянно увлажняется и находится в состоянии частичного водонасыщения и его разрушения под действием отрицательных температур может происходить быстрее. При этом образуется большое количество открытых макропор.

Морозное разрушение бетона связано со значительным расширением воды при ее переходе в лед в порах материала. Давление замерзающей воды в незамкнутых порах может достигать сотен атмосфер.

Считалось, что происходит воздействие льда, который кристаллизуется на стенки пор, что вызывает местные напряжения. Позже исследователи пришли к выводу, что причиной разрушения при замораживании и оттаивании

есть гидравлическое давление, возникающее во влажном бетоне при замерзании воды.

Было предложено около 20 гипотез морозного разрушения: гидравлическое давление незамерзшей воды, что прижимается льдом, который образуется в порах; кристаллизационное давление льда; образования «ледовых линз»; осмотическое давление; миграция воды через пористую среду в зону контакта между льдом и пористой основой; сегрегация льда в микропорах и др. Процесс деструкции бетона при замораживании и оттаивании следует рассматривать как развитие и накопление трещин в гетерогенном материале. При замерзании жидкости давление от увеличения ее объема передается на берега трещины и на воду в пленочном состоянии, что не изменила свое агрегатное состояние. Кроме того, в поле высоких напряжений в вершине трещины может происходить сдвиги. Это приводит к раздвижки сторон трещины и увеличение ее длины с последующим снижением прочности в процессе эксплуатации.

В тонких порах и капиллярах с размерами  $10^{-5} \dots 10^{-7}$  см вода находится в структурированном виде с температурой ее замерзания  $-50$  °С.

Процесс коррозии бетона в агрессивных средах - это комплекс гетерогенных химических процессов взаимодействия бетона с компонентами агрессивной среды. Коррозионные процессы в бетоне и железобетоне под воздействием агрессивных сред различаются между собой. Это связано как с разнообразием свойств бетона (его состоянием), так и со свойствами агрессивной среды.

Коррозия первого вида возможна, когда под действием одностороннего напора возникает фильтрация воды сквозь толщу бетона. Следствием коррозии первого вида является растворение и вынос из структуры бетона продуктов гидратации цемента, что существенно снижает показатели физико-механических свойств бетона и постепенно разрушает его. Наиболее растворимым веществом является создаваемый при гидролизе гидроксид кальция.

Суть коррозии второго вида заключается в развитии обменных реакций между кислотами или солями окружающей среды и составными элементами цементного камня. Вследствие таких реакций в поверхностных слоях бетона, которые стыкуются с агрессивной средой, возникают новообразования без

вяжущих свойств и достаточной плотности. Эти вещества растворяются или вымываются механически, при этом обнажаются новые слои бетона; так процесс продолжается до полного разрушения бетона.

Самым опасным видом химических воздействий можно считать сульфатоалюминатную коррозию - под действием сульфатных вод в цементном камне образуется этрингит, и как показали последние исследования, таумасит.

В результате воздействия сульфатов бетон постепенно разрушается и переходит в рыхлое состояние, что легко обнаруживается визуально.

Основным признаком коррозии третьего вида является накопление в порах-капиллярах и других пустотах цементного камня, раствора или бетона, кристаллов солей, образовавшихся за счет химических реакций взаимодействия агрессивной среды и составных частей новообразований цементного камня. Кристаллы солей, расширяясь, разрушают стенки пор цементного камня.

Особенно большое влияние оказывает образование на поверхности бетона слоя льда и действие солей оттаивания. При замерзании под слоем льда повышается степень водонасыщения бетона, особенно в поверхностном слое, что сталкивается со льдом. Таяние льда при отрицательной температуре под действием хлористого натрия является эндотермическим процессом и поэтому в поверхностном слое бетона происходит резкое снижение температуры.

Отмечается также ускоренное разрушение бетона при замораживании в растворах электролитов, в частности хлоридов. Существует мнение, что это происходит из-за интенсификацию химической коррозии, связанной с повышением концентрации солей в растворе по мере вымораживания из него пресного льда.

В процессе разрушения бетона, насыщенного раствором хлорида, при его замораживании важную роль играет гидравлическое давление, которое возникает, когда концентрация раствора составляет около 4%.

При высушивании бетонов, насыщенных растворами хлористых и других солей происходит кристаллизация этих солей в порах бетонов. Некоторые из этих солей при изменении влажности переходят из безводной формы в кристаллогидраты со значительным увеличением объема. Такие преобразования солей вызывают значительные дополнительные напряжения в бетоне. Есть данные об отрицательном влиянии на прочность бетона концентрированного раствора NaCl, даже при кратковременном воздействии.

Важними свойствами дорожного цементного бетона является его прочность усталости - способность сохранять прочность при многократной механической нагрузке, а также его деформативность. Под деформативностью дорожного цементного бетона имеется в виду его способность изменять форму и размеры не разрушаясь. Плотность, морозостойкость и водонепроницаемость дорожного цементного бетона определяют его долговечность. Требуемая плотность обеспечивается оптимальным содержанием воды в цементобетоне ( $V/C < 0,5$ ). Морозостойкость же цементного бетона зависит как от морозостойкости составляющих материалов так и плотности бетона.

Физическое и химическое воздействие окружающей среды проявляется одновременно с механическими воздействиями транспорта и средств эксплуатации (истирание, вдавливания и удары).

Последнее время наблюдается устойчивая тенденция увеличения количества, грузоподъемности и скорости движения транспортных средств. С учетом существующего состояния дорожных покрытий по показателям равенства данные тенденции приводят к существенному увеличению динамической составляющей давления на покрытие.

В условиях постоянного «недоработки» сети автомобильных дорог, при ухудшении показателя ровности покрытия, дорожные одежды начинают работать в условиях динамических перегрузок, что приводит к их ускоренному разрушению. Динамические нагрузки на неровных участках в среднем составляют 50 - 90%, при допустимых - 30%.

Характерная черта работы цементобетонных покрытий заключается в том, что все воздействия воспринимаются в первую очередь, поверхностным слоем. При этом разрушение бетона происходит, в основном, в поверхностном слое. В начальный период разрушается поверхностный слой бетона путем отслоения толщиной 0,1-1 см. Затем происходит постепенное разрушение раствора в глубину. Крупный заполнитель обнажается и под влиянием динамических воздействий колес автотранспорта выкрошивается из бетона.

Механические воздействия автомобильного транспорта вызывают в цементобетонных покрытиях вертикальные и горизонтальные усилия. Под влиянием вертикальных нагрузок происходит изгиб, например, плит, лежащих на упругом основании, что вызывает появление в бетоне напряжений растяжения при изгибе.

Горизонтальные усилия в покрытии возникают (особенно при торможении) при движения транспорта с переменной скоростью. Эти усилия вызывают напряженное состояние, как правило, в поверхностных слоях покрытия и влекут дополнительный абразивный износ дорожного бетона.

Долговечность конструкций во многом зависит от того, насколько правильно при их возведении были учтены особенности поведения бетона при динамической нагрузке.

Положительным моментом для противодействия динамическим воздействиям бетонов можно считать факт большей устойчивости мелкозернистых бетонов по сравнению с бетонами на большом заполнители. Устойчивость бетонов как грубогетерогенных материалов к ударным нагрузкам может быть повышена за счет управления макроструктурными параметрами в процессе самоорганизации материала.

Согласно напряженного состояния к цементному бетону дорожных покрытий предъявляются требования по прочности на сжатие и растяжение при изгибе, изложенные в ДБН В.2.3-4: 2007 «Автомобильные дороги». Отметим, что для дорожного цементного бетона прочность на растяжение при изгибе имеет более важную роль.

В результате резкого увеличения интенсивности транспортных потоков, ухудшение окружающей среды (автомобильные выхлопы, горюче-смазочные и антигололедные реагенты и т.п.), существенно возросли нагрузки на дорожные одежды, в том числе и с цементобетонных покрытий. Актуальным является поиск решений, направленных на увеличение сроков службы дорожных одежд с цементобетонных покрытий, работающих в тяжелых условиях эксплуатации. В настоящее время при строительстве и реконструкции автомобильных дорог одной из основных условий является повышение долговечности и эксплуатационной устойчивости дорожных покрытий.

Для повышения долговечности дорожного бетона необходимо снизить уровень его внутреннего напряженного состояния до величины, обеспечивающей его длительную работу (сохранение расчетной прочности) с учетом транспортных, климатических и эксплуатационных (борьба с гололедом) и других воздействий.

Одним из перспективных конструкционных материалов для цементобетонных покрытий дорог является дисперсно-армированные бетоны.

Дисперсное армирование

осуществляется волокнами-фибрами, равномерно распространенными в объеме бетонной матрицы.

Для получения более прочных композиций необходимо выполнять ряд требований:

- волокна нужно равномерно распределять по всему объему матрицы, но они не должны непосредственно касаться друг к друга;
- матрица должна быть химически инертной по отношению к действию волокон;
- волокна должны иметь более высокий по сравнению с матрицей, модуль упругости;
- желательно, чтобы матрица имела достаточно высокую прочность при сдвиге, при возможности следует стремиться к ориентированному распределению волокон в матрице (в бетоне, растворе).

Исследования показали, что при относительной длине фибры  $l/d = 100$  предельный состав их, который удастся ввести в бетонную смесь при обычных способах перемешивания, составляет 2-3% по объему. С уменьшением длины фибры их количество, которое может быть введена в бетонную смесь без ухудшения при этом ее однородности, увеличивается и наоборот, при увеличении длины фибры снижаются возможности технологического процесса.

Важной проблемой, которая возникает при армировании волокнами бетонных материалов, также снижение легкоукладываемости бетонной смеси по мере увеличения в ней состава волокнистого заполнителя. Установлено, что как с увеличением длины волокна, так и с уменьшением его диаметра - снижение удобоукладываемости бетона при прочих равных условиях оказывается более заметным. Увеличение уровня удобоукладываемости обычно достигается за счет увеличения водоцементного отношения и объема растворной части материала, а также благодаря использованию различных пластифицирующих добавок.

Типичный армированный фибрами бетон должен отличаться от обычного более высоким содержанием цемента, расходы которого в зависимости от наличия в бетоне крупного заполнителя и геометрических параметров фибровой арматуры – 350 – 550 кг / м<sup>3</sup>. При этом водоцементное отношение - 0,35 – 0,55. Расходы цемента могут быть снижены за счет добавок.

Большое значение с технологической точки зрения имеют разного рода добавки, которые вводят в бетонную смесь для улучшения ее качества. Для оптимизации технологического процесса уместно использовать добавки пластификаторов или суперпластификаторов, замедлители и ускорители твердения, добавки, которые снижают влагосодержание и водопотребность. Волокна, как правило, не вызывают какого-либо влияния на действие добавок.

Особый интерес представляет использование при изготовлении дисперсно-армированных бетонов и конструкций на их основе специальных технологических мероприятий, которые позволяют улучшить качество готовой продукции. Здесь прежде всего необходимо указать на большие возможности вибропроката и вибропрессования в сочетании с вакуумированием, центрифугированием, формированием под давлением (с нагрузкой).

Технологические процессы связанные с укладкой, уплотнением и отделкой армированных волокнами бетонных материалов практически не отличаются от традиционных.

Итак, в результате исследования прочностных свойств фибробетона можно сделать выводы:

- увеличение прочности бетонной смеси на сжатие, на растяжение при изгибе, на растяжение при расколе, на осевое растяжение зависит от увеличения величины диаметра и объемного содержания волокон.

- при увеличении диаметра и объемного содержания волокон увеличивается и жесткость бетонной смеси, что отрицательно влияет на ее удобоукладываемость.

- оптимальный диаметр 0,8 – 1,0 мм и объемное содержание волокон 2 –3 % объема бетонной смеси.

## **Література**

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Высшая школа. - 2002. – 415 с.
2. Баженов Ю.М. Бетон при динамическом нагружении. – М.: Стройиздат, 1970.- 272 с.
3. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика –2-е изд. – М. - Технопроект, 1998. – 768 с.
4. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. – М. - Госстройиздат, 1962. – 96 с.
5. Бунин М.В., Грушко И.М., Ильин А.Г. Структура и механические свойства дорожного цементного бетона. – Харьков: изд-во универ.,1968. – 199 с.
6. Глыбин В.С. Технология дорожного цементобетона. – М.: Высшая Школа, 1972. – 272 с.
7. Гоц В.И. Бетоны и строительные растворы. Учебник. – К.: ООО УВПК „ЕксОб”, 2003. – 472 с.
8. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Основы бетоноведения. – Спб., Строй-Бетон, 2006. – 692 с.

9. Демьянова В.С., Баженов Ю.М., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 368 с.
10. Добавки в бетон: Справ. пособие / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди и др. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.
11. Дорошенко Ю.М., Вишневыи В.Б., Чистяков В.В. Добавки, повышающие прочность и водонепроницаемость цементных бетонов // Повышение долговечности конструкций водохозяйственного назначения. Тезисы докладов всесоюзной конференции. – Ростов-на-Дону, 1981. – С.133-135.
12. Влияние химической добавки-ускорителя твердения на процессы гидратации, структурообразования и свойства портландцемента / Ю.М. Дорошенко, О.Ю. Дорошенко, Л.Г. Гурина, П.П. Борковский // Весник ТАУ и УТУ. – 2000. – №4. – С.122 – 127.
13. Дорошенко О.Ю., Возненко А.Д. Кремнийорганические примеси - эффективные модификаторы цементного бетона / Сборник научных трудов Киевского университета экономики и технологий транспорта, серия "Транспортные системы и технологии". 2003. – Выпуск 3, – С. 72 – 79.
14. Дорошенко О.Ю., Дорошенко Ю.М. Цементный бетон, армированный стальной дисперсной арматурой // Сборник научных трудов Киевского университета экономики и технологий транспорта, серия "Транспортные системы и технологии". – 2006. – Вып. 10. – С. 66 – 74.
15. Дорошенко О.Ю., Дорошенко Ю.М. и др.. Состояние и перспективы развития дорожной сети Украины // Сборник научных трудов ГЭТУТ. Серия «Транспортные системы и технологии». – 2010. – Вып. 17. – С. 55 – 60.
16. Дорошенко О.Ю., Дорошенко Ю.М. Эксплуатационные воздействия на бетоны в цементобетонных покрытиях дорог / Сборник научных трудов ГЭТУТ. Серия «Транспортные системы и технологии». – 2011. – Вып.18. – С. 38 – 44.
17. Жёсткие покрытия аэродромов и автомобильных дорог: Учеб. пособие для вузов / Г.И. Глушков, В.Ф. Бабков, В.Е. Тригони и др.; Под ред. Г.И. Глушкова. – М.: Транспорт, 1994. – 349 с.
18. Мишутин А.В., Мишутин Н.В. Повышение долговечности бетонов тонкостенных плавучих и портовых гидротехнических сооружений. – Одесса: Одесский центр научно-технической и экономической информации, 2003. – 192 с.
19. Опыт строительства дорожных покрытий из жёстких укатываемых смесей / И.В. Басурманова, В.И. Коршунов, А.И. Суворов, Р.А. Коган. – М., 1990. – 64 с. – (Автомоб. дороги: Обзорн. информ. / Информавтодор; Вып. 2).
20. Пушкарева К.К., Дорошенко О.Ю. Особенности получения щелочного шлакопортландцементного бетона и перспективы его использования для устройства дорожного покрытия // Автодорожник Украины. – 2008. – № 5 (211). – С. 40 – 45.
21. Рабинович Ф.Н. Дисперсно-армированные бетоны. – М.: Стройиздат, 1989. – 176 с.
22. Ребиндер П.А. Процессы структурообразования в дисперсных системах. Физико-химическая механика строительных материалов / – Ташкент: Изд. «Фан», 1966. – 348 с.
23. Строительство цементобетонных покрытий автомобильных дорог: Учеб. для вузов / Э.Р. Пинус, С.В. Коновалов, А.М. Радин. – М.: Высшая школа, 1975. – 303 с.
24. Транспортная стратегия Украины на период до 2020 года.
25. Ферронская А.В. Долговечность конструкций из бетона и железобетона. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 336 с.

**Рецензенти:**

Мишутін А.В., д-р техн. наук, Одеська державна академія будівництва і архітектури.  
Солодкий С.Й., д-р техн. наук, НУ "Львівська політехніка".

**Reviewers:**

Mishutin A.V., Dr. Tech. Sci., Odessa State Academy of Construction and Architecture.  
Solodkyi S.Yo., Dr. Tech. Sci., NU "Lviv Polytechnic".

Стаття надійшла до редакції: **16.06.2016 р.**

УДК 625.76

Кизима С. С., канд. техн. наук, Країнський О. І.

## **ОСНОВИ МЕХАНІЗМУ ФОРМУВАННЯ РУЙНІВНИХ ПРОЦЕСІВ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ПОКРИТТІВ В МІСЬКИХ УМОВАХ**

**Анотація.** Розглянуто основні механізми руйнування асфальтобетонних покриттів у міських умовах. Встановлені групи факторів, які впливають на формування руйнівних процесів асфальтобетонних покриттів та характер їх впливу.

**Ключові слова:** вулично-дорожня мережа, дорожнє полотно, експлуатаційні особливості матеріалів.

**Аннотация.** Рассмотрено основные механизмы разрушения асфальтобетонных покрытий в городских условиях. Установлены группы факторов, которые влияют на формирование разрушительных процессов асфальтобетонных покрытий и характер их влияния.

**Ключевые слова:** улично-дорожная сеть, дорожное полотно, эксплуатационные особенности материалов.

**Abstract.** It is considered the main failure mechanisms of asphalt concrete pavements in the urban environment. Establishing groups of factors that influence the formation of destructive processes asphalt pavement and the nature of their influence.

**Keywords:** the road network, roadbed, operating characteristics of materials.

### **Вступ**

Автомобільні дороги є національним надбанням країни і до них треба відноситись відповідальним чином. На жаль, з часом у процесі експлуатації в дорожній конструкції починають розвиватись руйнівні процеси, які треба вміти вчасно зупинити або локалізувати. Для цього треба знати механізм виникнення і формування руйнівних процесів. Знання цього механізму буде сприяти не тільки збереженню експлуатованих доріг, а і удосконаленню та розвитку техніки і технології будівництва доріг.

## **Основна частина**

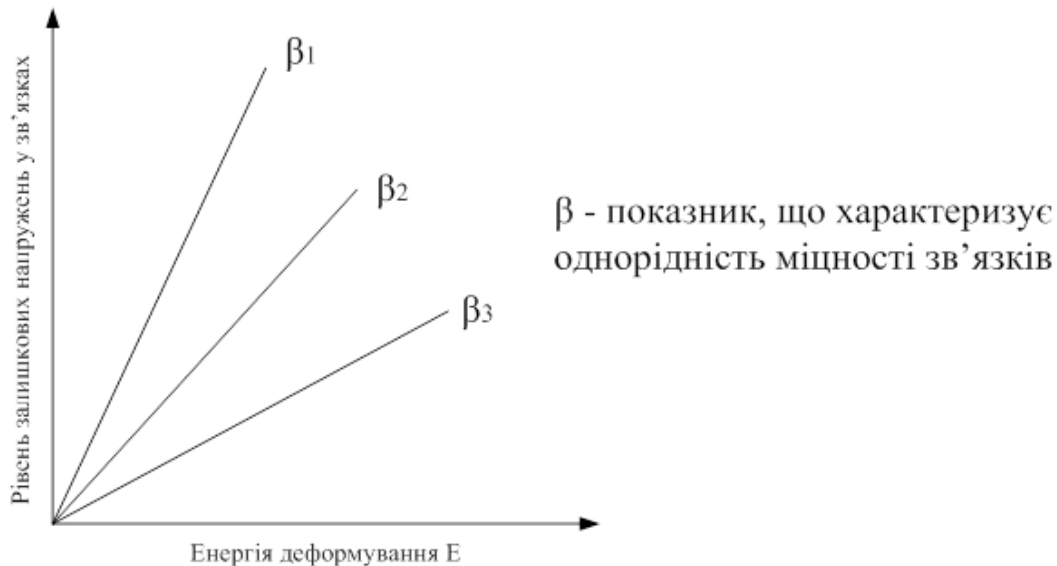
Процес функціонування дорожньої конструкції і всіх її елементів по суті являє собою процес безперервного протистояння двох антагоністичних груп факторів – групи факторів, яка визначає експлуатаційні властивості конструкції, і групи факторів, які стимулюють виникнення і розвиток руйнівних процесів в конструкції.

Експлуатаційні властивості елементів дорожньої конструкції визначаються їх структурними особливостями. У загальному випадку всі дорожні конструкції і їх елементи мають принципово однакову структурну будову. Вона включає три складові: скелетну решітку, призначену для сприйняття і розподілу тиску від навантаження; заповнюючи середовище, яке забезпечує стійкість скелетної решітки і зв'язуюче середовище (від цементу до зв'язаної води), яке об'єднує всі складові і забезпечує сумісну їх роботу. Таким чином, в дорожніх структурах має місце два основних компонента – зерна, які представлені мінеральними частинками, і зв'язки між ними. При цьому першочерговий інтерес тут представляють якраз структурні зв'язки, оскільки міцності зерен, і тому поведінка їх під дією навантажень визначає поведінку і всієї дорожньої структури.

За характером формування і особливостями взаємодії з навантаженнями розрізняють три типи зв'язків – адгезійні, кристалічні і зв'язки, які мають характер сил тертя Кулона. В залежності від переважаючого типу зв'язків розрізняють дорожні структури коагуляційного, кристалічного та контактного типу.

Асфальтобетонні дорожні покриття відносяться до структур коагуляційного типу і вони проявляються під навантаженням, як пружні так і зв'язкі властивості. Але зв'язки навіть в межах одного типу структур не є однаковими. Вони можуть бути різними за фізичними властивостями, за умовами створення, за міцністю, можуть мати різну межу пружного деформування, можуть бути схильними до відновлення і т.ін. Тому при навантаженні реальної структури її зв'язки, при загальному збереженні спільності процесу деформування, фактично працюють по – різному і мають різні наслідки взаємодії з навантаженням – одні здатні повністю забезпечити зворотню деформацію при розвантаженні, інші – ні. Це, між іншим, зумовлює розвиток так званого втомлюючого процесу, який полягає у пустошовому накопиченні залишкових напружень у зв'язках структури при діях циклів

«навантаження – розвантаження», характерних для дорожніх конструкцій. Особливістю приходу цього явища є монотонно зростаючий процес накопичення залишкових напружень зі збільшенням кількості і амплітуд деформування дорожньої конструкції. Останні можна характеризувати, наприклад, енергією процесу деформування. Графічно це можна представити так, як показано на рис. 1.



**Рисунок 1** – Характер монотонно зростаючого процесу накопичення залишкових напружень в залежності від однорідності міцності зв'язків

Група факторів і явищ, яким протистоять експлуатаційні властивості дорожньої конструкції (дорожня структура, у тому числі і асфальтобетонне покриття), об'єднує все, що зумовлює виникнення зовнішніх і внутрішніх дій на дорожню конструкцію. За результатами проведених нами досліджень, ці фактори можна об'єднати принаймні в вісім підгруп:

а) накопичення наслідків втомлюваного процесу в структурах шарів, у т. ч. і покриттів;

б) умови сприйняття дорожньою конструкцією транспортних навантажень;

в) несвоєчасна локалізація дрібних дефектів, що виникають у процесі експлуатації дорожньої конструкції;

г) недостатність у ряді випадків міцності дорожньої конструкції, яка зумовлює зростання амплітуд деформації покриття під дією значних колісних навантажень (автобус, тролейбус, великовагові вантажівки) і стимулює тим самим інтенсивність протікання втомлюваних процесів;

д) навантаження на дорожню конструкцію, зумовлені змінами фізико-географічних комплексів;

е) недостатньо контрольоване використання хлористих сполук в зимових дорожніх технологіях;

ж) специфічні умови роботи асфальтобетонних покриттів в міських умовах;

з) порушення технологій влаштування і ремонтів асфальтобетонних покриттів та якість матеріалів.

Дія факторів першої підгрупи проявляється передусім у тому, що фактичні напруження у зв'язках при навантаженні структури являють собою суму залишкових напружень  $\sigma_3$  і напружень від тимчасового (колісного) навантаження  $\sigma_T$ :

$$\sigma_{\phi} = \sigma_3 + \sigma_T. \quad (1)$$

Стабільна робота структурного зв'язку забезпечується при виконанні умови:

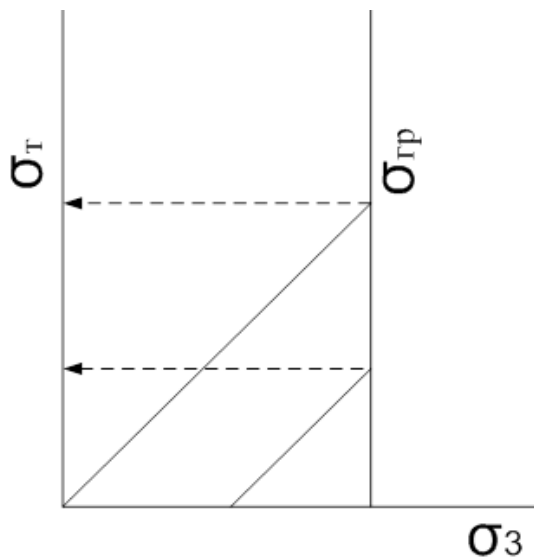
$$\sigma_{\phi} < \sigma_{гр}, \quad (2)$$

де  $\sigma_{гр}$  – певне граничне значення міцності зв'язку в межах пружності.

Тому збільшення величини залишкових напружень автоматично підвищує імовірність досягнення зв'язком його граничної міцності  $\sigma_{гр}$  (рис.2).

При невиконанні умови (2) виникає або руйнування зв'язку, або його переродження. В обох випадках порушується стан рівноваги в системі зв'язків даної структури.

Дія факторів другої підгрупи зв'язана з впливом на сприйняття дорожньою конструкцією транспортних навантажень фактичного стану проїзної частини, температурного режиму конструкції, швидкості руху та ін.. Погіршення стану проїзної частини, передусім її рівності, приводить до інтенсифікації ударної дії коліс автомобілів. При цьому така дія коліс зростає пропорційно збільшенню швидкості руху. Вплив температурного режиму покриття зумовлюється залежністю стану структурних зв'язків від температури, особливо для структур коагуляційного типу (напр.. асфальтобетон). Для них збільшення температури шару приводить до збільшення долі в'язких властивостей і зменшення – пружних.



**Рисунок 2** – Вплив величини залишкових напружень на дозволена величину напружень від транспортних засобів

Несвоєчасна локалізація дрібних дефектів покриття створює вплив одночасно принаймі в трьох напрямках:

- погіршення умов сприйняття конструкцією транспортних навантажень, збільшення динамічної дії коліс;
- підвищення імовірності зволоження підстилаючого покриття і одягу системи атмосферними водами і зв'язане з цим зростання амплітуд деформування конструкції;
- інтенсифікація розвитку руйнівного процесу, який сформувався, у зв'язку з прогресуючим погіршенням взаємодії коліс з покриттям.

При цьому вплив по кожному з напрямків має виключно зростаючий характер, що зумовлює початкову потребу термінової ліквідації проявів руйнівного процесу.

Навантаження від зміни фізико – географічних комплексів проявляються у формі впливу змін температур, вологості ґрунтів і дорожніх шарів, режимів заморожування і відтаювання, інтенсивності сонячної радіації та ін.. на формування і протікання напружено – деформованого стану дорожньої конструкції і всіх її шарів. Ця група факторів проявляє зазвичай подвійну дію: по – перше, вона формує величини квазістатичних навантажень на структурні зв'язки; по – друге, вона погіршує самі властивості структурних зв'язків, у тому числі їх міцність і деформативність. Цим вона створює умови більш

легкого досягнення зв'язками їх граничного напруженого стану, за межами якого наступають їх руйнування або видозміни.

Недостатньо контрольоване використання хлористих сполук в зимових технологіях призводить до інтенсифікації процесів вилужування та деструкції органічних в'язучих і, як наслідок, надмірного підвищення жорсткості, а відтак і крихкості матеріалу покриття і загального погіршення його деформативних властивостей. Цей процес, за нашими даними, має монотонно зростаючий характер, вісню абсцис якого в першому наближенні можна прийняти кількість використовуючи хлоридів на  $1 \text{ м}^2$  за одиницю часу.

### **Висновок**

Проведенні дослідження дозволили розробити розгорнуту структурно – функціональну схему формування руйнівних процесів асфальтобетонних покриттів в міських умовах. За допомогою цієї схеми визначено найважливіші фактори і показники, які формують ці процеси. Зараз ведуться роботи оцінки значимості виділених факторів і показників та пошуку аналітичних залежностей для прогнозування обсягів руйнування асфальтобетонних покриттів.

### **Література**

1. Кизима С. С. Рекомендації по використанню системи для планування ремонтних робіт / Кизима С. С., Канін О. П., Лихоступ М. М. // Державна служба автомобільних доріг України. – Київ.: Укравтодор, 2002. – 20 с.
2. Прусенко Е. Д. Основные проблемы эксплуатации автомобильных дорог и пути их решения / Прусенко Е. Д., Стороженко М. С., Михович С. И. // Проблемы эксплуатации автомобильных дорог: сб. научных трудов: Вып. 48. – Х.: Знание, 1998. – С. 5 – 12.
3. Кизима С. С. Експлуатація автомобільних доріг/навчальний посібник, К.:НТУ, 2009.- 272 с.
4. Роман С. В. Удосконалення методів обґрунтування ремонтно – експлуатаційних робіт на вулично – дорожніх мережах міських населених пунктів: дис. На здобуття наукового ступеню канд. техн. наук: спец. 05.22.11 / Роман Сергій Вікторович. – К.:2009. – 240 с.
5. Кизима С. С. Основні аспекти та шляхи підвищення надійності нежорстких дорожніх одягів. Тези доповідей науково – технічної конференції, присвяченій 50-річчю КАДІ. – Київ, 1994, с. 44.
6. Кизима С. С., Андреев С. И. Оптимизация планирования работ по ремонту нежестких дорожных одежд. Сб. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К.: Будівельник, 1987. – С. 29-35.

#### **Рецензенти:**

Павлюк Д.О., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

Кіяшко І.В., канд. техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

#### **Reviewers:**

Pavliuk D.O., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Kiiashko I.V., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Kharkiv National Automobile and Highway University.

Стаття надійшла до редакції: **02.06.2016 р.**

УДК 625.717.2

Перова О.С., Угненко Є.Б., д-р. техн. наук, Твердохліб С.П.

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ У ВИЗНАЧЕННІ КОЕФІЦІЄНТА ЗЧЕПЛЕННЯ

**Анотація.** В роботі проаналізовані існуючі засоби вимірювання фрикційних властивостей аеродрому. Розглянута необхідність введення нормативного значення коефіцієнта зчеплення. Наведена математична модель руху повітряного судна по покриттю.

**Ключові слова:** коефіцієнт зчеплення, злітно-посадкова смуга, вимірювальне колесо, умови гальмування, покриття, аеродром, повітряне судно, фрикційні властивості.

**Аннотация.** В работе проанализированы существующие средства измерения фрикционных свойств аэродрома. Рассмотрена необходимость введения нормативного значения коэффициента сцепления. Приведена математическая модель движения воздушного судна по покрытию.

**Ключевые слова:** коэффициент сцепления, взлетно-посадочная полоса, измерительное колесо, условия торможения, покрытие, аэродром, воздушное судно, фрикционные свойства.

**Abstract.** The paper analyzed the existing instruments for measuring the frictional properties of airfields. The need for a normative values of the coefficient of friction are considered. Shows a mathematical model of the motion of the air on the coating.

**Keywords:** friction coefficient, runway, measuring wheel braking conditions, coverage, airfield, aircraft friction properties.

### Вступ

Коефіцієнт зчеплення (КС) поверхні наземного покриття, що визначає міру зчеплення її з колесами транспортного засобу, в усьому світі є предметом дослідження і виробництва робіт по його виміру і збільшення на поверхні злітно-посадкових смуг (ЗПС) аеродромів та автодорожніх покриттів шляхом нанесення поперечних насічок і застосування високофрикційних матеріалів з

метою підвищення безпеки посадки повітряних суден і руху транспортних перевезень.

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

**Методи вимірювання коефіцієнта зчеплення за допомогою гальмування автомобіля.** Існуючі методи оцінки зчіпних властивостей покриттів мають в своєму складі чотири основні - метод РОСДОРНДІ, за допомогою гальмування автомобіля, з використанням спеціальних причепних приладів, та метод безконтактної оцінки покриття.

- **метод "РОСДОРНДІ"** – заключається у вимірюванні ординати мікропрофілю поверхні покриття за допомогою профілометра, за якими визначають залежність  $y = f(x)$ , що описує мікропрофіль на фіксованому проміжку. З цієї залежності визначають довжину кривої мікропрофілю і параметри  $K_i$  шорсткості дорожнього покриття за розрахунковими формулами. Прилад дозволяє спростити і здешевити метод вимірювання, а також усунути необхідність зволоження покриття.

У пропонованому методі визначення коефіцієнта зчеплення покриття, вимірюються геометричні параметри шорсткості сухого або мокрого покриття; ці параметри виводяться на пристрій відображення; за цими параметрами обчислюються показники шорсткості покриття шляхом отримання реалізації профілю (або ряду профілів) поверхні, обчислення довжини реалізації цього профілю (довжин реалізації) або похідною цієї реалізації (цих реалізації); обчислюються значення коефіцієнта зчеплення по регресійній кривій і отримані коефіцієнти зчеплення виводяться на індикатор. [1]

До методів вимірювання за допомогою гальмування автомобіля

**метод динамічного гальмування** – електродвигун працює в генераторному режимі, при цьому вимірююче колесо котять по поверхні покриття, а його механічна енергія обертання передається на генератор постійного струму, перетворюється в електричну і виділяється у вигляді теплової енергії в активному навантаженні при цьому визначають нормальне навантаження  $P$  вимірювального колеса на поверхню аеродромного покриття,

що відрізняється тим, що додатково визначають подовжню силу зчеплення ( $P_{зч}$ ) вимірювального колеса з поверхнею аеродромного покриття при заданій пробуксовці (прослизанні) вимірювального колеса, коли маточина вимірювального колеса через каретку впливає на датчик сили, при стабілізації нормального навантаження  $P$  вимірювального колеса на поверхню покриття значення коефіцієнта динамічного гальмування  $k$  визначають при таруванні пристрою, при цьому максимальне значення коефіцієнта зчеплення ( $K_{зч.max}$ ) обчислюють за формулою:

$$K_{зч.max} = \frac{P_{зч}}{P} k, \quad (1)$$

де  $K_{зч.max}$  - максимальне значення коефіцієнта зчеплення вимірювального колеса з поверхнею аеродромного покриття

$P_{зч}$  - подовжня сила зчеплення вимірювального колеса з поверхнею аеродромного покриття, виміряна датчиком сили, при заданому значенні пробуксовки (прослизанні) вимірювального колеса, Н;

$P$  - нормальне навантаження вимірювального колеса на поверхню аеродромного покриття, Н;

$k$  - коефіцієнт динамічного гальмування, який обчислюють при таруванні пристрою.

- **метод гальмування** - по поверхні штучного покриття котять вимірювальне колесо, яке гальмують відповідно до стану поверхні покриття, при цьому визначають нормальну силу  $P$  навантаження вимірювального колеса на поверхню покриття, що відрізняється тим, що додатково визначають момент сили гальмування ( $M$ ), створований електромагнітним гальмом або іншим пристроєм гальмування, і момент сили зчеплення ( $M_g$ ) вимірювального колеса з поверхнею покриття, а потім постійно підтримують рівність моменту сили гальмування ( $M$ ) і моменту сили зчеплення ( $M_g$ ) ( $M = M_g$ ), при цьому між вимірювальним колесом і поверхнею штучного покриття отримують максимальне гальмівне зусилля  $P_{гал.max}$ , яке дорівнює силі зчеплення  $P_{зч}$  вимірювального колеса з поверхнею покриття ( $P_{гал.max} = P_{зч}$ ,  $P_{зч} = P \cdot K_{зч}$ ); коефіцієнт зчеплення розраховують за формулою:

$$K_{зч.max} = \frac{M_g}{P \cdot R}, \quad (2)$$

де  $K_{зч.маx}$  - максимальне значення коефіцієнта зчеплення вимірювального колеса з поверхнею аеродромного покриття;

$M_g$  - момент сили зчеплення вимірювального колеса з поверхнею покриття, Н·м;

$P$  - нормальне навантаження вимірювального колеса на поверхнею аеродромного покриття, Н;

$R$  - радіус вимірювального колеса, м. [2]

- **метод безконтактного вимірювання коефіцієнта зчеплення** – полягає у вимірюванні коефіцієнта зчеплення за допомогою спеціального мобільного датчика, який встановлюється на даху автомобіля і сканує поверхню покриття. Результати вимірювання реєструються за допомогою операційної системи Android або Apple та виводяться на екран планшетного пристрою. Результати вимірювань зберігаються в базі даних комп'ютера оператора.

**Прилади для визначення коефіцієнта зчеплення.** У авіапідприємствах усього світу вимірювачі коефіцієнта зчеплення буксирувані або встановлені на автомобілі виробляють завмер  $K_{зч}$ , прокочуючи вимірювальне колесо (ВК) по поверхні ШЗПС з фіксованим рівнем пригальмовування, а саме ковзання ВК під час руху. На ці вимірники коефіцієнта зчеплення маються набір вимог і параметрів ІКАО, який зумовлює умови експлуатації та особливості конструкції. [3]

В основі принципу роботи вимірювачів коефіцієнта зчеплення ASFT SAAB 9.5, Skiddometer BV-11, 6875 RFT, Douglas Mu-Meter лежить жорсткий зв'язок ВК з несучими колесами однієї осі жорстко пов'язаними між собою. В результаті чого не забезпечується безперервний режим виміру  $K_{зч}$  внаслідок не постійного рівня коефіцієнта ковзання вимірювального колеса:

- при русі по поверхні ШЗПС з гармонійними нерівностями (лід, сніг, вода, забруднення і т. п.) Під вимірювальним та опорними (несучими) колесами;

- залежна підвіска викликає самозбудні наростаючі коливання ( $\sim 410$ Гц) несучих коліс в діаметральній площині (Вобблінг). [4]

Так як принцип виміру коефіцієнта зчеплення цих вимірників опосередкований (обумовлений жорсткої кінематичної зв'язком вимірювального колеса з несучими), то вимірний  $K_{зч}$  залежить від діаметрів вимірювального колеса і несучих коліс, зміни розмірів, форми, маси або стану

ланцюгової передачі в слідстві руйнування (зношування) поверхневого шару при терті, температури навколишнього середовища і механізмів, ефекту «Шиммі» (Вобблінга).



**Рисунок 1** – Буксирований вимірювач коефіцієнта зчеплення



**Рисунок 2** – Будова залежної підвіски вимірювача

Внаслідок вищевказаних недоліків оцінка відхилення виміряного значення коефіцієнта зчеплення від його істинного значення істотно залежить від стану поверхні ШЗПС (лід, сніг, вода, забруднення і т. П.) Під вимірювальним та опорними (несучими) колесами і становить  $\pm 0,1 - 0,15$  од.  $K_{зч}$  (вимоги ІКАО -  $0,05$  од.  $K_{зч}$ ).

Тому ці вимірники коефіцієнта зчеплення рекомендовані Міжнародною організацією цивільної авіації для використання з метою отримання довідкової інформації для здійснення ремонту ШЗПС, а не для прогнозування гальмування літаків [3].

**Математичне моделювання руху повітряного судна по злітно-посадковій смузі.** Впровадження математичного моделювання в практику авіаційних досліджень гальмується недостатньою інформаційної забезпеченістю таких складних систем (недостатньо достовірне знання

аеродинамічних характеристик ПС, характеристик двигунів і шасі, вельми грубе знання зовнішніх умов). Вирішення цієї проблеми пов'язано з розробкою все більш складних, комплексних та трудомістких методів ідентифікації характеристик ПС на шляху створення математичних моделей, заснованих на фізично вичерпному описі основних явищ і процесів і реалізують так званий принцип "оптимальної неточності". На цьому напрямку досягнуто певних успіхів, що дозволяють вже сьогодні в ряді випадків ідентифікувати не тільки індивідуальні особливості ПС, а й незареєстровані зовнішні умови.

Численні розрахункові експерименти на математичні моделі літаків Іл-96-300, Іл-96Т і Ту-154 показали систематичне відхилення значень коефіцієнта зчеплення від заміряних на ЗПС під час ЧИ. Крім того, виявилось нереальним використання значень коефіцієнта зчеплення поза діапазону [0,21 - 0,75] для руху по ЗПС без глісування.

Тому для уточнення коефіцієнту зчеплення застосовується математична модель яка представлена нижче.

Статистичний аналіз експериментальних даних граничного коефіцієнта зчеплення.

За основу взята апроксимація РКІІ ГА:

$$\mu_{np} = \mu_{ВПП} \sqrt{\mu_{ВПП} - 0,25} + \left( -\sqrt{\mu_{ВПП} - 0,25} e^{0,02(v-40)} \right), \quad (2)$$

де швидкість задається в км / год. Ця апроксимація складена таким чином, щоб при швидкості 40 км / год  $\mu_{np}$  приймала значення  $\mu_{ВПП}$ . Крім того, в цьому вираженні мається на увазі той факт, що виміри на слизькій ВПП на практиці не призводять до значень  $\mu_{ВПП} \leq 0,25$

Для аналізу представимо цей вираз в більш загальному вигляді

$$\mu_{np} = M_{np}(\mu_{ВПП}, P_{nn}) \sqrt{M_{np}(\mu_{ВПП}, P_{nn}) \mu_0} + \left( -\sqrt{M_{np}(\mu_{ВПП}, P_{nn}) \mu_0} \right) \cdot e^{0,02(v-40)} - b, \quad (3)$$

де швидкість вимірюється в км/год, а значення  $M_{np}(\mu_{ВПП}, P_{nn})$ ,  $\mu_0$ ,  $a$  і  $b$  будуть вибиратися на основі регресійного аналізу.

$$M_{np} = 0,16 - e^{-7,4 \cdot 0,1 \cdot P_{nn}^8} + 0,58 \text{ для сухої ЗПС} \quad (4)$$

$$M_{np} = 0,20 - e^{-62,7 \cdot 0,1 \cdot P_{nn}^8} + 0,40 \text{ для мокрої ЗПС} \quad (5)$$

$$M_{np} = 0,16 - e^{-41 \cdot 0,1 \cdot P_{nn}^8} + 0,37 \text{ для ЗПС з мокрим снігом} \quad (6)$$

де  $\mu_0$  - поправка, 0,25;

$a$  – плече поздовжнього зміщення нормальної реакції поверхні ЗПС;

$b$  – плече поперечного зміщення нормальної реакції поверхні ЗПС;

$$a = k \cdot \left( 0,000059 + 0,00033 \cdot e^{\frac{b_{nn}^2 - 5,86^2}{600}} \right) \text{ для сухої та мокрої ЗПС} \quad (7)$$

де  $k = 0,79 + 0,35 \mu_{ВПП}$

$$a = 0,000105 + 0,000399 \cdot e^{\frac{b_{nn}^2 - 7,928^2}{600}} \text{ для ЗПС з шаром снігу} \quad (8)$$

$$b = 0,22 \cdot e^{\frac{P_{nn}^4}{6700}} + 0,17 \text{ для сухої ЗПС} \quad (9)$$

$$b = 0,23 \cdot e^{\frac{P_{nn}^4}{1400}} + 0,12 \text{ для мокрої ЗПС} \quad (10)$$

$$b = 0,03 \cdot e^{\frac{b_{nn}^2 + 5,9^2}{900}} + 0,17 \text{ для ЗПС з шаром снігу} \quad (11)$$

де  $e$  – обчислення пневматика. [5].

### Висновки

В даний час в області фінансування методів оцінки зчепних властивостей аеродромних і дорожніх покриттів склалося складне становище. Воно полягає в тому, що в кожній країні, в тому числі і в Україні, створено багато приладів, що мають абсолютно різні принципи роботи і основні технічні характеристики. Тому виміряні за допомогою кожного з цих пристроїв коефіцієнти зчеплення різко відрізняються між собою. Все це вносить плутанину при використанні результатів оцінки гальмування на ЗПС. Дані проблеми вітчизняної авіації потребують негайного їх вирішення. Так як Україна не користується міжнародними нормами ІКАО, потрібно дослідити і вирішити необхідність введення нових експлуатаційних норм і показників. Положення, що створилося

особливо неприйнятно для цивільної авіації. І якщо для дорожньої галузі в якійсь мірі достатня внутрішньодержавна стандартизація засобів і методів оцінки зчпних властивостей дорожніх покриттів, то для цивільної авіації нагальною потребою є стандартизація в цьому питанні в міжнародному масштабі.

Проаналізовано існуючі методи визначення коефіцієнта зчеплення. Аналіз показав, що найкращим і найточнішим методом являється визначення коефіцієнта зчеплення за допомогою спеціальних приладів.

### **Література**

1. Проектування аеропортів: підруч. Для студ. вищ. Навч. закл./ М.Ф. Дмитриченко, М.М. Дмитрієв, О.М. Папченко [та ін.]. – К.: НТУ, 2010. – 248 с.: іл.. – Бібліогр.: 239 – 240 с.

2. Запорожець В.В., Шматко М.П. Аеропорт: організація, технологія, безпека: Навч. посібник. – К.: Дніпро, 2002.

3. Руководство по аэропортовым службам. Часть 2. Состояние поверхности покрытия : Doc 9137-AN/898. – Издание четвертое – ICAO, 2002. – IV, 126 с. – (Нормативный документ Международной организации гражданской авиации. Руководство).

4. Состояние поверхности ВПП : оценка, измерение и представление данных: Cir 329-AN/191. – ICAO, 2012., 68 с. – (Нормативный документ Международной организации гражданской авиации. Руководство).

5. Кубланов М.С. Математическое моделирование задач летной эксплуатации воздушных судов на взлете и посадке: Монография. – Москва – 2013.

#### **Рецензенти:**

Павлюк Д.О., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.  
Кизима С.С., канд. техн. наук, Національний транспортний університет.

#### **Reviewers:**

Pavliuk D.O., Dr. Tech. Sci., National Transport University.  
Kyzyma S.C., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **22.06.2016 р.**

УДК 625.7

**Tymchenko Olga**, Candidate of Engineering Science (Ph.D.)

## **DETERMINING SNOW CAPACITY OF SNOW PROTECTION FACILITIES ON ROADS IN THE MOUNTAINOUS AREA**

**Анотація.** У статті розглядаються засоби захисту від снігу. Метою даної роботи є визначення снігового потенціалу засобів захисту снігу на дорогах у гірській місцевості. Для проведення теоретичних досліджень були застосовані аналітичні методи. У статті представлений загальний вигляд формул для визначення снігозатримуючої спроможності та снігомісткості снігозахисних засобів за допомогою добре відомих геометричних параметрів і були запропоновані захисні засоби проти заметів.

**Ключові слова:** снігомісткість, снігозатримуюча спроможність, снігозахисний засіб, сніговідкладення, автомобільна дорога у гірській місцевості.

**Аннотация.** В статье рассматриваются средства защиты от снега. Целью данной работы является определение снежного потенциала средств защиты снега на дорогах в горной местности. Для проведения теоретических исследований были применены аналитические методы. В статье представлен общий вид формул для определения снегозадерживающей способности и снегоемкости снегозащитных средств с помощью хорошо известных геометрических параметров и были предложены защитные средства против заносов.

**Ключевые слова:** снегоемкость, снегозадерживающая способность, снегозащитное средство, снегоотложение, автомобильная дорога в горной местности.

**Abstract.** The article deals with the snow capacity of snow protection facilities. The purpose of the given work is to determine the snow capacity of snow protection facilities on roads in the mountainous area. To carry out theoretical studies there were applied analytical methods. The article presents a general form of formulas for determining the snow-retaining capacity and the snow capacity of snow protection

facilities through well-known geometrical parameters and there were offered protective means against snowdrift.

**Keywords:** snow capacity, snow-retaining capacity, snow protection facility, snow sediment, road in the mountainous area.

## **1. Introduction**

An effective method of snow control on the roads is preliminary snow retention. For example, one forest belt with four lines can hold up to 150 m<sup>3</sup> of snow. Wind breaks on the roads are often arranged close to the roadbed, so contributing to snow drifts on the roads. The road in such cases is within the zone of intensive formation of snow deposits.

To resolve this problem, it is necessary to reconstruct the existing snow control landscaping, which is associated with the allocation of land, the value of which is growing rapidly. This puts temporary facilities that do not require land on the forefront of the snow-drift control.

## **2. Analysis of research and publications**

The most common way of snow-drift control is temporary wooden latticework panels that in the course of a 120-year period of application have outdated by all indicators. They have a number of significant drawbacks. It is a small snow capacity and snow drift, which determines a great complexity in their operation. For a long time, the use of such tools have proved to be ineffective due to insufficient development of the theory of formation of snow deposits because of the high complexity and low scrutiny of the process of high-drag barriers interaction with one- and two-phase gas flows. Despite a large number of studies, up to the present moment there has not existed a theoretical way to determine the basic operational performance of snow protection facilities such as snow-retaining capability and snow capacity that can be determined only experimentally (Goncharenko 1999).

It is known that formation of snow deposits is due to the braking action of obstacles against the oncoming snow-wind stream. This action takes place on a particular part of the length and height of the flow on both sides within some limits of the zone of aerodynamic effects. The larger the zone is, the longer the length of the stream will be where the speed is reduced, and the more snow deposits will be formed around the obstacles (Bileush 2000, Byalobzheskij 1983).

To identify the space and evaluate the frequency of avalanches is only possible owing to characteristic signs that they leave behind them if the chutes, on which avalanches occur, are devoid of vegetation and have distinct shapes.

In the case of gentle slopes and small pools snow mass gathering can be prevented using the transverse defensive walls and stone outfitting (Byalobzheskij 1983). In some cases, if there is a favorable terrain, the avalanche can be directed to one side of the road, using protection walls, avalanche-breakers. Avalanche dams are constructed in the form of mounds with securely fenced slopes from 10 m to 15 m.

Capital structures that securely protect the roads from snow avalanches are galleries (Kungurcev 1961). Galleries are designed on steep slopes. The roof of the gallery is designed in the form of a lean-to roof equal to or greater than the downhill slope. This design provides free skidding of snow mass on the roof without effort.

Galleries are mainly constructed closed made of prefabricated concrete elements.

**The work purpose** - to determine the snow-capacity of snow retaining facilities on the roads in mountainous areas. To carry out theoretical studies there were applied analytical methods.

### **3. Research of snow capacity of snow retaining facilities**

According to the theory of turbulent stream, the length of the windward zone and the leeward zone of aerodynamic performance is a function of the square of the mid section of the obstacle, which can be expressed in terms of height (Kungurcev 1961).

In accordance to the experimental data collected during numerous studies, the length of windward deposits in the proximity of any snow-retaining facilities approximately equals 10 heights of the obstacle (Kungurcev 1961). This allows to consider with sufficient accuracy

$$l = C_1 H_0, \quad (1)$$

where  $l$  – length of the windward part of snow deposits, m;

$C_1=10$  – dimensionless constant factor;

$H_0$  – height of snow-retaining facility, m.

Regarding the leeward zone, where a larger part of the joint volume of snow deposits is formed, until recently there has not been a consensus about its size even according to experimental data.

The process of obstacle interaction with a biphasic snow-wind flow over time is accompanied by the solid snowfall phase, i.e. formation of snow deposits on both sides. Increasing the height of windward snow deposits defines proportional reduction of the obstacle that interacts with an oncoming flat snow-wind flow. This pattern can be written in the form

$$d(F_0 - F) = Zdh_n, \quad (2)$$

where  $F_0$  – mid sectional area of the obstacle,  $m^2$ ;

$F$  – area of interaction of the obstacle with the flow,  $m^2$ ;

$Z$  – unit of length,  $m$ ;

$H_n$  – height of snow deposits on the leeward side,  $m$ .

At a constant speed of the blizzard the deposited amount of snow per unit of time or increase of the volume of snow deposits is permanent. For each meter of the snow-protection line length there is brought a certain amount of snow, which is equal to the total flow of the blizzard  $Q_{max}$ ,  $m^3/s$ .

According to numerous experiments the longitudinal profile of snow deposits before snow accumulation by barriers has the shape of a triangle (Bileush 2000, Kungurcev 1961). Increase of the volume of snow retention therefore spreads over slightly extending space of formed snow deposits. In addition, over time the amount of snow that moved past the barrier due to reducing of  $F$  increases, so the process of snow deposits heightening can be written in the form of the following dependence

$$h(T) = a_3T^3 + a_2T^2 + a_1T + a, \quad (3)$$

where  $h$  – height of snow deposits,  $m$ ;

$a...a_3$  – constant dimensionless coefficients;

$T$  – time,  $s$ .

For snow protection it is recommended to use barriers that are flushed from below with a clearance space of 0.3 - 0.5 (Byalobzheskij 1983). According to the authors' data and (Goncharenko 1983), barriers with smaller of the given values of clearance have a higher snow capacity and greater sparsity of the bottom of the midsection area. In these cases, the following dependence is typical

$$dh_n = dh_p, \quad (4)$$

where  $h_p$  – height of the leeward side of snow deposits, m.

According to the theory at a constant speed the length of snow deposits from the downwind side of barriers do not change over time (Bileush 2000). In accordance with the experimental data obtained by the authors and other researchers, the length of snow deposits remains virtually unchanged in the range of velocities of 6-15 m/s. In view of this and the triangular form of the profile of snow deposits, using expressions (2) - (3) we present the formula for determining the snow-retaining capacity of barriers:

$$N = C_3 F_0 \frac{dh}{dT}, \quad (5)$$

where  $N$  – snow retaining capacity,  $m^3/s$ ;  $C_3 = C_1 + C_2$  - dimensionless constant coefficient.

Integrating formula (5), we obtain a formula for determining the snow capacity of snow-retaining facilities:

$$W = C F_0 \int_0^T dh, \quad (6)$$

According to the theory (Byalobzheskij 1983) and the data obtained by the authors the height of snow deposits at the final moment of time  $T_c=T$  of the process of snow deposits formation equals the height of the snow-retaining facility, that is

$$h_e = I_0. \quad (7)$$

This makes it possible to submit a general form of expressions for determining the snow-retention capability and the snow capacity of snow protection facilities through the known geometrical parameters. Substituting in formulas (5) - (6)  $\frac{dh}{dT}$  for  $\frac{dF}{dT}$  in accordance with formula (2), after some transformations we obtain

$$N = C_5 F_0 \frac{d(F_0 - F)}{dT}, \quad (8)$$

where  $C_5 = \frac{5}{Z} \left( \frac{1}{1-P} + 22,5 \right)$  - dimensionless coefficient;

$P$  – clearance space of the snow protection facility in fractions of a unit.

Then

$$W = C_5 F_0, \quad (9)$$

The validity of expression (9) is confirmed by experimental data obtained by the authors and other researchers. Thus, according to the expression (9) the maximum snow capacity of wooden lattice shields with  $P = 0.3$  is  $36.16 \text{ m}^3$ , and according to the majority of authors, it is  $36 \text{ m}^3$  (Bileush 2000, Kungurcev 1961).

Avalanche protection structures rely on vertical and horizontal components of the pressure from the impact and weight of snow slide (Kungurcev 1961).

To determine the approximate estimated speed of an avalanche they use formula:

$$v = \sqrt{2qz}, \quad (10)$$

where  $z$  - the distance that is determined, using the dependence

$$z = H_A - \frac{H}{L} l_A, \quad (11)$$

The parallel pressure angle,  $\text{N/m}^2$  on the surface of the avalanche-breaker, blasting dam or the direction wall is determined by the formula:

$$P_r = \frac{\gamma v^2}{2q} \sin^2 \alpha, \quad (12)$$

where  $\gamma$  - the proportion of snow,  $\text{N/m}^3$ ; for snow that has just fallen,  $\gamma = 0,3 \cdot 10^4 \text{ N/m}^3$ ; for old snow  $\gamma = 0,4 \cdot 10^4 \text{ N/m}^3$ ; for wet snow  $\gamma = 0,5 \cdot 10^4 \text{ N/m}^3$ ;

$\alpha$  - the angle between the direction of avalanches and surface structures, deg.

Avalanche pressure on the roof of galleries is determined by the formula:

$$P_b = \gamma h_b \cos \beta, \quad (13)$$

where  $h_b$  - the thickness of the avalanche layer;

$\beta$  - gallery roof angle to the horizontal plane.

#### 4. Conclusions

1. To develop effective recommendations for protection of roads in the mountainous area from snowdrifts it is necessary to determine the snow capacity of snow protection structures.

2. According to recommendations (MR R B.2.3-218-02071168-776:2010) we will adopt the following protective measures against snowdrift: placement of walls and other structures to prevent blowing of snow from the surrounding areas into basins that prevents the accumulation of snow on the slopes and in ravines; afforestation of snow retention pools, placing ditches, walls, retaining walls along the movement of snow to prevent its replacement; snow mass removal by guide walls sideward away from the structure to be protected.

#### References

1. Гончаренко, Ф.П.; Прусенко Є.Д.; Скорченко В.Ф. 1999. Експлуатаційне утримання та ремонт автомобільних доріг за складних погодних та екологічних умов [Goncharenko, F.P.; Prusenko E.D.; Skorchenko V.F. *Operating maintenance and repair of highways at difficult weather and ecological terms*]. Київ. 264 с.
2. Білеуш, А.І.; Ніщук, В.С.; Штекель, А.С. 2000. Інженерний захист та освоєння територій. Довідник [Bileush A.I., Nishhuk V.S., Shtekel` A.S. *Engineering defence and mastering of territories. Reference book*]. Київ: Основа. 329 с.
3. MR R B.2.3-218-02071168-776:2010 Методичні рекомендації щодо методів захисту від стихійних лих автомобільних доріг у гірській місцевості [*Methodical recommendations in relation to the methods of protecting from the natural calamities of highways in the mountainous area*]. 51 с.
4. Бялобжеский, Г.В.; Дюнин, А.К.; Плакса, Л.Н. 1983. Зимнее содержание автомобильных дорог [Byalobzheskij G.V., Dyunin A.K., Plaksa L.N. *Winter maintenance of highways*]. Москва: Транспорт. 198 с.
5. Кунгурцев, А.А. 1961. Проектирование снегозащитных мероприятий на дорогах [Kungurcev A.A. *Designing of snow-screen measures on roads*]. Москва: Автотрансиздат. 108 с.

#### Рецензенти:

Павлюк Д.О., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.  
Гончаренко Ф.П., канд. техн. наук, ДП "Укрдипроддор".

#### Reviewers:

Pavliuk D.O., Dr. Tech. Sci., National Transport University.  
Honcharenko F.P., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), "Ukrdiprodor".

Стаття надійшла до редакції: 24.06.2016 р.

УДК 625.7/.8 : 338

Харченко А.М., канд. техн. наук, Мелещук Т.П.

## **ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ФОРМУЛЮВАННЯ ВИМОГ ДО ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ДОРІГ**

**Анотація.** Стаття розкриває основні принципи формулювання вимог до експлуатаційного стану елементів доріг в рамках здійснення довгострокового контракту на дрібний поточний ремонт і утримання доріг, заснованого на кінцевих показниках якості.

Об'єкт дослідження – вимоги до експлуатаційного стану елементів доріг.

Метою статті є визначення основних принципів формулювання вимог до експлуатаційного стану елементів доріг.

Приведені у статті рекомендації щодо формулювання вимог до експлуатаційного стану доріг та їх елементів можуть бути застосовані при реалізації довгострокових контрактів на дрібний поточний ремонт та експлуатаційне утримання доріг, які засновані на кінцевих показниках якості, в дорожній галузі України за умови забезпечення їх відповідності діючим нормативно-правовим актам та нормативно-технічних документам.

**Ключові слова:** вимоги, експлуатаційний стан, довгостроковий контракт, рівень обслуговування, рівень втручання.

**Аннотация.** Статья раскрывает основные принципы формулировки требований к эксплуатационному состоянию элементов дорог в рамках осуществления долгосрочного контракта на мелкий текущий ремонт и содержание дорог, основанного на конечных показателях качества.

Объект исследования - требования к эксплуатационному состоянию элементов дорог.

Целью статьи является определение основных принципов формулировки требований к эксплуатационному состоянию элементов дорог.

Приведенные в статье рекомендации по формулированию требований к эксплуатационному состоянию дорог и их элементов могут быть применены при реализации долгосрочных контрактов на мелкий текущий ремонт и эксплуатационное содержание дорог, которые основаны на конечных

показателях качества, в дорожной отрасли Украины при условии обеспечения их соответствия действующим нормативно-правовым актам и нормативно-техническим документам

**Ключевые слова:** требования, эксплуатационное состояние, долгосрочный контракт, уровень обслуживания, уровень вмешательства.

**Abstract.** The article reveals the basic principles of formulating requirements to the conditions of elements of roads under long-term contracts to repair and maintenance of roads, based on the final terms of quality.

Object of study - the requirements to the conditions of roads elements.

The article is to define the basic principles of formulating requirements to the conditions of roads elements.

Given in article recommendations for the formulation of requirements to the conditions of roads and their elements can be used in the implementation of long-term contracts for minor maintenance and operational maintenance of roads, which are based on the final terms of quality in the road sector in Ukraine, provided that their compliance with applicable laws and regulations and regulatory and technical documents.

**Keywords:** requirements, conditions, long-term contracts, service level, intervention level.

**Постановка проблеми.** Відсутність належного утримання доріг через багаторічну економічну кризу призвело до погіршення стану понад 50% автомобільних доріг державного значення України за оцінками вітчизняних експертів. Тому основними напрямками держави на найближчі роки є орієнтація на відновлення дорожньої мережі, покращення безпеки доріг, а також дотримання вимог з охорони навколишнього середовища. Проте, доведення стану доріг до мінімально-допустимого – це, як доводить практика, тільки необхідна умова, але недостатня для повноцінного відновлення і функціонування дорожньої мережі. Такою умовою, згідно світового досвіду, є якісне довгострокове експлуатаційне утримання доріг.

В даний час більшість країн для виконання робіт з поточного дрібного ремонту та утримання доріг ефективно застосовують контракти, засновані на показниках якості виконуваних робіт (ДККП). В Україні в даний час створюється ряд передумов до впровадження таких контрактів. Але дорожня

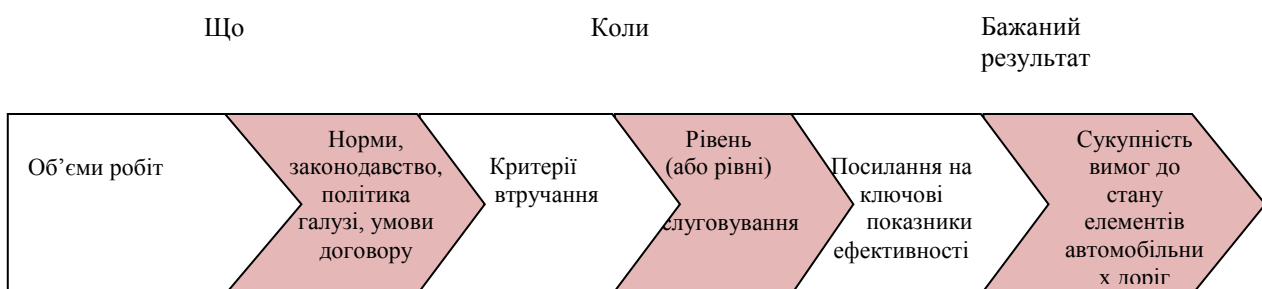
галузь лише на початку впровадження контрактів ДККП, необхідно ще виконати багато кроків на шляху до їх повноцінної реалізації в Україні, одним з яких є визначення обґрунтованих вимог до експлуатаційного стану елементів вітчизняних доріг.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Принципам формулювання вимог до експлуатаційного стану елементів доріг приділено значну увагу в наукових працях зарубіжних вчених, таких як Н. Станкевич, Н. Кюреші, Ц. Кейроз, А. Гаярел, Т. Портер, С. Паркман, Й. Халлет, Т. Хеннінг, М. Таппер, О. Еллефсен, Г. Зіетлов; та в роботах вітчизняних науковців: О.П. Каніна, А.М. Харченко, Н.М. Соколової і А.Ю. Шпиг.

**Постановка завдання.** Метою статті є визначення основних принципів формулювання вимог до експлуатаційного стану елементів доріг.

**Виклад основного матеріалу.** В результаті еволюційного розвитку контрактів з поточного дрібного ремонту та утримання доріг з'явилися вимоги до експлуатаційного стану елементів доріг. У звітах та керівництвах Світового Банку, вимоги до стану доріг дістали назву «ключові показники ефективності» (key performance indicators – KPI). Паралельно вживається термінологія: «рівень обслуговування» чи «рівень сервісу» (service level, level of service (LOS), performance levels), «стандарти якості» (performance standards, performance service indicator - PSI)[1,2,3,4].

Формування вимог до стану доріг згідно зарубіжного досвіду можна представити у вигляді схеми (рис. 1) [5,6].



**Рисунок 1** – Формування вимог до стану автомобільних доріг

Рівень обслуговування задається комбінацією робіт з утримання, визначених для кожного елемента дороги або для кожного компонента поточного ремонту. Далі, залежно від інтенсивності руху визначаються різні рівні обслуговування для аварійних робіт і зимового утримання [7].

Рівень обслуговування (РО) – це показник, що визначає діапазон умов експлуатації конкретного виду елемента автомобільної дороги [8,9,10,11]. Він

може бути встановлений як загальний, так і окремо для кожного елемента автомобільної дороги.

Також, рівень обслуговування класифікують на [12]:

- бажаний рівень (найвищий рівень фінансування);
- прийнятний рівень;
- допустимий рівень (найнижчий рівень фінансування, встановлюється відповідно до гранично допустимих вимог до експлуатаційного стану елементів автомобільних доріг).

Показники та вимоги до стану елементів автомобільної дороги, які застосовуються в довгострокових контрактах, заснованих на кінцевих показниках (ДККП) і формують рівень обслуговування можуть бути наступні [13]:

- міжнародний індекс рівності (IRI) для вимірювання рівності дорожнього покриття, що впливає вартість експлуатації транспортних засобів;
- відсутність вибоїн, контроль тріщин і колійності, як факторів безпеки і якості покриття;
- значення коефіцієнта зчеплення;
- об'єм замулення або засмічення системи дренажу;
- пошкодження дорожніх знаків і розмітки.

Як правило, у довгострокових контрактах ДККП передбачається від 20 до 100 показників, що формують рівень обслуговування.

Наприклад, до системи кінцевих показників деяких американських штатів відносяться (FHWA 2002) [1]: сітка тріщин, випотівання покриття, блочні тріщини, ямкові області, розтріскування країв поїзної частини, розшарування, поздовжні та поперечні тріщини, вибоїни, колії, рівність, виполірування покриття, зсуви шарів дорожнього одягу, випаровування та ін.

Приклад таблиці оцінки кінцевих показників, вимог (стандартів), і часу відгуку наведено в табл. 1. [14, 15,16]

Під час обґрунтування контрактів з експлуатації доріг значення рівня обслуговування може варіювати залежно від поставлених задач. Це можуть бути мінімально допустиме значення стану, нижче якого виникає загроза безпеці руху або збереженню елемента дороги, тригери (значення рівня втручання, коли доцільно виконувати той чи інший вид ремонтних дій), цільові рівні втручання, яких потрібно досягти.

Таблиця 1 – Фрагмент системи оцінювання кінцевих показників

Актив	Дефект/ індикатор / вимоги до стану та рівень втручання	Час відгуку	Фактори, що призводять до зміни критеріїв втручання
1	2	3	4
А/б покриття	Вибіони Діаметр > 150 мм - 300 мм Глибина 10 – 50 мм	Негайно, якщо небезпечні для руху 1 день – 2 тижні Залежно від класу доріг	Ризикдля користувачів Клас дороги Пора року, сезон
	Розтріскування 2 – 5мм завширшки Довжини абоплощав 10км	2 – 7днів(у зоні ковзання) 4 тижні –6місяців (залежновід типу, тяжкості іступеня)	Проникненнявологив покриття Рівень безпеки Клас дороги
	Тріщинишириною 100– 600 мм При глибині> 50 – 75 мм	Негайно 3 місяці	Розміщення/небезпека Глибинатріщини Розмірдефекту Клас дороги
	Вишаровування Глибина30- 50 мм	Відразу– (небезпекадляруху) Від 2 днів до 2 тижнів	Небезпекадля руху Клас дороги
	Інші руйнування покриття за видами	1 день – 30 днів (небезпека для руху) Від 3 місяців до 12 місяців	Розміщення Ступінь безпеки Клас дороги
	Зчіпні якості Значеннязмінюються залежновід ділянки	6місяців	Клас дороги Наявність перетинів
	Рівність Значеннязмінюються залежновід ділянки	Загальний рівеньвтручання	Швидкісний режим Клас доріг Інтенсивність руху
Підземний дренаж	Відсотоквратисмності Структурні пошкодження(ерозія, тріщини, відшаровування)	1 день– 28 днів Відразу– 1 день (небезпека) 1 тиждень– 42днів (інші випадки)	Ступіньблокування ітипдороги, рівеньризикудляавтомобілістів, пішоходів і облаштування дороги, споруд
Поверхневий дренаж	Блокування, засмічення	5 – 7днів (небезпека) 1– 6 місяців(інші випадки)	Ймовірність пошкодженняпокриття, Ступінь виконання функцій щодо забору водиз проїжджої частини Класдороги %площіблокування
	Зовнішні пошкодження	14 днів –3 місяці	.....
Мости	Засмічення, випаровування фарби з відбійників	2 дні –4 тижні 2 тижні –6місяців	Вид матеріалу Розташування мосту Клас дороги
	Структурні пошкодження	1 день (небезпека для руху) 1 тиждень – 1 місяць	
	Інші пошкодження		.....
Дорожні знаки	Дефекти, які, у тому числі, впливають на функціональні характеристики знаків	Відразу(небезпекадляавтомобілістів), 24години –9 днів (інші)	Типзнаку Клас дороги
	Відсутній знак	1– 2днів (застережливий знак) 14 –30 днів (розпорядчий знак) 1 місяць(покажчик)	Типзнаку Клас дороги
	Інші пошкодження за видами	.....	.....
Інші активи	Пошкодження активів за видами	Час реагування залежно від ступеню безпеки	.....

Критерій втручання [17] складається з наступних понять:

- опису об'єкту та елементу дороги та місця його розташування;
- сезон року, в який виконується ліквідація пошкодження (Л – весняний-ліній-осінній; З – зимовий);
- одиниця виміру (альтернативні одиниці вимірювання, наприклад, діаметр вибоїни або площа або глибина) пошкодження або характеристика певного параметру, до якого застосовується рівень втручання (форма, рівень, матеріал тощо);
- рівень втручання – кількісний одномірний (наприклад, лінійний розмір) параметр, багатомірний (наприклад, максимальна кількість в штуках і лінійний розмір:  $\leq N$  вибоїн діаметром  $\geq L$ ) параметр або якісний параметр (наприклад, використання матеріалу не гіршої якості ніж прилеглий матеріал або вимога до форми);
- час відгуку в годинах або днях;
- штрафні бали за кожний випадок перевищення часу реагування на одиницю часу перевищення з можливим урахуванням інших умов (на 1 км або кількість ділянок тощо).

Стратегія обслуговування включає в себе курс дій, який складається з однієї дії або з декількох серій дій (робіт) з обслуговування, зазначених у часі або таких, що визначаються рівнем стану елементів дороги (рівень втручання). Дії з обслуговування – це дії дорожнього агентства або іншої організації для зменшення швидкості деградації дороги або ліквідація наслідків деградації. До цих дій відносяться капітальний ремонт, поточний середній ремонт, поточний дрібний ремонт та експлуатаційне утримання дороги.

Загальні вимоги до рівня транспортно-експлуатаційного стану автомобільної дороги визначаються на стадії її проектування, а на стадії експлуатації дороги цей рівень забезпечується, підтримується і при необхідності регулюється в результаті виконання дорожньо-експлуатаційної службою комплексу профілактичних, попереджувальних і ремонтно-відновлювальних робіт – втручання її в стан дороги. Таке втручання і є обслуговуванням дороги, якість якого можна характеризувати показником рівня обслуговування.

Розрахунок корисності, яка асоціюється із застосуванням ремонтних дій, потребує знань про очікувані зміни експлуатаційних якостей елементу дороги. Ефект впливу ремонту на експлуатаційні якості визначається зміною

індикатору стану, наприклад, такими як міжнародний індекс рівності (IRI), поточний індекс експлуатаційної надійності (PSI) або іншим визначеним вимірювачем експлуатаційних якостей. Індикатор стану (показник експлуатаційної якості) повинен мати такі характеристики [17]:

- бути вимірюваним;
- відображати експлуатаційну якість (особливо функціональні характеристики);
- змінюватись після виконання ремонту.

Згідно з [7] вимога з усунення дефекту – сукупність встановлених для дефекту елементу дороги критеріїв:

- максимально допустимого періоду між оглядами елементу дороги;
- рівня втручання – гранично допустимі величини параметрів дефекту, які обумовлюють необхідність усунення дефекту;
- терміну ліквідації – часу, протягом якого дефект повинен бути усунений. Дорівнює різниці між моментом усунення та моментом реєстрації дефекту, які вимірюються з точністю до хвилини.

Вимога з усунення дефекту і відповідний їй рівень обслуговування визначається на основі раціонального задоволення вимог споживачів таким, що відповідає нормативним вимогам або кращий від них при можливих витратах на поточний дрібний ремонт і експлуатаційне утримання.

### **Висновки**

Ефективне управління станом доріг загального користування через довгострокові контракти з поточного дрібного ремонту та утримання доріг за показниками рівня їх обслуговування можливе лише за допомогою своєчасного моніторингу транспортно-експлуатаційного стану, для чого необхідно обґрунтувати вимоги з усунення дефектів елементів автомобільних доріг державного значення, тобто, їх рівні обслуговування.

В сучасних умовах експлуатаційні рівні обслуговування можливо розробити на основі аналізу нормативних джерел, світового досвіду та інформації, отриманої від експертів.

### **Література**

1. Olav Ellevset. Output- and Performance-based Road Contracts (OPRC) / Olav Ellevset, Senior Transport Specialist The World Bank [Електроннийресурс] - Режимдоступу:<http://www4.worldbank.org/afr/ssatp/Resources/HTML/Conferences/Bamako05/Final-Report/Annex10-Presentations/02-Olav.pdf>
2. Output & Performance based Road Contracts (OPRC). An innovative way of outsourcing maintenance & asset management. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.slideserve.com/lana/output-performance-based-road-contracts-oprc>
3. Patricia Baquero. Practical Guidance to Procure Output- and Performance-Based Road Contracts (OPRC) under Bank-Financed Projects / Patricia Baquero Sr. Procurement Specialist OPCPR// Transport Forum and Learning Week, 2007.

4. Performance based contracting and improving the current contracting process final report / Troy Berkland And Lansford C. Bell // Department of Civil Engineering Clemson University, November. – 2007.
5. Tony Porter. International trends in procurement models for highway maintenance [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www-esd.worldbank.org/pbc\\_resource\\_guide/Docs-latest%20edition/cases-and-pdfs/inttrends.pdf](http://www-esd.worldbank.org/pbc_resource_guide/Docs-latest%20edition/cases-and-pdfs/inttrends.pdf)
6. Tony M Porter. Trends in the Procurement Models for Highway Maintenance. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www-esd.worldbank.org/pbc\\_resource\\_guide/Docs-latest%20edition/Received%2027%20Feb%20-%20case%20studies,%20docs%20to%20link/Porter\\_trends\\_in\\_procurement.pdf](http://www-esd.worldbank.org/pbc_resource_guide/Docs-latest%20edition/Received%2027%20Feb%20-%20case%20studies,%20docs%20to%20link/Porter_trends_in_procurement.pdf)
7. Методичні рекомендації з управління станом автомобільних доріг на основі довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та утримання доріг за показником рівня їх обслуговування: МР В.3.2-02070915-844:2014. – Київ: Укравтодор, 2014. – 42 с.
8. Thelevelofserviceconcept – США, 2002. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.i69dotd.com/DEIS/Appendix/Level%20of%20Service%20Definitions.pdf>
9. Levelofservice - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://en.wikipedia.org/wiki/Level\\_of\\_service](http://en.wikipedia.org/wiki/Level_of_service).
10. Levels of Service for Road Transportation <http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/methods/levelservice.html>
11. Quality/ level of service handbook: state of Florida department of transportation. – 2009. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://webgis.co.okaloosa.fl.us/jlus/docs/fgmp/2009FDOTQLOS\\_Handbook.pdf](http://webgis.co.okaloosa.fl.us/jlus/docs/fgmp/2009FDOTQLOS_Handbook.pdf)
12. Maintenance Management Manual // Texas Department of Transportation, October 2003. – 79 pp.
13. Implementing Performance-based Road Management and Maintenance Contracts in Developing Countries - An Instrument of German Technical Cooperation – By Dr. Gunter Zietlow Eschborn, November 2004.
14. Performance-Based Contracting for Maintenance. TRB’s National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Synthesis 389: Performance-Based Contracting for Maintenance explores experience with performance-based maintenance contracting in places where it has been adopted, including such issues as whether it has the potential to reduce costs and improve maintenance levels of service. – 2011. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.trb.org/Main/Blurbs/161949.aspx>.
15. Process for Setting Intervention Criteria and Allocating Budgets: Literature Review, 2007. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.onlinepublications.austroads.com.au/items/AP-T80-07>.
16. Schedule 7 – intervention levels. - Maroondah City Council RMP v6. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.maroondah.vic.gov.au/common/files/EngineeringInfrastructure/Schedule\\_7\\_\(Interventions\\_Levels\).pdf](http://www.maroondah.vic.gov.au/common/files/EngineeringInfrastructure/Schedule_7_(Interventions_Levels).pdf)
17. Шпиг А.Ю. Модель обґрунтування рівня обслуговування елементів автомобільних доріг. // Вісник Національного транспортного університету: В 2-х частинах: Ч.1. – К.: НТУ. – 2010. – Вип. 21. – С. 94-99.

**Рецензенти:**

Савенко В.Я., д-р тех. наук, Національний транспортний університет.

Казачков І.В., д-р тех. наук, Ніжинський державний університет ім. М. Гоголя.

**Reviewers:**

Savenko V.Ya., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Kazachkov I.V, Dr. Tech. Sci., State University of Nizhyn M. Gogol.

Стаття надійшла до редакції: **12.05.2016 р.**

## ТЕХНІЧНА ЕКСПЕРТИЗА ТА ОЦІНКА МАЙНА

УДК 624.1 : 332.54

Мамонов К. А., д-р екон. наук

### ВИЗНАЧЕННЯ ПІДЗЕМНОЇ НЕРУХОМОСТІ МІСТ У КАДАСТРІ: ЗАРУБІЖНИЙ ДОСВІД

**Анотація.** У статті розглянуті напрями визначення підземної нерухомості міст у кадастрі, враховуючи зарубіжний досвід та особливості її використання, запропоновані напрями удосконалення кадастрової системи шляхом застосування сучасних технологій і 3D кадастру.

**Ключові слова:** підземна нерухомість, поземельна книга, поземельний реєстр, реєстр оцінки, реєстр житла, GA-реєстр, 3D кадастр.

**Аннотация.** В статье рассмотрены направления определения подземной недвижимости городов в кадастре, учитывая зарубежный опыт и особенности ее использования, предложенные направления совершенствования кадастровой системы путем применения современных технологий и 3D кадастра.

**Ключевые слова:** подземная недвижимость, поземельная книга, поземельный реєстр, реєстр оценки, реєстр жилья, GA-реєстр, 3D кадастр.

**Abstract.** In the article the definition lines underground cities in the real estate cadastre, given the international experience and especially its use of proposed directions for improvement of cadastre system through the use of modern technology and 3D cadastre.

**Keywords:** underground property Land Register, the Land Registry, the registry valuation of housing register, GA-register, 3D cadastre.

**Постановка проблеми.** Для забезпечення розвитку та управління підземної нерухомості, зростання ефективності її управління особливого значення має дослідження досвіду зарубіжних країн. Слід відзначити, що

визначення підземної нерухомості у кадастрах мають певні особливості, що впливає на її розподіл та використання.

Дослідженням питань формування й використання підземної нерухомості займаються вчені: Л. Бодум, Т. Валстад, Г. Еріксон, Е. Соренсен, Е. Стотер, Л. Янсон та ін.

Поряд з існуючими розробками, особливого значення мають напрями дослідження, пов'язані із визначенням підземної нерухомості у кадастрах різних країн, що дозволяє застосовувати відповідний досвід у вітчизняній практиці.

**Метою статті** є систематизація існуючого міжнародного досвіду до визначення підземної нерухомості у кадастрах різних країн.

**Виклад основного матеріалу.** Західноєвропейські кадастрові системи мають однакові ознаки, які формуються за відповідними напрямами: реєстр ділянок, кадастрові карти та ведення правових записів. Техніка обліку володінь розрізняється, хоча реєстр ділянок нерухомості має кожна країна. Такий реєстр може бути власне Поземельним реєстром (Поземельної книгою) або ж його складовою частиною. Кадастр (або сукупність результатів кадастрових зйомок) і Поземельний реєстр, як правило, веде єдина організаційна служба, рідше - ці служби різні, але кооперуються між собою в обміні даними для взаємного контролю та освіти багатопільового кадастру [1].

Дослідження напрямів і особливостей управління підземною нерухомістю показовим є досвід Нідерландів. Основний законодавчий акт у представлені сфері є Цивільний Кодекс Нідерландів, де земельну та кадастрову реєстрацію виконує одна організація - Кадастр. Він включає збори нотаріальних справ, що створюють реальні права на землю. Зв'язок між кадастровою та земельною реєстрацією здійснюється через кадастровий номер. Основою кадастрової реєстрації є ділянка, що знаходиться зверху на поверхні. Конструкції та інфраструктура під або вище поверхні не реєструються безпосередньо як об'єкти. Інформація щодо таких конструкцій може бути отримана на підставі тих прав і обов'язків, які пов'язують їх з ділянками, що знаходяться на поверхні [7].

Кадастровий географічний набір даних містить кордони і номери ділянок, контури будівель, назва вулиць і номери будинків. Контури залізниць, транспортних мереж і мереж телезв'язку відображаються в топографічній частині кадастрової карти, але інформація щодо них в набір даних кадастру не

входить [5].

Підземні об'єкти у Нідерландах можуть бути зареєстровані в існуючій кадастровій системі на підставі наступних прав: власності, обмежене право власності (суперфіцію, довгострокової оренди, сервітуту), спільна власність. У системі реєстрації кожному праву власності відповідає унікальний код [5].

Права власності в Нідерландах мають відношення до поверхневих ділянок, яке включає простір вище і під ділянкою на висоту і глибину, яку користувач має можливість застосовувати. Використання простору вище і під поверхнею дозволено третім особам, поки це досить високо чи низько, і не перешкоджає користувачеві наземної частини.

Власники можуть бути обмежені у використанні ділянки обмеженими правами такими, як суперфіцій, довгострокова оренда, сервітут або громадські обмеження [5]. Якщо щодо земельної ділянки не встановлені ніякі права, діють правила вертикального і горизонтального приєднання.

У Данії існують чотири основні реєстру нерухомого майна, які підпорядковані різним органам влади: кадастровий реєстр; земельний реєстр (Поземельна книга); реєстр будівель і житла (BDR); реєстр оцінки (SVUR).

Кадастр Данії підпорядкований Національному Агенству землевпорядкування та кадастру, яке є підрозділом Міністерства навколишнього середовища. Головним завданням кадастру Данії є підтримка ефективного земельного ринку та забезпечення основи для належного управління земельними ресурсами [4].

Земельний реєстр - це реєстр прав на нерухоме майно, підпорядкований Міністерству Юстиції. Він містить юридичні дані про права власності, ім'я власника землі, інформацію про застави і сервітути. Починаючи з 2000 р, земельний реєстр повністю переведений в електронний вигляд, хоча права власності залишаються доступними тільки аналогово. Земельний реєстр використовує ідентифікатори нерухомого майна, встановлені кадастром.

Муніципалітети (кількість 275) відповідальні за два види реєстрації нерухомого майна: будівель і житла (BDR) та оцінки (SVUR). Міністерство Економіки та Внутрішніх справ несе відповідальність за ці дві реєстрації [4].

Кадастровий реєстр в Данії складається з чотирьох частин: реєстр нерухомого майна та земельних ділянок, кадастрова карта, листи вимірювань, що відносяться до кордонів, реєстр контрольних пунктів, що використовуються при кадастрових зйомках.

Закони Данії базуються на принципах міжнародного права на власність: право власності встановлюється на ділянці і не обмежується у вертикальному вимірі. Горизонтальний поділ (юридичний або фактичний) у власності може бути встановлений обмеженнями, які визначаються у відповідності з приватним і публічним правом.

Поняття підземної земельної ділянки у діючому законодавстві Данії відсутнє. Земельна ділянка обмежується тільки вертикальними межами, горизонтальні межі встановлюються тільки шляхом обмежень [6]. Отже, виділити підземну частину земельної ділянки в самостійну одиницю нерухомості та відобразити її в реєстрах фактично неможливо. Проте існування підземних об'єктів вимагає визнання їх правового статусу.

Для здійснення проектів щодо формування та використання підземної інфраструктури розвиваються спеціальні сервітути-тунелі (tunnel-servitudes), сервітути-станції (stations-servitudes) і сервітути виходів непередбаченого випадку (emergency-exits-servitudes). Ці сервітути визначили обмеження на власників ділянок, під якими знаходяться конструкції, і на власників ділянок, що знаходяться поряд з ними [6].

Прикладом застосування представленого підходу є визначення підземної інфраструктури метрополітену в м. Копенгагені. У цьому контексті слід відзначити, що метро перетинає близько 1000 об'єктів приватної власності. Сервітути-тунелі встановлені на 150-ти ділянках. Сервітути-тунелі забороняють власникам відповідних ділянок використовувати простір нижче певної відстані від поверхні в залежності від того, наскільки тунель знаходиться нижче цієї ділянки. Також не дозволяється впливати на поверхню вище тунелю, наприклад, мати будинок висотою більше 6 поверхів. Більш значні обмеження визначені на ділянки, які розміщуються вище станцій та аварійних виходів. Вид обмежень залежить від відстані до конструкцій.

У результаті дослідження визначені недоліки та проблеми щодо кадастрової реєстрації підземних об'єктів, що функціонують у Данії. Зокрема, земельна ділянка в державі законодавчо визначається тільки вертикальними межами, тому визначення юридичного статусу підземним об'єктам неможливо. У Данії нерухома власність завжди пов'язана з поверхневими ділянками. Власник нерухомого майна завжди встановлюється на цих ділянках, проте він обмежений у використанні всієї ділянки в її вертикальних кордонах тільки сервітутами.

Кадастр Норвегії є інформаційною системою, яка заснована на земельних ділянках. Як національний, так і місцевий уряди, розробили правила, що гарантують визначеність кордонів нерухомості та орендованої землі, мають відповідні розміри і нанесені на карті, мають оновлені і повні записи.

Хоча реєстрація землі в Норвегії регулювалася, починаючи з XIII століття, тільки після того, як в 1978 р набув чинності Закон про поділ землі, у всій країні введена єдина система реєстрації майна. Однак цей закон охоплює майно в двовимірному просторі. Це ускладнило ідентифікацію та реєстрацію підземних структур. Муніципалітет м. Осло разом із Земельним Реєстратором розвивав кадастр, який би зміг охопити тривимірні об'єкти [8].

Загальний принцип реєстрації вище визначених прав ґрунтується на Методі Осло, тому відповідно до нового закону більшість підземних об'ємів, створених в м. Осло, стануть законними.

Характеризуючи кадастрову систему по “методу Осло”, визначено, що вся земля муніципалітету розділена на фіксовані номери великих територій, до кожної з яких відноситься основний реєстраційний номер. Ці території потім розділяються на ділянки і нумеруються по порядку номерами ділянок. У межах муніципалітету визначають ділянку унікально ідентифікованою територією, яка має відповідний номер (вісім цифр). На національному рівні додані ще чотири цифри, щоб ідентифікувати муніципалітет [9].

Підземна ділянка ідентифікується також як і ділянка на поверхні, тільки додатково додається 300. Номер ділянки починається з одиниці. Це дає кожній підземній ділянці чітке визначення місця розташування і у взаємовідносини з власністю на поверхні. номери області від 601-900 резервуються для ділянок над землею, але поки що це було використано для ділянок нижче поверхні землі [9].

Виділення підземних ділянок здійснюється за відповідною процедурою, що і для їх аналогів, які знаходяться на поверхні. Власник відповідного майна повинен дати згоду на відмову від його прав на підземний простір. У Норвегії не встановлена обмежена глибина власності. Але зазвичай власність вниз приймається на рівень її можливого використання.

Для позначення підземних ділянок введено поняття «будівельна ділянка» («construction parcel»), оскільки виділення підземного простору обумовлюється необхідністю розміщення підземних об'єктів будівництва: тунелі, паркінги,

торгові площі [8]. Таким чином, підземні ділянки пов'язані з будівельними об'єктами, що знаходяться на поверхні.

Кадастрова система Швеції складається із Законів про Землю (the Land Law), Про формування майна (the Real Property Formation Act), Про практичність сервітутів (the Utility Easements Act), Про об'єднання споруд (the Joint Facilities Act), Кодексу про землеустрій (the Land Survey Code) та Реєстру Нерухомості (the Real Property Register), який включає Земельний Реєстр (the Land Register).

З 1 січня 2004 р. в Швеції набуло чинності нове законодавство для багатовимірного визначення нерухомості (3D Кадастр) [3]. Закон був підготовлений комітетом, призначеним Шведським урядом в 1994 р., для дослідження потенціалу щодо вирішення проблем використання різних видів земель. Протягом 2004-2008 рр. сформовані 240 3D майнових одиниць.

Правила формування тривимірних майнових одиниць набули чинності з 1 травня 2009 р., які включені в існуюче законодавство, зокрема в Закон про землю (the Land Law) і Про формування майна (the Property Formation Act). Це означає, що мультіпросторово певні майнові одиниці сформовані шляхом кадастрової процедури і підпорядковані вимогам земельної інспекції [3].

Реєстр нерухомості в Швеції складається з наступних частин [2]: Головний реєстр, Кадастрова індексна карта, реєстри координат, планів, блоків, адрес, загальних інженерних споруд (GA-реєстр).

Відповідно до Земельного кодексу Швеції до нерухомості належать комунікації, розташовані під або над землею, і перебувають у постійному користуванні. До одиниці нерухомості також відносяться і інші споруди, що знаходяться за межами одиниці нерухомості, у випадку, якщо вони призначені для постійного використання на правах сервітуту на користь даної власності і не належать до одиниці нерухомості, на якій вони знаходяться. Отже, в реєстрі Швеції можна отримати інформацію щодо підземних комунікацій, оскільки вони є самостійними одиницями нерухомості.

Сучасним напрямом розвитку кадастру підземної нерухомості є розробка й впровадження «3D кадастрів», які враховують тривимірні об'єкти нерухомості, і використовуються у Норвегії та Швеції. Пілотні проекти працюють в Данії, Нідерландах та Ізраїлі. Такі країни, як США, Канада, Австралія, Греція здійснюють наукові дослідження в галузі тривимірного обліку об'єктів нерухомості.

## **Висновки**

Отже, у результаті аналізу існуючих кадастрових систем розвинених країн Європи встановлено, що сучасним напрямом є визначення підземної нерухомості, яка інтегрується у загальний будівельний комплекс, враховуючи наземні об'єкти. У цьому контексті розробляється багатоцільовий кадастр, який характеризує земельні, містобудівні, просторові, інвестиційні ознаки підземної нерухомості. Основним напрямом розвитку у сфері реєстрації та управління відносинами є формування «3D кадастру», що дозволить забезпечити системну візуалізацію різних аспектів та напрямів будівництва, розподілу та використання об'єктів підземної нерухомості.

## **Література**

1. Управление по земельным ресурсам и государственному кадастру г. Ташкента. Анализ современных кадастровых систем: [сайт]. URL: <http://www.kadastr.uz/ru/other/46> (дата обращения: 20.04.2010).
2. Eriksson G. A New Multi-Dimensional Information System Introduced in Sweden / G. Eriksson // In Proceedings of FIG Working Week, Cairo, Egypt, April, 2005. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.oicrf.org/>.
3. Eriksson G. Strata Titles are Introduced in Sweden / G. Eriksson, L. Jansson // In Proceedings of FIG Working Week, Sydney, Australia, April 2010. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.oicrf.org/>.
4. Stoter J.E. 3D aspects of property transactions: comparison of registration of 3D properties in the Netherlands and Denmark / Jantien E. Stoter // Technical Report GISSt No. 24, Research Institute for Housing, Urban and Mobility Studies, November, 2003. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.juritecture.net>.
5. Stoter J.E. 3D Cadastre / J.E. Stoter – NCG, Netherlands Geodetic Commission, Delft, July, 2004. – 342 p. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.itc.nl/library/Papers\\_2004/](http://www.itc.nl/library/Papers_2004/).
6. Stoter J.E. 3D registration of real property in Denmark / J.E. Stoter, E.M. Sorensen, L. Bodum. // In Proceedings of FIG Working Week, Athens, Greece, May, 2004. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.fig.net/pub/athens/papers/ts25/TS25\\_5\\_Stoter\\_et\\_al.pdf](http://www.fig.net/pub/athens/papers/ts25/TS25_5_Stoter_et_al.pdf).
7. Stoter J.E. Conceptual 3D Cadastral Model Applied in Several Countries / J.E. Stoter, P. Oosterom, H. Ploeger, H. Aalders // In Proceedings of FIG Working Week, Athens, Greece, May, 2004. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.juritecture.net>.
8. Valstad T. How Is the Development in the World of Cadastre towards More than Two Dimensions / T. Valstad // In Proceedings of FIG Working Week, Eilat, Israel, May, 2009. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.oicrf.org/>.
9. Valstad T. The Oslo Method – a Practical Approach to Register 3D Properties / T. Valstad // In Proceedings of FIG Working Week, Paris, France, April, 2003. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.oicrf.org/>.

### **Рецензенти:**

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

### **Reviewers:**

Slavinska O.S., Dr. Tech. Sci., National Transport University.  
Kharchenko A.M., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **17.05.2016 р.**

УДК 332.6 : 625.7/.8

Savenko V.Ya., Dr. Tech. Scien.

## **PROPERTY VALUATION OF ROADS FOR IMPLEMENT OF THE PRINCIPLES OF PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP BASED ON THEIR CERTIFICATION**

**Анотація.** З метою визначення вартості нерухомого майна дороги та отримання детальних відомостей про технічний стан автомобільних доріг і дорожніх споруд проводять технічний облік і складають паспорт дороги. Паспорт автомобільної дороги – це єдиний документ, у якому вміщуються всі технічні, господарські, економічні й оцінні дані про дорогу і про дорожні споруди за станом на термін первинного технічного обліку з відображенням усіх наступних змін стану дороги, будинків і споруд, у тому числі роботи, які виконувалися під час середнього і капітального ремонтів.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, технічний облік дороги, паспорт дороги.

**Аннотация.** С целью определения стоимости недвижимого имущества дороги и получения детальных сведений о техническом состоянии автомобильных дорог и дорожных сооружений проводят технический учет и составляют паспорт дороги. Паспорт автомобильной дороги - это единственный документ, в котором содержатся все технические, хозяйственные, экономические и оценочные данные о дороге и о дорожных сооружениях по состоянию на срок первичного технического учета с отображением всех последующих изменений состояния дороги, зданий и сооружений, в том числе работы, которые выполнялись во время среднего и капитального ремонтов.

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, технический учт дороги, паспорт дороги.

**Abstract.** For the purpose of determination the value of real estate and road details on the technical condition of roads and road facilities conducting technical accounting and passport up the road. Passport highway - the only document which fit all the technical, business, economic and evaluative information on road and on road

construction as of the time of initial technical accounting reflection of all these changes of roads, buildings and structures, including work, have been performed during the middle and overhaul.

**Keywords:** road, technical accounting, roads passport.

### **Formulation of the problem**

Public-private partnership (PPP) offers an alternative model of partnership between the public and private sectors, in which the private company provides global service with sufficient autonomy and incentives for productivity growth for the benefit of all parties, particularly road users. As one of the principal payment options for PPP projects using payments for operational readiness, in which the private partner provides the same infrastructure and management rather than a public body. For details on the technical condition of roads and road facilities conducting technical accounting and passport up the road. Technical accounting and passport to be all public roads.

### **Presenting main material**

Technical accounting highways - a set of constantly and consistently carried out the required measures for details on availability and technical condition of roads and road facilities [1, 2]. Technical accounting roads conducted to:

- determine the length of structural elements, the quality of roads, road structures, buildings and ancillary facilities of road service;
- establishing feasibility and technical and operational condition of the roads at the time of maintenance records;
- systematic study of changes in road conditions as engineering structures for use in planning work on the reconstruction, repair and maintenance;
- improvement of conditions and safety;
- determining the value of property and the way it reflected in the balance traffic organizations;
- obtaining statistical, planning and other information.

Elements of the road to be technical account are:

- easement with older ways;
- roadbed, including drainage;
- roadway;
- pavement;
- man-made structures;

- buildings and utility buildings of traveling service;
- walkways and sidewalks;
- transport facilities maintenance services for traffic and passengers;
- road engineering devices and arranging and gardening expensive;
- underground and above-ground communication within the easement.

Technical accounting roads are divided into primary (simultaneous) and systematic (current) [3, 4]. Results counts are entered in the passport, and therefore the technical accounting and certification is practically the only indissoluble process. The original records held at newly constructed or reconstructed and put into operation the road no later than six months after approval of the acts of state acceptance commission. Work performed under this account road design and technology of road after the operation. A systematic account is held as the appearance changes annually fixed in the relevant documents as of January 1 next year. Work under this accounting officers conducting road maintenance services.

Passport highway - the only document that can fit all the technical, business, economic and evaluative information on road and traffic facilities as of the time of initial technical accounting reflection of all these changes of roads, buildings and structures, including work that performed in the middle and overhaul. Basis of passport can serve as a road project and executive documentation.

Collected during field surveys data on road and buildings on it are entered in the passport that includes road circuit, general information about her economic and technical characteristics, the main volume of work performed and line graph.

The passport scheme are road, made a certain scale depending on the length of the road, and economic data surveys, searches, traffic accounting, statistical and economic reviews. Indicated status of certain structures and structural elements of the road (the roadbed, roadway, artificial structures, etc.). The passport shows the cash costs for repairs, maintenance and reconstruction of roads. They are taken from annual reports; Passport prescribed data on basic work performed during reconstruction, overhaul and medium repairs carried out with the introduction of the roads in operation.

The passport contains a line graph roads (Figure 1), which reflects the design of the pavement indicating the size and material structural layers. Also in the line graph presents technical and operational characteristics that affect the value of the assessment.

The boundaries of service areas and road name organizations		1	city Orekhov	Orikhivsky District Avtodor		1
Gradient more acceptable		2	more gradient	not	permissible	2
The radii of the curve in terms of less permissible		3				3
Kilometers		4	3	4	5	6
Leg situation	left of the road	5				5
	right of the road					
Product coverage, the width of the roadway and roadbed	2015 y.	6	25 - 7.0 - 25	35 - 7.5 - 35	35 - 7.5 - 35	6
	2015 y.					
The construction of pavement and thickness	2015 y.	7		10/150	10/150	7
	2015 y.					
Artificial structures	year certification	8				8
	the coming years					
The soil subgrade		9		Loam	easy	9
Snow fence areas, snow fence plantation, permanent fences, snow carrying capacity	left of the road	10				10
	right of the road					
Ornamental plantings	left of the road	11				11
	right of the road					
Flooded and landslide areas		12				12
The state covering of the roadway	2015 y.	13	satisfactory			13
	2015 y.					

Figure 1 – Linear schedule public roads

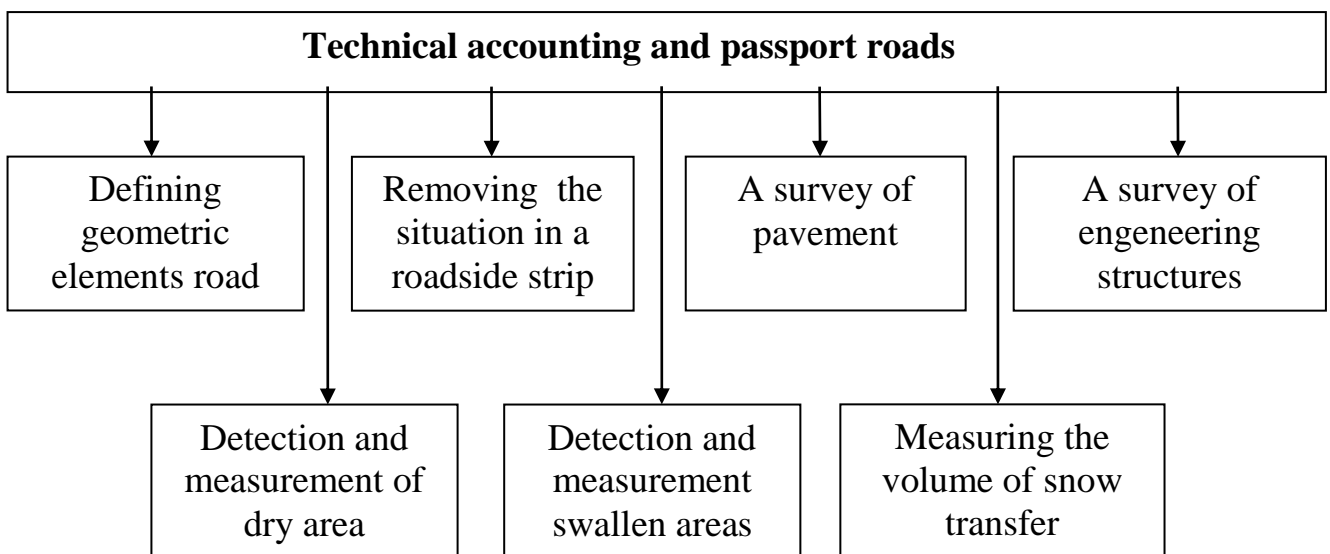
Consequently, passport serves as an information base for road maintenance services and makes it possible to provide the modern technical level forecasting operational condition of roads and buildings, to design measures to improve transport and road performance indicators, and is the source document for determining the monetary assessment. Based on technical accounting road can be seen on the need of repair or reconstruction of a road, and then a separate piece of road network, make adjustments on the technical condition.

Technical accounting and passport assembly includes a set of measuring work [5-7], which are a structural diagram in Figure 2.

In linear structures, which is the road, maintenance of accounting and entry into the passport shall be all other objects located within the easement. These structures and objects include:

- summer and tractor ways;
- meadows, fields, forests, ravines, wetlands and vineyards;
- rivers, streams, lakes and other water bodies;
- artificial road constructions;

- ferries and fords;
- buildings and subsidiary enterprises Car road organizations enterprises (ABZ, CDC, quarries, etc.) located well outside the 50 meter band;
- railways and roads, which crossed the road and adjacent roads, cross-over road;
- flood and landslide road section;
- residential and non-residential buildings and structures;
- line gas pipelines, water supply, sewerage, communications and electricity, which are close to the road or cross it.



**Figure 2** – Block diagram of measuring work

### **Conclusions**

Recently, a study on the use of ground stereophotogrammetrical removing objects, according to which you can obtain three-dimensional image of a structure that is three-dimensional model of the object, which is then descramble in laboratory conditions. During this certification, highways appropriate to survey to determine the size of the various elements of bridges and overpasses, especially for remote measurement.

Technical accounting and passport can determine the estimated cost of transport facilities. After carrying out systematic (current) accounting is possible to determine the correction coefficients wear ways in which possible to establish the real value of a percentage of the original cost.

### **References**

1. V.V. Silyanov Freight performance of highways and city streets: the textbook for students. Executive. Proc. institutions / VV Silyanov, ER Domke. -. 3rd ed. - М .: Publishing Center "Academy", 2009. - 352 p.
2. Goncharenko F.P. Operational maintenance and repair of roads in difficult weather and environmental conditions: a tutorial. / F.P. Goncharenko, E.D. Prusenko, V.F. Skorchenko. - К., 1999. - 264 p.
3. Vasilev A.P. Maintenance of roads and traffic management / AP Vasilyev, VM Sidenko. - М .: Transport, 1990. - 304 p.
4. M.S. Storozhenko Transportation and operational performance of highways: Training. Benefit / M.S. Storozhenko. - Н .: HGADTU, 1997. - 256 p.

### **Рецензенти:**

Славінська О.С., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

Харченко А.М., канд. техн. наук, Національний транспортний університет.

### **Reviewers:**

Slavinska O.S., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Kharchenko A.M., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **23.05.2016 р.**

УДК 332.6 : 625.7/.8

Slavinska O.S., Dr. Tech. Scien.

## **APPLICATION OF TRANSFORMATION ASSESSMENT TASKS HIGHWAYS MANAGMENT METHODOLOGY OF PROPERTY EVALUTION ROAD ON THE BASIS OF TRANSFORMATION**

**Анотація.** В статті представлені основні методи перетворення якісних ознак у кількісні для проведення грошової оцінки ділянки автомобільної дороги. Стан об'єкту представлений у вигляді ієрархічної моделі сукупності властивостей. Під такою моделлю розуміється штучна багаторівнева система показників, яка всебічно і раціонально характеризує якісні ознаки. На основі вартісного методу визначені коефіцієнти вагомості конструктивних елементів дороги.

**Ключові слова:** перетворення якісних ознак у кількісні, автомобільна дорога, вартісний метод, коефіцієнти вагомості

**Аннотация.** В статье представлены основные методы преобразования качественных признаков в количественные для проведения денежной оценки участка автомобильной дороги. Состояние объекта представлено в виде иерархической модели совокупности свойств. Под такой моделью понимается искусственная многоуровневая система показателей, всесторонне и рационально характеризующая качественные признаки. На основе стоимостного метода определены коэффициенты весомости конструктивных элементов дороги.

**Ключевые слова:** преобразование качественных свойств в количественные, автомобильная дорога, стоимостный метод, коэффициенты весомости.

**Abstract.** The article presents the basic methods of converting qualitative features of quantitative monetary valuation for the road section. State of the object represented as a hierarchical model set of properties. Under this model refers to an artificial multi-level system of indicators that comprehensively and efficiently characterize quality attributes. Based on the method of cost factors determined the coefficients of ponderability of structural elements of the road.

**Keywords:** converting qualitative features of quantitative, automobile road, method of cost, coefficients of ponderability.

### **Formulation of the problem**

The process of privatization in Ukraine lasts for over 20 years. All this period is accompanied by difficult formation and development assessment of property valuation, based on international methodology and practice. The main criteria for privatization according to the initial inherent law, principles of its legitimacy are economic efficiency and investment direction. Privatization - is the only possible relatively open and legal way to transfer ownership of the state and local territorial authorities to private owners. Development of valuation activity in Ukraine not only promotes privatization, the legal basis of which, require evaluation of buildings, property of state enterprises, unfinished objects [1]. Further due to the involvement of private capital, particularly in the transport sector has become necessary as the expert and monetary assessment and transport facilities.

Indeed, at present there is a real need for a tool with which it was possible to assess property in the road sector. It should be noted that the existing assessment methods buildings virtually no constructive proposals to solve this problem.

Art in the evaluation should be shown in selecting a reasonable methodology (approaches, methods, etc.), use representative input data, conducting formal correct calculations and the ability to reasonably convince all parties that are interested in the assessment of the correctness and accuracy of its results.

The evaluation of transport construction is necessary in the transformation of qualitative features in a quantitative assessment. The assessment of quality characteristics based on quality control - science, including the concept of measurement quality [2].

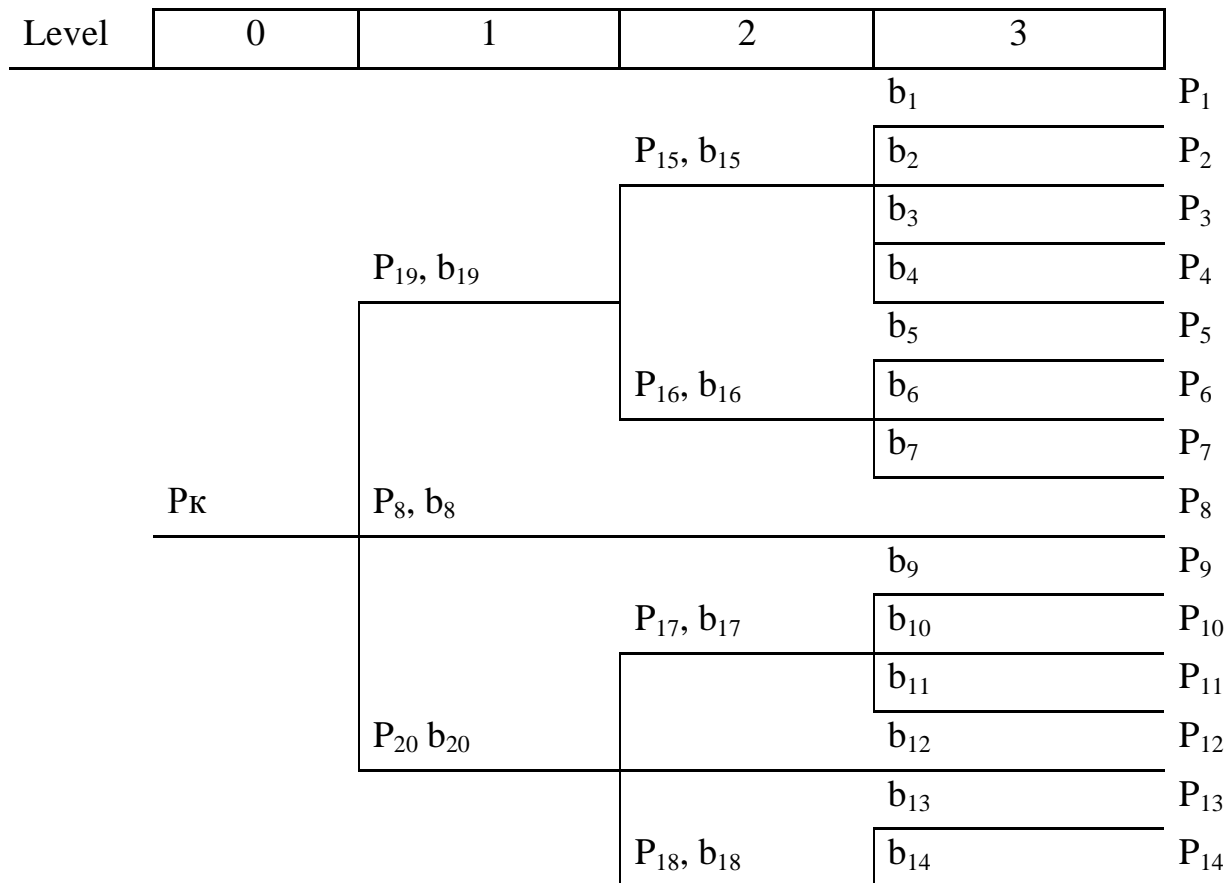
A good sign - is a sign that characterizes some property or condition of the object, and the presence or absence of properties. Quantitative trait - is a trait which individual value, the resulting measurements, observation or calculation, expressed a certain number. Quantitative evidence can be discrete and continuous. Discrete quantitative trait - a trait that accepts only individual values are generally integer. Continuous quantitative trait - is a trait that can take sweet numerical values within certain limits.

### **Presenting main material**

State of the object can be represented as a hierarchical model set of properties. Under this model refers to an artificial multi-level system of indicators that

comprehensively and efficiently characterize quality attributes. Comprehensive indicator is at zero and includes the sum of all differential performance, simple properties of products that are at the highest level of the n-th model.

As the movement for right to left model properties become larger products  $P_i$  of (added together), they become more complex (group, complex) (Fig. 1).



**Figure 1** - The qualimeter model of quantity quality

The model can be written  $P_k = P_{19} + P_8 + P_{20}$ ;  $P_{19} = P_{15} + P_{16}$ ;  $P_{15} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$  and so on.

In the third, the highest-level models are the most common features of products. The properties of the first and second levels of the reduced model are summarize. They can accordingly include, for example, group and complex. The simple fact is quasi-simple properties, because they always can be identify more easily.

To convert the qualitative features of the object used differential or complex methods. With the differential method of assessment of quality signs carried by single figures

$$K_i = P_i / P_{i6} \text{ or } K_i = P_{i6} / P_i, \quad (1)$$

where  $P_i$  - value of i-th indicator of rate quality properties;

$P_{i6}$  - Value of i-th base (reference) indicator.

According to this formula, the increase in the unit rate corresponds to improving the overall quality of products, though  $K_i$ , being a dimensionless quantity determines the level of quality attributes of the object of evaluation.

Quantify the differential method allow one to assess the qualitative features in the two cases: 1) the level of product quality that is rated above or equal to the level of the base model, if all indicators  $P_i \geq 1$ ; 2) the level of product quality, measured, below the level of the base model, if all indicators  $P_i < 1$ .

The uses of such relative quantify the qualitative characteristics makes it possible to bring a single indicator models all properties that transform all simple (quasi-simple) properties on a single scale.

Basic indicators of quality signs play an important role in the quantitative assessment. Their correct choice depends on the objectivity of the quality of state structures. Values  $P_{i6}$  can be: middle made in the industry; the highest achieved in the industry; perspective; matching the best foreign models; economically optimal, informed the relevant technical and economic calculations.

At any level, each property is assessed not only measure the differential  $K_i$ , but the weight factor  $b_i$ . The latter reflects the importance of the value differential indicator in the composite index. For each level

$$\sum_{i=1}^n b_i = M = const, \quad (2)$$

where  $n$  - the number of properties on the i-th level.

The value  $M$  is often take for 1 or 100.

From this expression shows that increasing the significance of some product properties can occur by reducing the significance of others. From the reliability coefficients of significance depends quantification of quality at every level, and the facility in general.

Quantifying the qualitative characteristics of the level or for the whole model

$$K_k = \sum_{i=1}^n b_i P_i / P_{i6}, \quad (3)$$

According to (2) condition and term (3):

$$b_{ik} = b_n \cdot b_{n-1} \cdot b_{n-2} \dots b_1. \quad (4)$$

On the basis of this expression can determine the impact of index any simple properties of the value of the group or the quality of the composite indicator, which is of great practical importance

Construction of the model estimates the road section - crucial stage of its quantitative assessments, objectivity is determined by the right choice of model. In addition, it affects the role of simple and complex features a total evaluation weight of individual properties.

Building a model to start from left to right - from the individual index  $K_k$  to the generalized index  $K_i$ .

Select the number of levels depends on the purpose of assessment and the importance of the subject. With the growing number of levels  $m$  increases the information about the sign of quality of the object, its component properties. At the same time the choice of a large number of levels, so performance increases the number of qualitative features of measurements and calculations. Therefore, the model, if possible, should have a minimum number of levels, but sufficient to assess the quality of the required accuracy and consistent with this goal.

In assessing the quality of the object in the road sector is usually chosen from two to four levels. In some cases, an assessment can be made not by the full model, where the summit is simple (quasi simple) properties and reduced, limited right complex indicators. It must meet the conditions of the possibility of measuring or calculating complex properties.

In drawing up the new communications models must be entered so that they best meet, at this level, requirements and evaluation revealed the properties of the product prior.

Indicators anyone other than zero, the level should be equivalent, that is tantamount to characterize the state of the object.

Each level model should be minimal, but sufficient number of connections, defined completeness of description properties.

There are several methods for determining weight ratios: expert, marginal and nominal values equivalent ratios, the value [3].

Expert method is the most simple, affordable and in strict compliance technique ensures high reliability.

This method is a subjective consideration of situations of which you must select one or more optimal. The higher qualification specialists and experts, the higher the reliability of estimates.

The most common method in the peer review ranking in which phenomena are measured, arranged in order of preference  $P_1 > P_2 > P_3, \dots, P_n$ . Evaluation of each expert based on the presumed dependence  $K_i = f(P_i, b_i)$ . If the figure  $P_i$  is better than indicator  $P_{i+1}$ , he was awarded the highest rank (degree) in the ranking. As a result of pair wise comparisons you can make the best (ranking) a number of properties.

The method of cost regression based on establishing close relationships between the costs of establishing and operating performance  $S$  and product quality  $P_i$ . This method is recommended when the number of comparable product variants (samples, projects, finished products) of a specific destination more than the number of accepted quality indicators.

Method of boundary and nominal values used when known thresholds of quality products  $P_{np}$ . Weight ratios are calculated using formulas based on the average composite indicator:

3) composite index is taken as the average arithmetic value

$$b_i = \lambda / (P_i - P_{np.i}); \quad (5)$$

4) composite index is taken as a geometric weighted average values

$$b_i = \lambda / \lg \frac{P_i}{P_{np.i}}, \quad (6)$$

where  $\bar{P}_i$  - the average statistical (nominal) values of quality;

$P_{np.i}$  - limit values of quality;

$\lambda$  - constant multiplier.

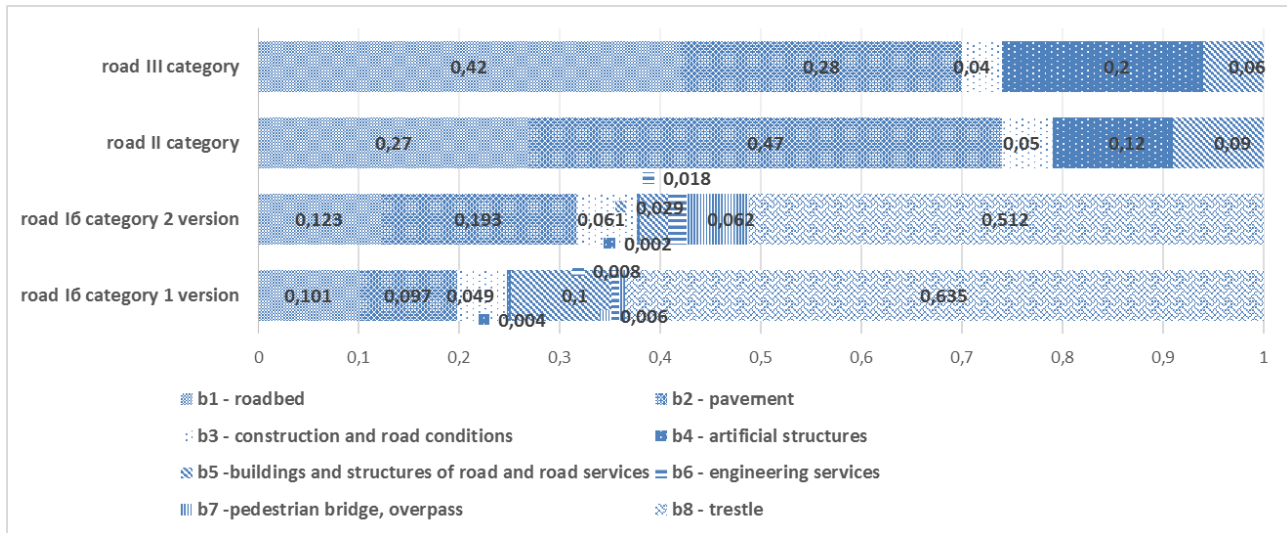
Value method is based on the assumption that the qualitative properties of an object increases with its value. So between weight and value of properties there is proportional relationship.

Then

$$b_i = C_i / \sum_{i=1}^n C_i, \quad (7)$$

where  $C_i$  - the estimated cost for placing an individual object and purpose of road improvement ;

$\sum_{i=1}^n C_i$  - The total estimated cost of works.



**Figure 2** – Factors weight defined by costly in method for structural elements highways

Figure 2 shows calculated by this method, the formula (7), the ponderability coefficients for the structural elements of different categories of roads for the average climatic conditions. The calculation of ponderability coefficients held for road construction elements.

### Conclusions

Depending on the availability of structural elements on the road, their importance in value changes significantly, which is very important in determining the corrective amendments to the technical level and operational condition of the road [4]. Therefore there is a need to conduct research areas of roads, bridges, tunnels, roadside strip of land, and the corresponding estimates to determine the estimated cost of construction projects and facilities, particularly transport facilities, and the allotted land.

### **References**

1. The practice of property valuation / Critical analysis of the regulatory framework of property valuation (Edited by Marcus J.I.). - K: "Ukrainian Investment Newspaper", 2010, Vol. No. 3. – 274 p.
2. Transportation and operational properties highways: Textbook / V.Y Savenko, V.V. Guba. - Donetsk: "National Technical University", 2011. – 229 p.
3. Quality Management in road construction. / V.M. Sydenko S.Y.Rokas - Moscow: Transport. 1981. - 252 p.
4. Standardization and quality control in road construction. V.M.Sydenko. Kiev: High shkola.Yzd-in at Kiev. un-te, 1985. 256 p.

### **Рецензенти:**

Жданюк В.К. , д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Нагайчук В.М., канд. техн. наук, ДП "ДерждорНДІ".

### **Reviewers:**

Zhdaniuk V.K., Dr. Tech. Sci., Kharkiv National Automobile and Highway University.

Nahaichuk V.M. Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), "DerzhdorNDI".

Стаття надійшла до редакції: **11.05.2016 р.**

## **ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ЕКОНОМІКА БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА**

**УДК 625.7/.8 : 338**

**Заворотний С.М.**

### **ОСНОВНІ ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДОВГОСТРОКОВИХ КОНТРАКТІВ, ЗАСНОВАНИХ НА КІНЦЕВИХ ПОКАЗНИКАХ, В ДОРОЖНІЙ ГАЛУЗІ**

**Анотація.** В даній статті виконано:

- 1) Аналіз головних особливостей контрактів ДККП та чим вони відрізняються від контрактів за видами робіт;
- 2) Визначення основних труднощів та проблем при їх використанні, зокрема в нашій державі, та які потрібно виконати дії для їх усунення та подолання;
- 3) Класифікацію ДККП.

Об'єкт дослідження – довгострокові контракти, засновані на кінцевих показниках.

Мета роботи – проаналізувати основні особливості ДККП, чим вони відрізняються від контрактів за видами робіт і які труднощі виникають на початкових етапах використання ДККП, а також які зміни потрібно виконати для ефективного використання ДККП.

Методи дослідження – статистичний, аналітичний.

Розглянуто особливості довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. Визначено основні різниці між ДККП та традиційних контрактів які використовують в дорожній галузі. Проаналізовано основні труднощі які виникають підчас, а особливо на початкових етапах, використання ДККП. Вказана класифікація та типи такого роду контрактів.

Результати статті можуть бути використані як теоретична основа до впровадження контрактів ДККП у дорожній галузі України.

**Ключові слова:** довгострокові контракти, засновані на кінцевих показниках, показники якості, простий дккп, комплексний дккп.

**Аннотация.** В данной статье выполнено:

- 1) Анализ главных особенностей контрактов ДККП и чем они отличаются от контрактов по видам работ;
- 2) Определение основных трудностей и проблем при их использовании, в частности в нашем государстве, и которые нужно выполнить действия для их устранения и преодоления;
- 3) Классификация ДККП.

Объект исследования - долгосрочные контракты, основанные на конечных показателях.

Цель работы - проанализировать основные особенности ДККП, чем они отличаются от контрактов по видам работ и какие трудности возникают на начальных этапах использования ДККП, а также какие изменения нужно выполнить для эффективного использования ДККП.

Методы исследования - статистический, аналитический.

Рассмотрены особенности долгосрочных контрактов основанных на конечных показателях. Определены основные различия между ДККП и традиционными контрактами, использованных в дорожной отрасли. Проанализированы основные трудности возникающие во время, а особенно на начальных этапах, использования ДККП. Указанна классификация и типы такого рода контрактов. Результаты статьи могут быть использованы как теоретическая основа для внедрения контрактов ДККП в дорожной отрасли Украины.

**Ключевые слова:** долгосрочные контракты, основанные на конечных показателях, показатели качества, простой дккп, комплексный дккп.

**Abstract.** In this article are:

- 1) Analysis of the main features of the contracts OPRC and how they differ from contracts by type;
- 2) Determination of the main difficulties and problems when using them, especially in our country, and you should take steps to address them and overcome;
- 3) Classification OPRC.

Object of study - long-term contracts based on KPI.

Purpose - to analyze the main features OPRC how they differ from contracts by type of work and difficulties arise in the early stages of use OPRC and changes you need to do to effectively use OPRC.

Research methods - statistical, analytical.

The features of long-term contracts based on the final terms. The main difference between traditional and OPRC contracts are used in the road sector. The basic difficulties that arise during and especially at the initial stages, the use OPRC. The above classification and types of this kind of contracts.

The results of the article can be used as a theoretical basis for the introduction OPRC contracts in the road sector in Ukraine.

**Keywords:** long term contracts, quality, singleoprc, complex oprc.

**Постановка проблеми.** Довгострокові контракти, засновані на кінцевих показниках (ДККП), мають певний ряд особливостей, які докорінно відрізняють їх від традиційних контрактів за видам робіт. Але, як і будь-які нові впровадження, довгострокові контракти, засновані на кінцевих показниках, викликають ряд внутрішньоадміністративних труднощів та проблем в відносинах між службою автомобільних доріг та організацією виконавцем. Ці труднощі можуть бути усунені рядом змін і нововведень в законодавстві та нормативній базі нашої держави.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведений аналіз вказує на недостатню концентрацію уваги вітчизняних дослідників на проблему впровадження довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках.

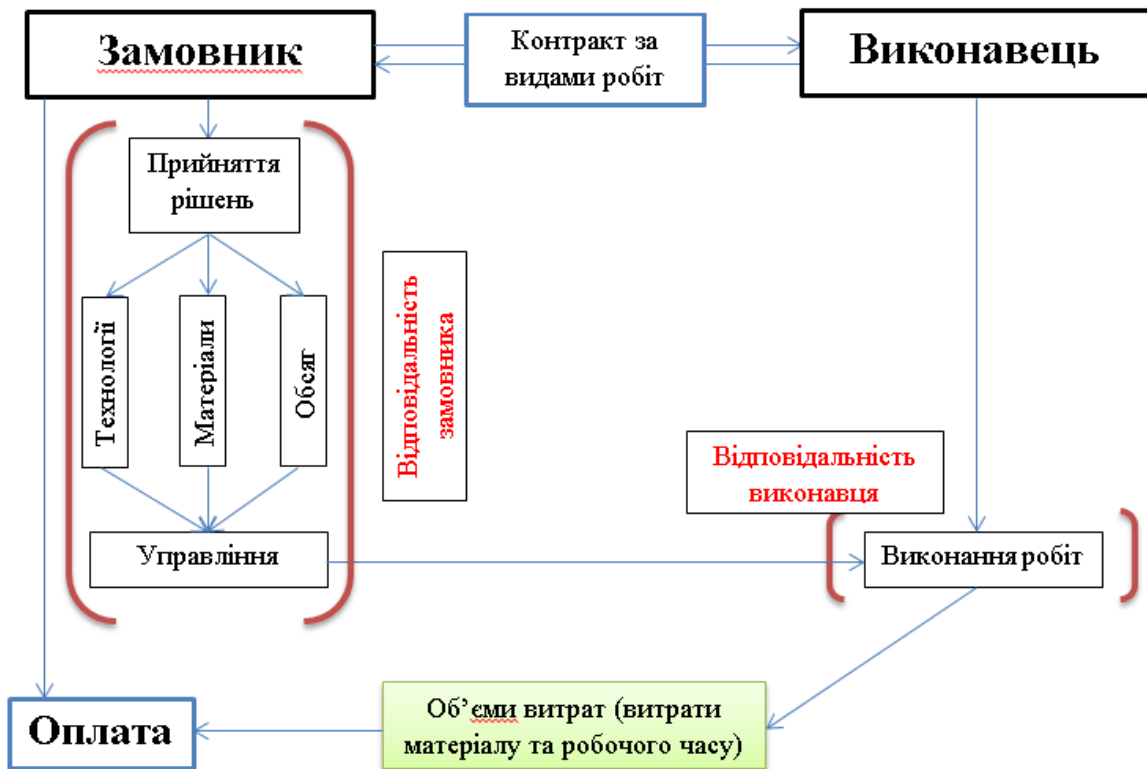
Виникає багато труднощів та проблем ще на початку впровадження ДККП в Україні, які вимагають розгляду питання зміни вітчизняного законодавства та нормативної бази.

**Постановка завдання.** Завданням даної статті є розгляд та узагальнення основних особливостей ДККП та чим вони відрізняються від традиційних контрактів, вивчення досвіду їх впровадження, визначення труднощів щодо їх впровадження.

**Виклад основного матеріалу.** ДККП суттєво відрізняється від контрактів підряду за видами робіт. ДККП - це тип контракту, в якому оплата робіт з управління та утримання дорожньої інфраструктури безпосередньо пов'язана з виконанням або перевиконанням підрядником чітко поставлених мінімальних вимог за кінцевими показниками якості [1,2].

Основна різниця між ДККП та звичайним контрактом є зменшення відповідальності служби автомобільних доріг, тобто значна кількість ризику і обов'язків, які раніше були покладені на замовника, тепер несе підрядник (виконавець) [1]. При контрактах, які використовують на даний час,

підряднику сплачують за виконані роботи в натурально-об'ємному вимірюванні (м, км, м<sup>2</sup> тощо), що дуже відрізняється від ДККП, де підставою для оплати є наприклад: не кількість ліквідованих вибоїн, а те що після закінчення терміну, обумовленого в контракті, вибоїни взагалі будуть відсутні (тобто «100% виправлено») [2,3]. Принцип роботи контрактів за видами робіт та ДККП представлені вигляді схем (рис.1, 2.)



**Рисунок 1** – Принцип роботи контрактів за видами робіт

Замовник не обмежує виконавця у прийнятті рішень, виконавець може обирати і впроваджувати нові технології з метою зниження витрат і підвищення ефективності робіт, але при цьому якість послуг не повинна бути нижчою ніж зазначено в контракті [1]. Тобто підрядник відповідає за виявлення кращих засобів для досягнення бажаного стану активу в рамках контракту [1].

Підчас укладання контракту замовником задаються показники якості (наприклад: рівність покриття 100%), яких виконавець повинен дотримуватись при наданні послуг. Вразі їх дотримання оплата за виконання робіт виконується рівномірними платежами в обсязі, обумовленому в контракті. Якщо показники якості не дотримані, замовник накладає штраф, що впливає на розмір оплати

тобто зменшує дохід замовника [1-4]. Окрім цього виконавець тепер несе повну відповідальність в управлінні (рис.3).

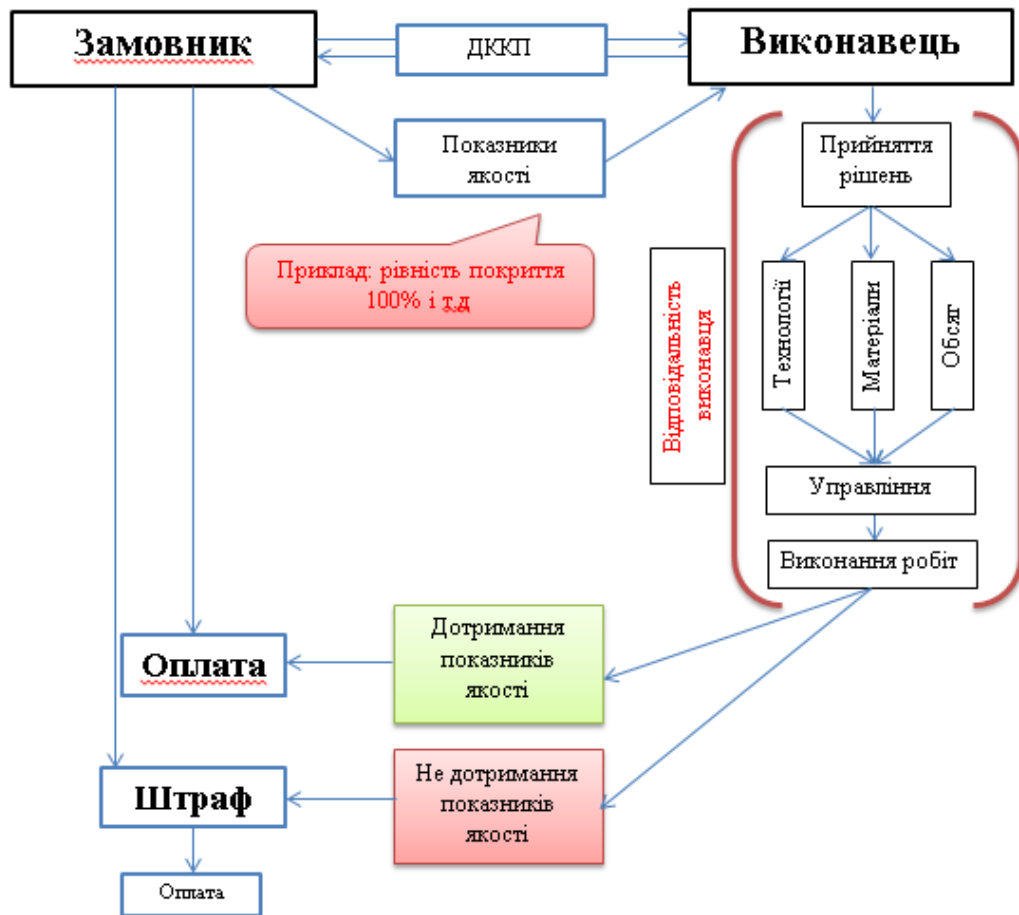


Рисунок 2 – Принцип роботи ДККП



Рисунок 3 – Відповідальність підрядника в управлінні (адаптовано з [5])

Тривалість ДККП зазвичай довшє традиційних контрактів. Це обумовлене тим, що підрядник більше несе ризику і відповідальності, а також зобов'язаний проводити деякі роботи по утриманню доріг з періодичністю в декілька років [6].

Залежно від кількості включених у ДККП активів (елементів і об'єктів автомобільної дороги) розрізняють два типи контрактів:

1. Простий – контракт предметом, якого є один елемент або об'єкт автомобільної дороги (утримання захисних огорожень, утримання укосів і т.д.) [1,2].

2. Комплексний – контракт, предметом якого є всі елементи та об'єкти автомобільної дороги (утримання: захисних огорожень, знаків, покриття, узбіч і т.д.) [1,2].

Відповідно до Американської асоціації інженерів-будівельників ДККП класифікують на 9 типів (таблиця 1).

Основними формами контракту ДККП в дорожній галузі є «простий» контракт та «гібридний» [2].

Однак процес впровадження ДККП має свої особливості. Підчас використання ДККП виникають певні труднощі. Всі труднощі умовно можна поділити на дві категорії: внутрішньо адміністративні труднощі ( труднощі які пов'язані з робочим персоналом та організацією робіт в середині адміністративного апарату); труднощі відносин адміністрацій та підрядників (труднощі викликані важкими відносинами між замовником, виконавцем та державою).

#### Внутрішньо адміністративні труднощі [7,8]:

##### **1) Чисельність працюючого персоналу дорожніх адміністрацій.**

На даний час в нашій країні стрімко зростає безробіття, а при переході до ДККП виникає необхідність скорочення персоналу адміністрації, так як потрібно менше ресурсів для управління та контролю ДККП.

##### **2) Нові знання та відповідний рівень кваліфікації.**

Так як ДККП є порівняно новим видом контрактів, а особливо для України, адміністрації повинні дуже ретельно підготувати, та за необхідності, перекваліфікувати робітників для того, щоб персонал міг якісно розроблювати і керувати за виконанням ДККП та слідкувати за дотриманням показників якості.

##### **3) Визначення показників якості.**

Від чітко і правильно визначених показників якості залежить вартість утримання і споживча якість автомобільної дороги. Тому персонал адміністрації повинен мати гарні знання та досвід для визначення існуючого та бажаного стану доріг, для встановлення реально доступних показників якості вказаних в ДККП.

**Таблиця 1** – Класифікація контрактів ДККП (адаптовано з [1,6])

№	Тип	Призначення та особливості	Приклад
1.	Простий (Single activity)	Для утримання одного елемента чи об'єкту автомобільної дороги	Утримання огорожень
2.	Один актив (Single asset)	Для утримання одного виду активів. Може включати перелік робіт з ремонту та утримання	Прибирання мосту, очищення труб
3.	Набір відповідних заходів або Комплексний (Set of related activities)	Для утримання всіх елементів і об'єктів автомобільної дороги. Включає набір відповідних заходів з ремонту та утримання	Контракт на утримання певної дороги
4.	Коридорний (Corridor)	Для ділянок доріг обмеженого доступу. Включає набір заходів з ремонту та утримання	Платні автомагістралі, автомобільні дороги на великих підприємствах
5.	Гнучкий або Охоплюючий (Area-wide)	Для мережі доріг у певній області, районі чи місті розташування підрядника. Включає набір відповідних заходів щодо їх підтримки	Утримання автомобільних доріг у місті Чикаго
6.	Гібридний (Hybrid)	Поєднує окремі елементи традиційних контрактів та контрактів що засновані на показниках якості	Деякі роботи оплачуються на основі вартості за одиницю, а інші - пов'язані з ключовими показниками якості
7.	Агентство до агентства (Agency-to-agency)	Для утримання доріг певного регіону. Укладається між двома державними дорожніми підприємствами. Можливо укласти з містами	Штат Мічиган
8.	Гарантійний (Warranty-based)	Зобов'язує підрядника підтримувати актив у вказаному чи забезпеченому стані на визначений час.	Забезпечення рівності покриття 100% протягом 1-го року
9.	Мультифазовий (Multiphase)	Включає більше ніж одну фазу життєвого циклу активу, а також можуть включати в себе самофінансування підрядника	Утримання покриття протягом 3 років

Труднощі відносин адміністрацій та підрядників [7,8]:

**1) Рівень розвитку ринку виконавців.**

Для нормальної роботи підрядника потрібно визначити найефективніший тип ДККП, який відповідав би рівню розвитку ринку виконавців. Та на рівні держави впливати на динаміку розвитку даного сегменту ринку.

**2) Довгострокове фінансування багаторічних ДККП.**

В Україні формування держбюджету виконується кожен рік. Отже, гарантувати фінансування багаторічних ДККП на кожен рік майже неможливо. Тому така проблема може бути вирішена тільки на рівні керівництва держави-зобов'язанням фінансування ДККП кожен рік. Такі високі ризики можуть бути пом'якшені тільки дуже міцними партнерськими відносинами між замовником і виконавцем.

**3) Партнерські відносини.**

Міцні партнерські відносини між адміністрацією і підрядником можуть сильно впливати на легкість реалізації ДККП і якість утримання дорожньої мережі. В першу чергу міцність залежить від рівня макромеджменту адміністрації.

**4) Мотиваційний механізм.**

Як показує досвід країн, які вдало використовують ДККП, поштовхом для ефективної роботи виникнення гарних відносин замовника з виконавця та, мотиваційний механізм який стимулював би виконавця до виконання чи перевиконання, в заданий термін, показників якості, які зазначені та обумовлені в контракті (ДККП).

Аналізуючи попередньо викладену інформацію та враховуючи стан економіки, законодавчої бази, стан ринку підрядників та дорожньої галузі в цілому, то до основних проблем підчас адаптації ДККП в Україні можна віднести [9,10]:

- визначення та створення системи показників якості, за якою буде оцінюватись робота підрядної організації;
- рівень готовності законодавчої та нормативно правової бази для ефективного використання ДККП (багато нормативних актів і законопроектів суперечать потребам ДККП);
- готовність в довгостроковому та вчасному фінансуванні контракті.

**Висновки**

При впровадженні ДККП виникають ряд труднощів як внутрішньо адміністративних так і відносин між підрядником та замовником, які можна подолати тільки рядом реформ в законодавчій, економічній, професійній та

нормативно-правовій сферах Відповідно до досліджень фахівців Некомерційного партнерства дорожніх проектних організацій «РОДОС» в Росії складається схожа ситуація, тому для укладання довгострокових контрактів, необхідно виконати такі дії як [10,11]:

- виконати зміни законодавства відповідно до вимог;
- привести нормативну базу до відповідності згідно ДККП;
- зняти обмеження з звітності підрядників щодо витрат та забезпечити можливість вибору підрядником технологій та матеріалів;
- забезпечити чітке фінансування та акумулювання коштів в даному напрямку.

Незважаючи на усунення цих проблем, як зазначають експерти, найбільше і вагоме значення має рівень інфляції, що може завадити при впровадженні ДККП таким країнам, як Україна та Росія [10,11].

### **Література**

1. Соколова Н.М. Теоретичні аспекти довгострокових контрактів на основі кінцевих показників /Н.М. Соколова, О.П.Канін, А.М.Харченко // Управління проектами, системний аналіз і логістика. –К.: НТУ, 2013 – Вип. 11. Електронний ресурс] - Режим доступу:[http://publications.ntu.edu.ua/upravl\\_progect/11\\_2013/130-139.pdf](http://publications.ntu.edu.ua/upravl_progect/11_2013/130-139.pdf).
2. Методичні рекомендації з управління станом автомобільних доріг на основі довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та утримання доріг за показником рівня їх обслуговування. МР В.3.2-02070915-844:2014. – Київ, 2014.
3. Харченко А.М. Система управління станом доріг за показником рівня обслуговування в довгострокових контрактах з поточного дрібного ремонту та утримання доріг. / А.М.Харченко, О.П.Канін, Н.М.Соколова // Управління проектами, системний аналіз і логістика. – К.: НТУ – 2013. – Вип. 12.
4. Abdulla Salem Al-Kathairi, G. 2014. «Performance Based Road Asset Management System, with a case study: Abu Dhabi». Ottawa, Ontario 2014. CarletonUniversity. [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://https://curve.carleton.ca/system/files/etd/dbb982d8-47c9-4038-8b83-50229c4e6a06/etd\\_pdf/4b17c0fbc48fba429b0e445891834ae5/al-kathairi-performancebasedroadassetmanagementsystem.pdf](http://https://curve.carleton.ca/system/files/etd/dbb982d8-47c9-4038-8b83-50229c4e6a06/etd_pdf/4b17c0fbc48fba429b0e445891834ae5/al-kathairi-performancebasedroadassetmanagementsystem.pdf).
5. Станкевич Наталья, Кюреши Наваид и Кейроз Цезарь. Содержание и улучшение дорожной инфраструктуры с помощью контрактов, основанных на показателях качества работ / Н. Станкевич, Н. Кюреши, Ц. Кейроз // Транспортный бюллетень TN-27. – Вашингтон (США): Всемирный банк. – Сентябрь, 2005. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://www-esd.worldbank.org/pbc\\_resource\\_guide/Docs-latest%20edition/PBC/PBC\\_final\\_Russian\\_Jan16\\_2006.pdf](http://www-esd.worldbank.org/pbc_resource_guide/Docs-latest%20edition/PBC/PBC_final_Russian_Jan16_2006.pdf).

6. Kamalesh Panthi. A Methodological Framework for Modeling Pavement Maintenance Costs for Projects with Performance-based Contracts / Kamalesh Panthi // Florida International University, 2009 – 120p. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://digitalcommons.fiu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1163&context=etd>.

7. Performance-Based Contracting for Maintenance. TRB's National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Synthesis 389: Performance-Based Contracting for Maintenance explores experience with performance-based maintenance contracting in places where it has been adopted, including such issues as whether it has the potential to reduce costs and improve maintenance levels of service. – 2011. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.trb.org/Main/Blurbs/161949.aspx>.

8. Gerardo W. Flintsch, Alejandra Medina. «Performance-Based Road Maintenance Contracts for Sub-National Roads: Experience from Latin America». Washington, D.C. May 2007. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.lpcb.org/index.php/documents/road-maintenance/micro-enterprises/756-2007-latin-america-experiences-with-micro-enterprise-road-maintenance/file>.

9. Канін О.П. Еволюція розвитку та переваги застосування довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках, у дорожній галузі. / О.П.Канін, Н.М.Соколова, А.М.Харченко // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ – 2013. – Вип. [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/28\\_2013/496-504.pdf](http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/28_2013/496-504.pdf).

10. Харченко А.М., Мелешук Т.П. Аналіз світового досвіду впровадження та використання довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках. / А.М. Харченко, Т.П. Мелешук // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник. 93 випуск К.: НТУ-2015-С.138-144.

11. Села «утка» на дорогу. Транспорт России, № 19 (878) от 16 июля 2015 г. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.transportrussia.ru/avtomobilnye-dorogi/selautka-na-dorogu.html>.

**Рецензенти:**

Мозговий В.В., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.  
Безуглий А.О, канд. екон. наук, ДП "ДерждорНДІ".

**Reviewers:**

Mozhovy V.V., Dr. Tech. Sci., National Transport University.  
Bezuhly A.O., Cand.Econom. Sci., "DerzhdorNDI".

Стаття надійшла до редакції: **14.06.2016 р.**

УДК 625.7/.8 : 338

Харченко А.М., канд. техн. наук, Соколова Н.М., канд. екон. наук

## **МЕТОДИ АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТІВ ДЕРЖАВНО-ПРИВАТНОГО ПАРТНЕРСТВА В ДОРОЖНІЙ ГАЛУЗІ**

**Анотація.** В статті наведено методичні підходи та методи аналізу ефективності проектів державно-приватного партнерства в дорожній галузі.

Об'єкт дослідження – проект державно-приватного партнерства в дорожній галузі.

Метою статті є дослідження методів аналізу ефективності проектів державно-приватного партнерства та особливостей їх застосування в дорожній галузі України.

Стаття розкриває та узагальнює світовий досвід оцінки ефективності проектів державно-приватного партнерства, наводить основні методичні підходи і методи оцінки, які можуть бути успішно застосовані до проектів ДПП в дорожній галузі.

Матеріал даної статті є частиною «Методики оцінки ефективності проектів державно-приватного партнерства в дорожній галузі», розробниками якої є автори статті в рамках виконання науково-дослідної роботи за планом держбюджетних робіт Міністерства освіти і науки України №23 від 2 січня 2013 р. «Розвиток державно – приватного партнерства як складової управління проектами в дорожньому виробництві» і яка захищена свідоцтвом авторського права на науковий твір у 2014 році.

**Ключові слова:** державно-приватне партнерство (ДПП), проекти ДПП, оцінка ефективності, аналіз економічної ефективності проектів, мультикритеріальний аналіз, аналіз вигод та ризиків.

**Аннотация.** В статье приведены методические подходы и методы анализа эффективности проектов государственно-частного партнерства в дорожной отрасли.

Объект исследования - проект государственно-частного партнерства в дорожной отрасли.

Целью статьи является исследование методов анализа эффективности проектов государственно-частного партнерства и особенностей их применения в дорожной отрасли Украины.

Статья раскрывает и обобщает мировой опыт оценки эффективности проектов государственно-частного партнерства, приводит основные методические подходы и методы оценки, которые могут быть успешно применены к проектам ГЧП в дорожной отрасли.

Материал данной статьи является частью «Методики оценки эффективности проектов государственно-частного партнерства в дорожной отрасли», разработчиками которой являются авторы статьи в рамках выполнения научно-исследовательской работы по плану госбюджетных работ Министерства образования и науки Украины №23 от 2 января 2013 «Развитие государственно - частного партнерства как составляющей управления проектами в дорожном производстве» и которая защищена свидетельством авторского права на научный труд в 2014 году.

**Ключевые слова:** государственно-частное партнерство (ГЧП), проекты ГЧП, оценка эффективности, анализ экономической эффективности проектов, мультикритериальный анализ, анализ выгод и рисков.

**Abstract.** The article contains methodical approaches and methods for analyzing the effectiveness of public-private partnership in the road sector.

The object of study - a project of public-private partnership in the road sector.

The article is to study methods for analyzing the effectiveness of public-private partnerships and the characteristics of their application in the road sector in Ukraine.

The article reveals and generalizes the world experience evaluating the effectiveness of public-private partnership brings basic methodological approaches and valuation methods that can be successfully applied to PPP projects in the road sector.

The material of this article is part of the "Methods of assessing the effectiveness of public-private partnership in the road sector," which developers are authors within the framework of the research work plan for state budgetary works of Ministry of Education and Science of Ukraine №23 from January 2, 2013 "Development public - private partnerships as part of project management in road production" and is protected by copyright on scientific work in 2014.

**Keywords:** public-private partnership (PPP), PPP projects, valuation of effectiveness, cost-effectiveness analysis projects, multi-criteria analysis, risk-benefit analysis.

**Постановка проблеми.** Враховуючи рух України в Європейському напрямку, задачі реформування вітчизняного дорожньо-транспортного комплексу набувають гострої актуальності, зокрема, з новими силами піднімається питання впровадження державно-приватного партнерства (ДПП) в дорожню галузь. Досвід розвинених країн показав, що підходи ДПП в області розвитку інфраструктури дозволили урядам ефективніше використовувати інвестиції для підвищення якості послуг та для задоволеності кінцевих споживачів. Проте, основною проблемою повноцінного впровадження принципів ДПП в Україні є законодавчі перепони, які реалізуються, з одного боку, в недосконалому чинному та новоприйнятому законодавстві щодо ДПП, а, з другого боку, в недоліку ряду необхідних для галузі документів методичного характеру (стандартів, методик, методичних рекомендацій тощо). Так, в існуючому законодавстві найменше приділено увагу проблемі аналізу ефективності проекту ДПП в галузі інфраструктури, що визначає актуальність проведеного авторами дослідження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемам аналізу проектів в рамках державно-приватного партнерства присвячені роботи таких учених як Schlitt B., Rainer E., Holmes S., Hunter E., Rowan K., Бондар Н.М., Варнавського В.Г., Клименка А. В., Корольова В.А. та ін. Проте потребує уваги і наукового дискусю розробка методики аналізу ефективності проектів державно-приватного партнерства для дорожньої галузі.

**Метою статті** є дослідження методів аналізу ефективності проектів державно-приватного партнерства та особливостей їх застосування в дорожній галузі України.

#### **Виклад основного матеріалу.**

Враховуючи зарубіжний досвід, було встановлено основні методичні підходи до аналізу ефективності проектів державно-приватного партнерства для дорожньої галузі (рис.1, табл.1) [1].

Існує велика кількість різноманітних методів оцінки проектів ДПП в дорожньому виробництві різних країн. Виділимо основні з них, які є найбільш адаптивними до дорожньої галузі України, на наш погляд:

1. Аналіз економічної ефективності проектів ДПП (Cost Effective Analysis).
2. Мультикритеріальний аналіз (Multi-Criterion Analysis).
3. Аналіз вигод та ризиків (Risk Benefit Analysis). [2]

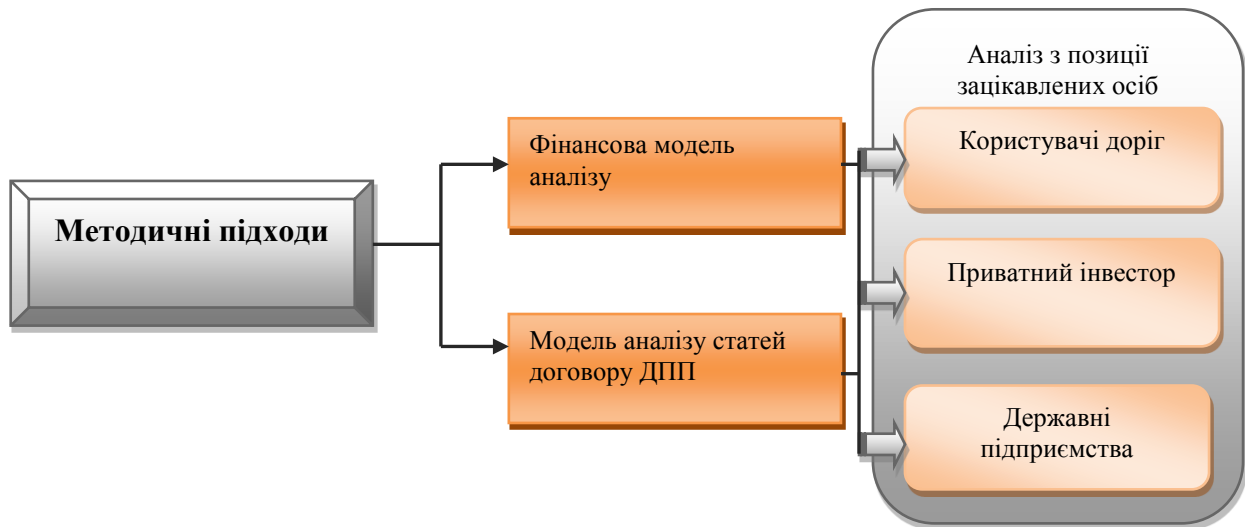


Рисунок 1 – Методичні підходи до аналізу ефективності проектів ДПП

Таблиця 1 – Аналіз проектів з позиції зацікавлених сторін ДПП

Зацікавлені особи	Фінансова модель аналізу	Модель аналізу статей договору ДПП
Користувачі доріг	Аналіз витрат користувачів	Роль держави в забезпеченні захисту інтересів користувачів доріг
Приватний інвестор	Аналіз процесу виконання проекту Оцінка ризиків проекту	Ризики та підтримка приватного інвестора
Державні підприємства	Визначення вигод держави	Оцінка ризиків державних підприємств

**Аналіз економічної ефективності (СЕА)** ґрунтується на порівнянні показників ефективності альтернативних проектів. Для цього використовуються загальноприйняті методи, методики, підходи до оцінки інвестицій.

Взагалі, СЕА вирішує проблему оптимізації ресурсів, що, як правило, виражається в наступних двох формах [3]:

- при фіксованих обмеженнях бюджету і виконанні  $n$  альтернативних проектів, рішення приймаються виходячи з визначеної ефективності ( $E$ );
- здається фіксований рівень  $E$ , який має бути досягнутий; критерієм прийняття рішення є мінімізація витрат ( $C$ ).

Взагалі аналіз економічної ефективності має на меті перевірку нульової гіпотези, що середня рентабельність одного проекту ( $a$ ) відрізняється від середньої економічної ефективності деяких конкуруючих проектів ( $b$ ). Це визначається як відношення:

$$R = (Ca - Cb) / (Ea - Eb) = \Delta C / \Delta E. \quad (1)$$

Коли стратегія виявляється більш ефективною і менш дорогою, ніж альтернатива, то:

$$Ca - Cb < 0 \text{ і } Ea - Eb > 0. \quad (2)$$

Тим не менш, в більшості випадків, проект, що розглядається може бути одночасно і більше (або менше) дорогим і більш (або менш) ефективним, ніж альтернативний:

$$Ca - Cb > 0 \text{ and } Ea - Eb > 0, \quad (3)$$

або, як альтернатива,

$$Ca - Cb < 0 \text{ and } Ea - Eb < 0. \quad (4)$$

У цій ситуації, інкрементні співвідношення витрат і ефективності дозволяють при оцінці альтернативних проектів ранжувати їх і визначити, а потім і усунути, випадки "тривалої переваги".

**Мультикритеріальний аналіз (МСА)** базується на визначенні та врахуванні при обґрунтуванні рішень щодо проектів ДПП ваги декількох критеріїв чи ефектів. Наприклад, якщо є наступні критерії-переваги проекту ДПП: скорочення ДТП ( $A$ ), естетична привабливість доріг ( $S$ ), і економія часу проїзду ( $T$ ), а також їх відповідні вагові коефіцієнти  $a$ ,  $s$ , і  $t$ , то загальна вигода ( $B$ ), визначається за формулою:

$$B = a \times A + s \times S + t \times T. \quad (5)$$

Слід зазначити, що в результаті  $B$  може бути оцінена як індекс ефективності витрат,  $B / C$  (де  $C$  вартість в грошових одиницях).

Головна перевага МСА є те, що він дозволяє враховувати кілька інтересів осіб, які приймають рішення щодо ДПП. Окремо слід зупинитися на факторному аналізі, як різновиді мультикритеріального аналізу. Основне припущення факторного аналізу (ФА) полягає в тому, що в основі вимірювання

лежать (або можуть бути використані для пояснення складних явищ) фактори. Загалом, модель для стандартизованої  $i$ -тої змінної записується як рівняння [4]:

$$X_i = A_{i1} \times F_1 + A_{i2} \times F_2 + \dots + A_{ik} \times F_k + U_i, \quad (6)$$

де  $F$  - група факторів за однорідною ознакою;

$U$  - єдиний фактор в групі;

$A$  – кількість повторювань факторів в  $k$  групі.

Крім того, загальний вираз оцінки  $j$ -го фактору наступний:

$$F_j = \sum W_{ji} \times X_i = W_{j1} \times X_{i1} + W_{j2} \times X_2 + \dots + W_{jp} \times X_p, \quad (7)$$

де  $W$  – оцінка фактору (коефіцієнт в балах);

$p$  - кількість змінних.

Kaiser-Meyer-Olkin (КМО) і Теста Бартлетта [4]. Ці моделі були успішно використані для аналізу факторів, що впливають на реалізацію проектів дорожньо-ремонтних робіт в рамках ДПП, в Англії.

Для оцінки та встановлення відносної важливості причини затримки виконання будівельних проектів в рамках ДПП в Гонконзі вчені Чан і Кумарасвам [4] запропонували і успішно реалізували метод "середнього балу". Цей метод полягав в анкетному опитуванні замовників, консультантів та підрядників щодо їх оцінки вагомості запропонованих в анкеті факторів. Для цього була використана п'ятибальна шкала Лайкерта (1 - найменш важливий і 5 - найважливіший фактор). Ці рейтинги дозволили триангулювати відносну важливість факторів ризику. Середній бал ( $MS$ ) для кожного фактора ризику був обчислений за формулою.

$$MS = \sum (f \times s) / N, (1 \leq MS \leq 5), \quad (8)$$

де  $s$  оцінка надано кожному фактору ризику респондентами, від 1 до 5 (1 - найменш важливий і 5 - найважливіший фактор);

$f$  частота кожного рейтингу (1-5) для кожного фактора ризику;

$N$  загальне число відповідей.

Робочий приклад мультикритеріального аналізу, що заснований на результатах дослідження, викладених в [5], виглядає наступним чином.

Представники обох сторін реалізації проекту в рамках ДПП, попередньо визначивши та узгодивши критерії, виконують пріоритезацію згідно основних принципів МСА. У таблиці 2 наведений приклад пропонованих критеріїв і керівні принципи для оцінки кожного критерію. Дані критерії можуть оцінюватися за їх вагомістю для проекту ДПП.

**Таблиця 2** – Пропоновані керівні принципи для прийняття рішення за мультикритеріальним методом

№	Критерій (оцінка від 1 до 10 балів)	Високий бал (8-10)	Середній бал (4-7)	Низький бал (0-3)
1	Фінансові можливості / підтримка держави	Швидше за все життєздатний проект: > 20%; не потребує державної підтримки	Швидше за все життєздатний проект: > 20%; не потребує державної підтримки	Проект не життєздатний <14%; потребує державної підтримки
2	Ступінь стійкості проекту ДПП до ризику	Існує ймовірність настання декількох ризиків, але в проекті передбачено їх мінімізацію	Виявлені ризики в значній мірі можуть бути пом'якшені	Багато ризиків, лише декілька з них можуть бути пом'якшені
3	Наявність економічного обґрунтування соціально-економічних ефектів від реалізації проекту	IRR>15%; Значний макроефект	12%-15% IRR; Посередній макроефект	IRR<12%; Помірний макроефект
4	.....	.....	.....	.....

Головна перевага МСА методу є можливість ранжирування проектів на основі безліч критеріїв, який може або не може бути виражено у грошовому виразі, що за будь-яких інших умов не можна привести до спільного знаменника, щоб забезпечити прямі порівняння між ними за аналогічною шкалою. Хоча економічний показник (в результаті аналізу витрати-вигоди), як і раніше грає помітну роль в аналізі, і не тільки як його параметр, а визначає пріоритетність різних дорожніх проектів.

Найбільш поширеним методом є розрахунок окремих показників за критерієм, застосування вагових коефіцієнтів для кожного критерію та підведення підсумків різних компонентів в один бал, проект дороги. Метод також може бути представлено у матричному форматі (таблиця 3):

$$S_j = \sum_{i=1}^n W_i C_{ij}, \quad (9)$$

де  $S_j$  – загальна оцінка проекту «j»;

$C_{ij}$  – оцінка критерію «i» для проекту «j»;

$W_i$  - вага критерію «j».

**Таблиця 3** – Матриця прийняття рішення за мультикритеріальним методом

Проект J	1	2	3	...	j
Критерій i					
1	$W_1C_{11}$	$W_1C_{12}$	$W_1C_{13}$	...	$W_1C_{1j}$
2	$W_2C_{21}$	$W_2C_{22}$	$W_2C_{23}$	...	$W_2C_{2j}$
3	$W_3C_{31}$	$W_3C_{32}$	$W_3C_{33}$	...	$W_3C_{3j}$
4	$W_4C_{41}$	$W_4C_{42}$	$W_4C_{43}$	...	$W_4C_{4j}$
5	$W_5C_{51}$	$W_5C_{52}$	$W_5C_{53}$	...	$W_5C_{5j}$
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
N	$W_nC_{n1}$	$W_nC_{n2}$	$W_nC_{n3}$	...	$W_nC_{nj}$
Оцінка проекту $S_j$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	...	$S_j$

Критерії можуть бути незваженими або зваженими. Спочатку передбачається, що незважені критерії мають незмінне значення. Якщо деякі критерії вважаються більш важливими, ніж інші, то вони повинні бути зважені відповідно.

Приклад зважування критеріїв за МСА методом наведено в таблиці 4.

**Таблиця 4** – Приклад зважування критеріїв за МСА методом

Критерій	Зважування* (у середньому за критерій=10.0)
Фінансова здійсненність/ Бюджетна підтримка	15
Готовність і ризик	15
Соціально економічні вигоди (в тому числі в сфері зайнятості та боротьби з безробіттям)	10
Регіональний розвиток / вклад в ВВП	10
Сектор мережі / запланована роль і значення в секторі	12
Національна безпека	0
Доступність земельних ділянок для будівництва та реконструкції	11
Середовище	11
Вплив на доходи від експорту	10
Безпека	11
Тип проекту / Вартість	5
Попит (y) / Потужність (i)	10
Середньозважений критерій (сума, поділена на 12)	10

\*) Примітка: загальне зважування повинно відповідати 10 або середньому значенню.

Таблиця 4 показує, що ваговий коефіцієнт, який менше 10 означає, що критерій оцінюється менше, ніж в середньому, а вага понад 10 оцінюється як суб'єктивне значення.

В цілях мінімізації суб'єктивізму, цей процес виконується за допомогою команди, яка завдана в управління проектом ДПП. Результати визначення ваги критеріїв при цьому усереднюються.

Алгоритм прийняття рішення щодо проекту ДПП за МСА аналізом представлено на рис. 2.

Оцінка ефективності проекту в рамках ДПП повинна включати такі напрямки:

- встановлення граничних значень для основних критеріїв прийняття рішень щодо проекту;
- оцінка фінансової (комерційної) можливості реалізації проекту;
- оцінка економічної ефективності проекту в цілому;
- оцінка ефективності проекту для сторонніх економічних суб'єктів, інтереси яких зачіпаються в процесі реалізації проекту, наприклад, для населення країни або регіону (оцінка суспільної і регіональної ефективності);
- оцінка соціальної і екологічної ефективності проекту;
- оцінка ефективності участі в проекті для кожного учасника.

**Аналіз вигод та ризиків (RBA).** Одним з ключових питань у проектах ДПП є аналіз і розподіл різних ризиків (наприклад, ризик незавершеного будівництва, ризики експлуатації, комерційний ризик, фінансовий ризик, юридичний ризик, політичний ризик, екологічний ризик і т.д.), пов'язаних з партнерством між державним та приватним секторами. Цей вид аналізу виконується за допомогою загальноприйнятої практики аналізу ризиків проектів. Його перевагами є врахування природи кожного ризику проекту ДПП під час укладання угоди про співробітництво між державою і приватним сектором.

За рівнем впливу на процес виконання проекту в рамках ДПП ризики розподіляються на: низькі, помірні, повні, втому числі, мінімальні, оптимальні, допустимі, середні, максимальні, критичні, катастрофічні. Втрати за катастрофічних ризиків є найбільшими, а за мінімальних – найменшими.

Економічні ризики за сферою впливу поділяються на зовнішні і внутрішні. Інший варіант поділу за сферою впливу передбачає виокремлення 4 груп ризиків: державні ризики; регіональні ризики; ризики галузевого

походження; ризики, що виникають на мікрорівні, тобто безпосередньо на підприємстві, тобто виробничі ризики.

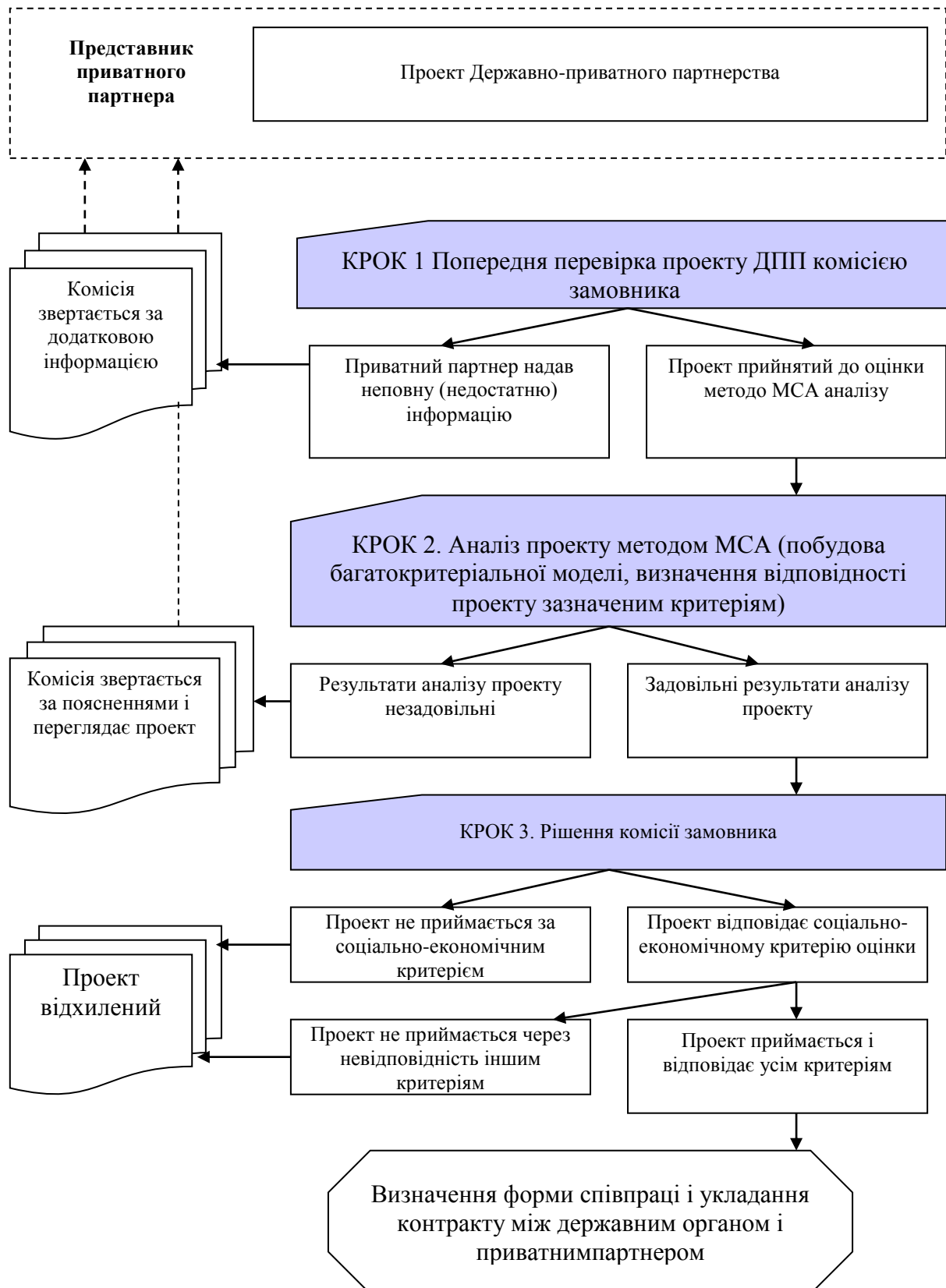


Рисунок 2 – Алгоритм прийняття рішення за МСА аналізом

Галузевий ризик – результат відображення на функціонуванні підприємства динамічних особливостей певної галузі, визначених її життєвим циклом. Одним з основних способів виміру рівня галузевого ризику є обчислення  $\beta$  – коефіцієнта галузі, який визначає рівень коливань чи відхилень результатів діяльності конкретної галузі по відношенню до результатів діяльності всієї економіки країни. Для аналізу рівня галузевого ризику необхідна широка база даних різних макроекономічних показників за тривалий період часу.

Галузевий ризик пов'язаний з економічною фінансовою динамікою самої галузі. Чим галузь динамічніша, тим вищий ступінь ризику. Наприклад, при будівництві автомобільних доріг необхідно з максимальною ймовірністю спрогнозувати навантаження на таку дорогу по добовій кількості автомобілів і чи зможе вона в запланований період компенсувати понесені затрати, забезпечити закладений показник прибутку.

В процесі фінансової діяльності управління ризиками здійснюється у відповідності з політикою управління фінансовими ризиками – системою цілей і завдань управління ризиками, а також сукупністю методів і засобів досягнення цих цілей. Політика управління ризиками знаходить своє відображення у стратегії і тактиці виявлення та нейтралізації ризиків. Процес управління ризиками є досить складним.

Оцінка ризиків передбачає визначення:

- ступеню ймовірності їх виникнення;
- можливих негативних наслідків;
- рівня загрози виникнення ризику, що може вплинути на виконання умов договору та обсяг можливих збитків.

Рівень загрози виникнення ризику визначається як низький, середній або високий.

Під час проведення оцінки ризиків доцільно застосовувати один або кілька методів:

- статистичний метод, який полягає у визначенні рівня загрози виникнення ризику залежно від ступеня ймовірності його виникнення;
- метод експертних оцінок, який полягає у проведенні оцінки ризиків групою експертів та визначенні за результатами такої оцінки ризику з найбільшим рівнем загрози його виникнення.

Реалізація статистичного методу вимагає обробки накопичених історично даних про реалізацію проектів ДПП, що в даний момент практично неможливо, основним методом оцінки ризиків залишається метод експертних оцінок.

При складанні класифікації ризиків рекомендується використання базисних принципів ринкової економіки, що зумовлює диференційоване ставлення до результату, який сприймається як ризик.

До таких принципів належать:

- свобода споживчого вибору і поведінки (комерційні ризики);
- свобода вибору професійної діяльності (ризики професійної діяльності);
- свобода підприємництва (підприємницькі ризики);
- раціональна поведінка всіх учасників ринку, тобто прагнення оптимізувати свою вигоду (мінімум витрат – максимум користі).

Ризики рекомендовано оцінювати з точки зору ймовірності виникнення ( $P$ ) і вартості впливу на проект ДПП ( $T$ ).

$$R_{E,i} = T_{E,i} \times P_i. \quad (10)$$

Вартість ризику ( $R$ ) є змінною, яка залежить від незалежних параметрів – ймовірності появи ( $P$ ) і вартості впливу ( $T$ ).

Серйозність ризику може бути проаналізована або за допомогою портфеля діаграм, де зазначені області прийняття ризику або ABC аналізом очікуваного ризику.

Техніко-економічні обґрунтування і рекомендації щодо моніторингу проекту у світовій практиці за *RBA* аналізом розроблюються на підставі результатів аналізу фінансової оцінки, моделювання та оптимізації ризиків.

### **Висновки**

Оцінка ефективності проекту в рамках ДПП повинна включати такі напрямки:

- встановлення граничних значень для основних критеріїв прийняття рішень щодо проекту;
- оцінка фінансової (комерційної) можливості реалізації проекту;
- оцінка економічної ефективності проекту в цілому;

- оцінка ефективності проекту для сторонніх економічних суб'єктів, інтереси яких зачіпаються в процесі реалізації проекту, наприклад, для населення країни або регіону (оцінка суспільної і регіональної ефективності);
- оцінка соціальної і екологічної ефективності проекту;
- оцінка ефективності участі в проекті для кожного учасника.

### **Література**

1. Государственно-частное партнерство: теория и практика/ В. Г.Варнавский, А. В. Клименко, В. А. Королев и др. ; Гос. ун-т – Высшая школа экономики. – М. :Изд. дом Гос. ун-та Высшей школы экономики, 2010. – 287 с.
2. Schlitt, Rainer, 2003, «Public-private partnerships for public infrastructure projects? – Objectives and experiences in Germany and Europe». : [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.eib.org/about/press/2003/2003-037-public-private-partnerships-objectives-and-experiences-in-germany-and-europe.htm>
3. Про затвердження Порядку надання приватним партнером державному партнеру інформації про виконання договору, укладеного у рамках ДПП : Постанова Кабінету Міністрів України № 81 від 9 лютого 2011 р. / Кабінет Міністрів України // Офіційний вісник України : [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.kmu.gov.ua>
4. Про затвердження методики виявлення ризиків, пов'язаних з ДПП, їх оцінки та визначення форми управління ними : Постанова Кабінету Міністрів України № 232 від 16 лютого 2011 р. // Офіційний вісник України. – 2011. – № 18. – С. 769.
5. Про затвердження порядку надання державної підтримки здійсненню державно-приватного партнерства : Постанова Кабінету Міністрів України № 279 від 17 березня 2011 року / Кабінет Міністрів України // Офіційний вісник України : [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.kmu.gov.ua>
6. Risk Management in PPP Maintenance Projects of Communal Street Networks / CIB World Building Congress 2007.

#### **Рецензенти:**

Угненко Є.Б., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Безуглий А.О., канд. екон. наук, ДП "ДерждорНДІ".

#### **Reviewers:**

Uhlenko E.B., Dr. Tech. Sci., Kharkov National Automobile and Highway University.

Bezuhlyi A.O., Cand.Econom. Sci., "DerzhdorNDI".

Стаття надійшла до редакції: **31.05.2016 р.**

## ТРАНСПОРТНІ СПОРУДИ

УДК 551.583+625.72

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

### ОЦЕНКА ОСЦИЛЛЯЦИЙ ВРЕМЕННОГО РЯДА ТЕМПЕРАТУР

**Анотація.** Розглянута довгострокова поведінка ряду приземної температури повітря та ряду її осциляцій у м. Києві.

Об'єкт дослідження: часові ряди середньодобових та середньорічних температур за період 1881...2011 роки.

Мета роботи: оцінка зміни характеру осциляцій ряду температури з часом. Відзначаються діаметрально протилежні тенденції ходу температури та ступеня її осциляції (якщо температура повітря з часом поступово зростає, то ступінь її осциляції неухильно знижується).

**Ключові слова:** температурний часовий ряд, міра осциляції ряду температури, непараметричний критерій оцінки.

**Аннотация.** Рассмотрено долговременное поведение ряда приземной температуры воздуха и ряда ее осцилляций в г. Киеве.

Объект исследования: временные ряды среднесуточных и среднегодовых температур за период 1881...2011 годы.

Цель работы: оценка изменения характера осцилляций ряда температуры с течением времени.

Отмечены диаметрально противоположные тенденции хода температуры и степени ее осцилляции (если температура воздуха со временем постепенно увеличивается, то степень ее осцилляции неуклонно снижается).

**Ключевые слова:** температурный временной ряд, мера осцилляции ряда температуры, непараметрический критерий оценки.

**Abstract.** In article deals the long-term behavior of the time series of air surface temperature in Kiev and its oscillation.

The object of study is a time series of daily average temperature for the period 1881...2011 years.

The aim of the work is the estimate changes in the character of the time series oscillations over time. It was found that over time the temperature is gradually increased while decreasing the degree of oscillation.

**Keywords:** temperature time series, oscillations time series measure, nonparametric test.

При решении подавляющего большинства задач дорожного строительства учитываются данные по приземной температуре воздуха.

В настоящее время температурные условия на территории Украины постепенно меняются. Измерения характеризуются преимущественно ростом температуры, особенно в холодные сезоны года. Как следствие, повышается температура поверхности грунта.

В этой связи анализ и прогноз температуры и влияние ее на состояние автомобильных дорог приобретает особую актуальность [1].

В статье проводится исследование особенностей осцилляций ряда приземной температуры, которые недостаточно точно освещены в литературе. Установлены тенденции хода степни осцилляции и приведено ее сравнение с ходом температуры с точки зрения линейных трендов.

#### **Анализ осцилляций ряда температур методом стандартного отклонения**

Динамика процессов в климатологии носит колебательный характер. При изучении таких процессов особо актуальным является применение методов, позволяющих на основе анализа особенностей колебаний оценить не только состояние, но и степень изменчивости этих процессов [2].

На рис. 1 представлен график ряда среднегодовых температур в г. Киеве.

Как видно, график постепенно поднимается вверх, что подтверждает гипотезу глобального потепления на данный момент времени [3,4].

Традиционно для анализа данных по ходу соответствующих параметров климата используются тренды, представляющие собой систематическую линейную или нелинейную компоненту, которая достаточно медленно изменяется во времени [5].

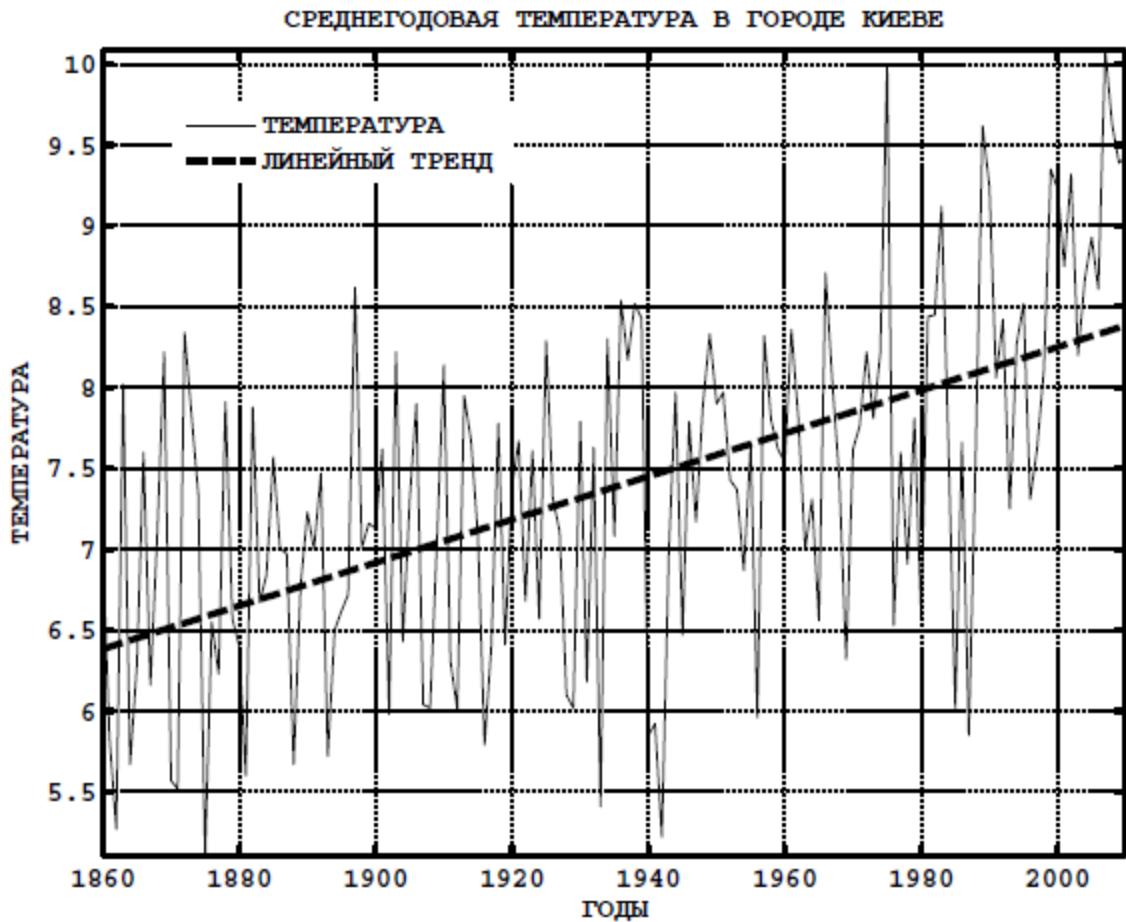


Рисунок 1 – Среднегодовая температура в г. Киеве

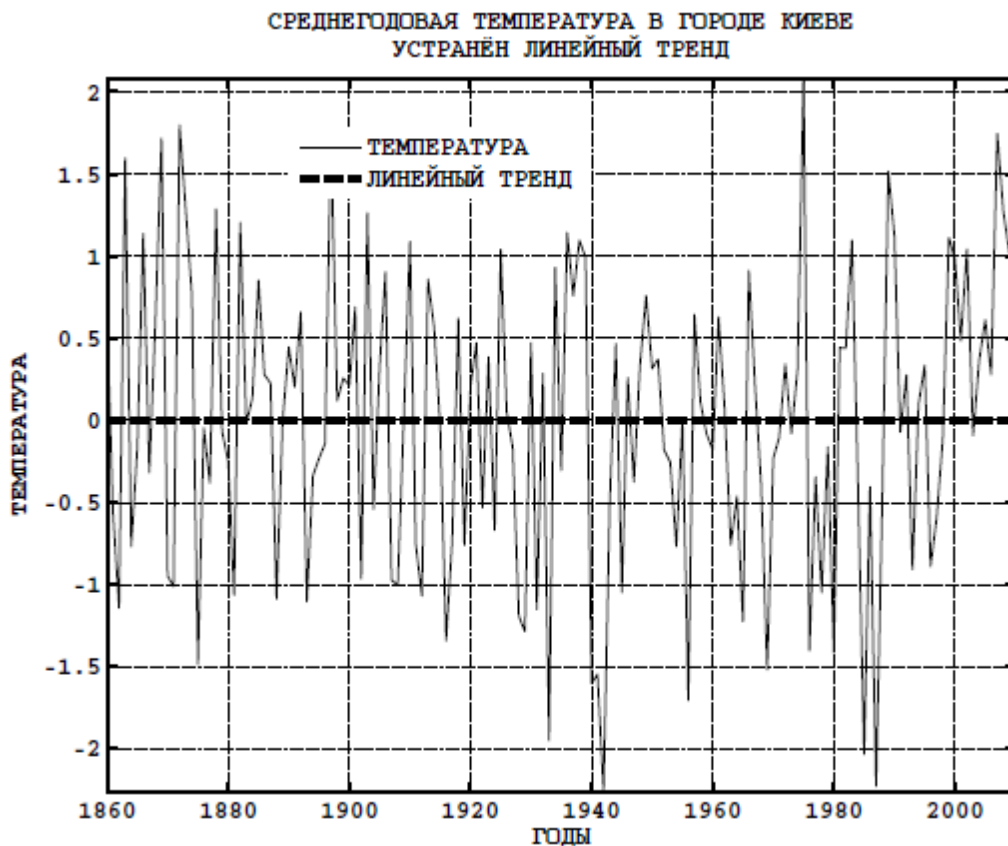
На рис. 1 также приведен линейный тренд, т.е. график линейной функции, аппроксимирующий ряд среднегодовых температур. Тренд построен с помощью метода наименьших квадратов (минимизированы среднеквадратичные ошибки).

Как известно, один из простейших способов лучше оценить осцилляции любого исходного ряда – это устранение линейного тренда. Многие методы анализа временных рядов начинаются именно с устранения линейного тренда.

Заметим, что некоторые процедуры прогнозирования работают значительно лучше именно при предварительном устранении линейного тренда из ряда исходных данных.

Практически всегда операция по устранению линейного тренда выполняется перед проведением Фурье-анализа и часто перед проведением

других методов анализа. Если вычесть линейный тренд из исходного ряда среднегодовых температур, получим график с «нулевым» трендом (см. рис. 2).



**Рисунок 2** – Среднегодовая температура в г. Киеве. Устранен линейный тренд

Понятно, что операции с линейным трендом не самый лучший способ исследования осцилляций ряда. Можно, например, применить достаточно большое число раз процедуру «скользящего усреднения», а далее вычесть полученный таким образом «криволинейный» тренд из исходного ряда. Однако, если не оговаривать детально алгоритм и конкретную процедуру получения такого тренда, то при различных подходах к его построению в итоге можно получить существенно различные результаты.

При использовании стандартной процедуры построения линейного тренда тем не менее всегда имеется возможность получать сопоставимые результаты (при данном методе его построения).

Далее рассмотрим характер изменения осцилляций ряда температуры с течением времени. Для этого необходимо иметь определенную меру,

позволяющую измерять степень осцилляции ряда. В качестве такой меры на первом этапе исследования было использовано стандартное отклонение, поскольку уже из самого его определения следует, что такой показатель может характеризовать и степень осцилляции ряда.

Как известно, стандартное отклонение является абсолютной мерой изменчивости и зависит от уровня исследуемого временного ряда. В этой связи по стандартному отклонению можно сравнивать изменчивость только сходных по уровню (среднему значению) временных рядов.

Для сравнения изменчивости рядов с существенно отличными уровнями (средними значениями) обычно используют коэффициент вариации [6]. Коэффициент вариации – это относительная мера изменчивости. Если выполняются условия похожести по уровню исследуемых рядов, допустимо использовать вместо коэффициента вариации величину стандартного отклонения.

Выполненные расчеты, где величины стандартных отклонений были заменены на величины коэффициентов вариации, не приводили к качественному изменению вида соответствующих графиков.

В численном эксперименте по оценке осцилляции ряда температуры использовался временной ряд среднесуточных приземных температур воздуха в г. Киеве за период 1881...2011 годы.

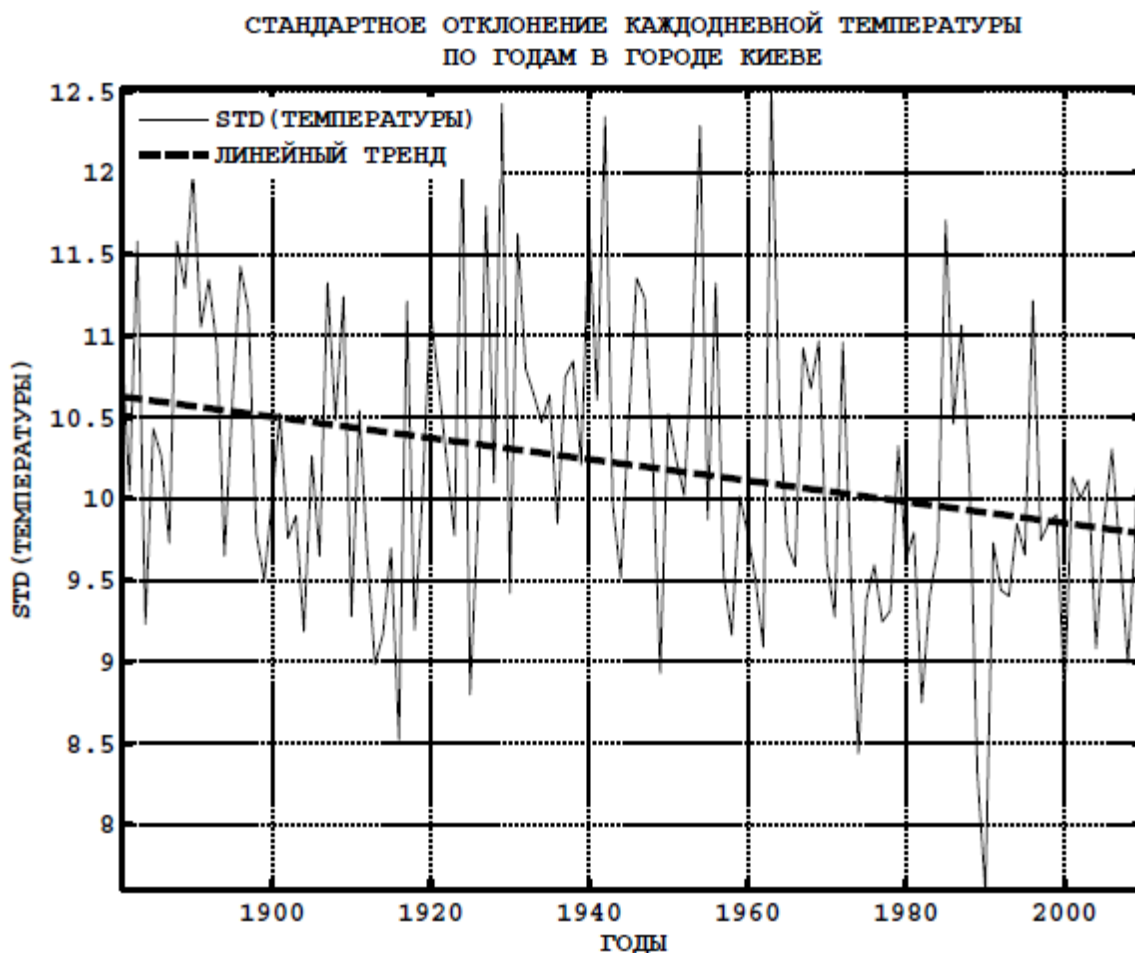
С целью упрощения программы для ПЭВМ принималось, что использовано за каждый год только 365 значений ряда, т.е. 29 февраля высокосных годов в исходные данные не вводились.

Далее для всех 365 дней каждого года вычислялось стандартное отклонение. При этом исходный ряд среднесуточных температур предварительно не обрабатывался.

Таким образом, рассчитав стандартное отклонение для 365 дней каждого года, получали конкретное число – меру осцилляции ряда для данного года, а затем строили зависимость стандартного отклонения (меры осцилляции) по годам (см. рис. 3).

Как видно, исходный график стандартных отклонений сильно осциллирует.

Если устранить линейный тренд из полученного ряда стандартных отклонений, можно более четко оценить особенности такого ряда (см. рис. 4).



**Рисунок 3** – Стандартное отклонение каждодневной температуры по годам в г. Киеве

Проведенные расчеты показали диаметрально противоположные тенденции хода температуры и степени ее осцилляции: если температура воздуха со временем постепенно увеличивается, то степень ее осцилляции, наоборот, неуклонно снижается.

### **Использование непараметрического показателя вариации**

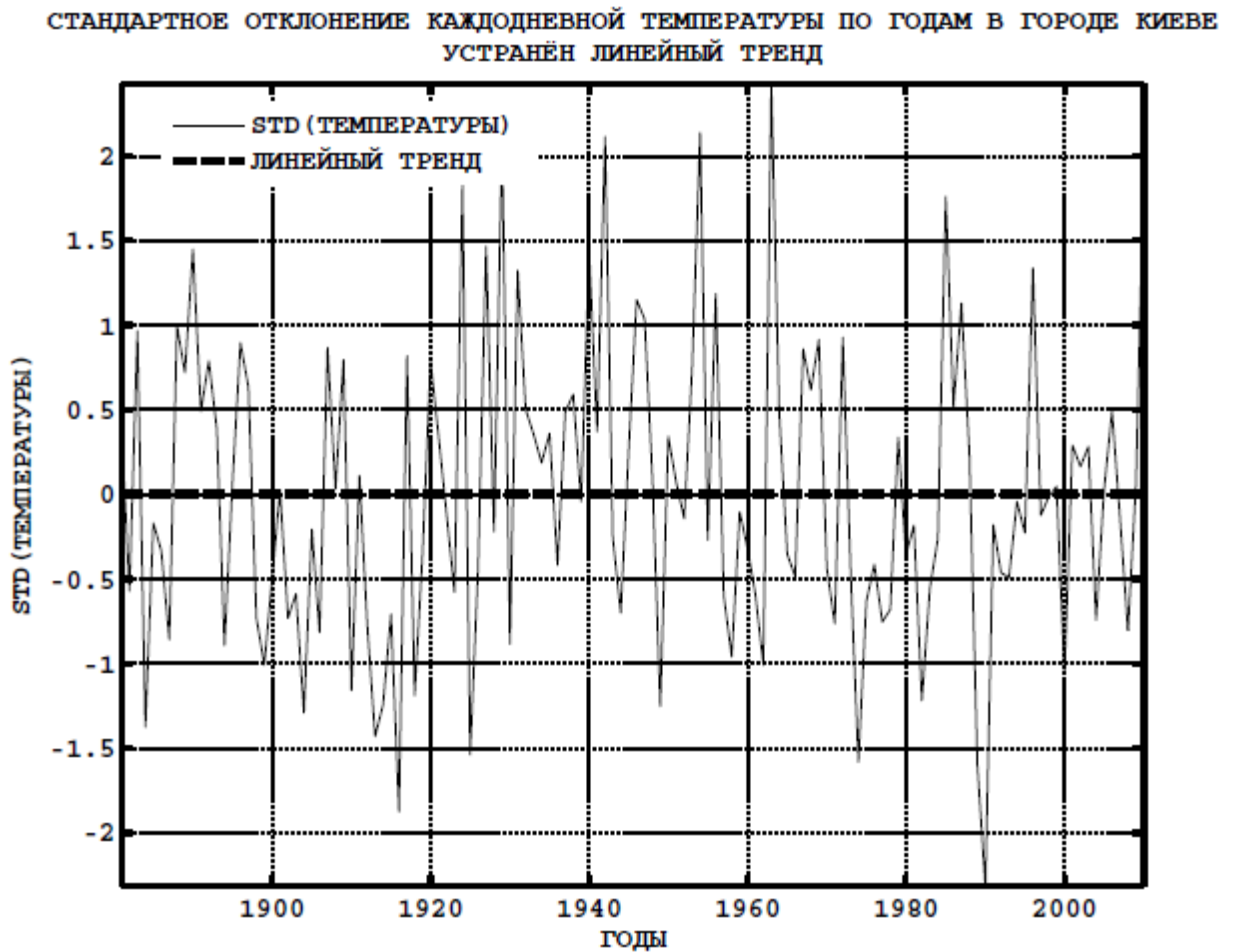
Как известно, применение нескольких взаимодополняющих методов анализа данных позволяет значительно повысить надежность результатов исследования.

В этой связи в качестве еще одного показателя для анализа осцилляций временного ряда температур использовался непараметрический показатель вариации вида:

$$D = \frac{x_1 - x_2 + x_2 - x_3 + \dots + x_{n-1} - x_n}{n-1}, \quad (1)$$

где  $x_i$  – значения временного ряда динамического процесса, замеренные через равные интервалы времени;

$n$  – число замеров.



**Рисунок 4** – Стандартное отклонение каждодневной температуры по годам в г. Киеве. Устранен линейный тренд

Данный показатель позволяет демонстрировать изменения в состоянии исследуемого процесса даже в случаях, когда применение других критериев нецелесообразно.

В нотации *MATLAB* непараметрический показатель вариации (1) приобретает вид

$$S = S ;$$

$$LS = LENGTH S ; \quad (2)$$

$$D = SUM ABS DIFF S \cdot LS - 1,$$

где  $S$ – исходный ряд (ряд длиной 365 значений для одного года);

$LS$ –длина исходного ряда  $LS > 2$  ;

$D$ –мера осцилляции ряда, скаляр (для одного года, т.е. для 365 соответствующих значений).

При применении критерия (2) в итоге был получен несколько иной временной ряд, чем при использовании стандартного отклонения.

Однако, как видно из рис. 5, в этом случае также наблюдается явное понижение графика, как и при предыдущем анализе (прямые линии трендов в обоих случаях идут вниз).

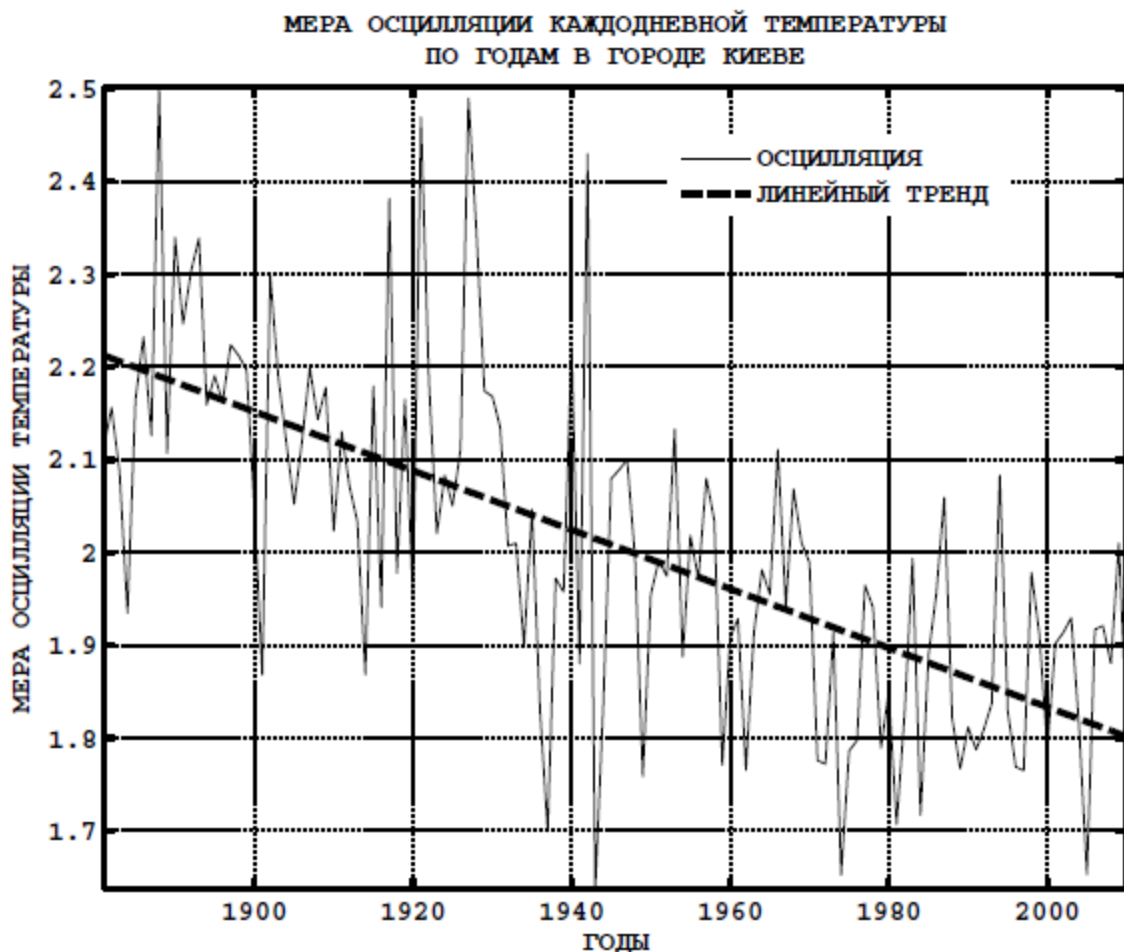
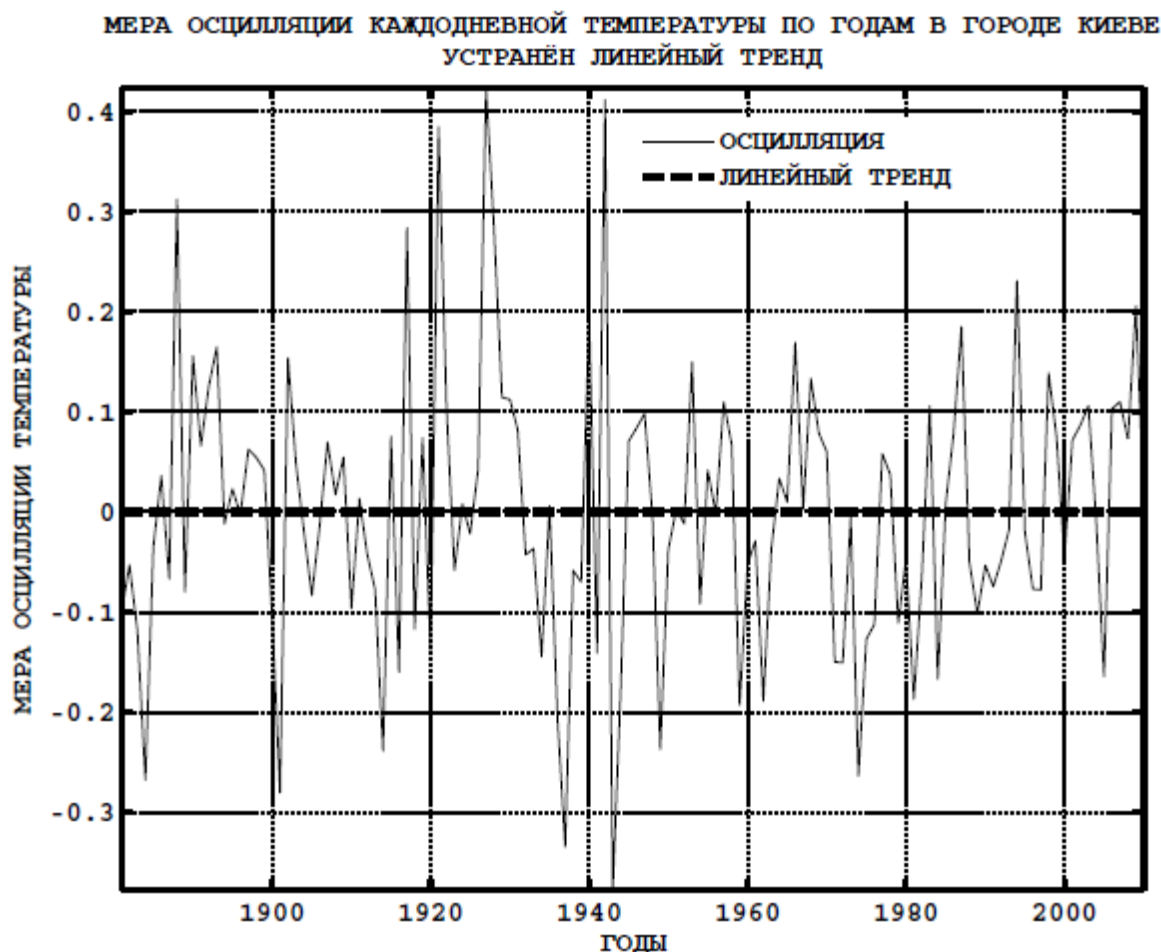


Рисунок 5 – Мера осцилляции каждодневной температуры по годам в г. Киеве

На рис. 6 представлений результат вичитання лінійного тренда з ряду мери осциляції.



**Рисунок 6** – Мера осцилляций каждодневной температуры по годам в г. Киеве. Устранен линейный тренд

Данный ряд в итоге может быть условно разделен на две части с существенно различным поведением – до 1940 г. и после этого года.

В этой связи, по-видимому, можно также говорить о соответствующем фазовом переходе в ряде меры осцилляций температуры.

Таким образом, и в данном случае по г. Киеву фиксируется устойчивое повышение температуры при явном понижении степени ее осцилляций.

## **Выводы**

Проведенны исследования по современному режиму приземной температуре по в г. Киеве.

С использованием различных подходов к оценке степени осцилляции установлено, что ход степени осцилляции оказывается противоположным ходу температуры с точки зрения линейных трендов ( по мере постепенного возрастания температуры степень ее осцилляции уменьшается).

В этой связи весьма упрощенно снижение степени осцилляции можно трактовать с тех позиций, что определенная температура в г. Киеве за последние годы «сохраняется» дольше (наблюдается значительно меньше случаев ее частых изменений).

Дальнейший совместный анализ рядов температуры и степени осцилляции позволит лучше оценить поведение климатической системы, что открывает дополнительные возможности при ее долгосрочном прогнозировании.

## **Литература**

1. Литвиненко А.С. Дослідження циклічності погодно-кліматичних умов України в зв'язку з прогнозуванням впливу небезпечних природних явищ на стан автомобільних доріг/Дороги і мости, вип. 5. –К.: ДерждорНДІ. – 2006. –74-89.
2. Климатология// О.А. Дроздов, В.А. Васильев, Н.В. Кобышева и др. –Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 568 с.
3. Клімат України// За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К.: Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с.
4. Клімат Києва// За ред. В.І. Осадчого, О.О. Косовця, В.М. Бабіченко. –К.: Ніка-Центр, 2010. – 320 с.
5. Исаев А.А. Статистика в метеорологии и климатологии. –М.: Изд-во МГУ, 1988. – 248 с.
6. Чернышева Л.С., Платонова В.А. Расчет и интерпретация основных климатологических показателей отдельных метеорологических величин. Учебно-методическое пособие. –Владивосток: Изд-во Дальневосточного ун-та, 2009. – 88 с.

### **Рецензенти:**

Кузло М.Т., д-р техн. наук, Національний університет водного господарства та природокористування.

Гончаренко Ф.П., канд. техн. наук, ДП "Укрдіпроддор".

### **Reviewers:**

Kuzlo M.T., Dr. Tech. Sci., National University of Water and Environmental Engineering.

Honcharenko F.P., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), "Ukrdiprodor".

Стаття надійшла до редакції: **31.05.2016 р.**

УДК 624.154

**Жеребят'єв О.В.**, канд. техн. наук, **Фурсович М.О.**, канд. техн. наук,  
**Супрунюк В.В.**, канд. техн. наук

## **ГЕОТЕХНІЧНИЙ КОНТРОЛЬ МАСИВНИХ ҐРУНТОВИХ НАСИПІВ**

**Анотація.** У статті розглянуто історію виникнення геотехнічного контролю і його теоретичну і практичну сутність.

**Ключові слова:** геотехнічний контроль, характеристики ґрунтів, надійність.

**Аннотация.** В статье рассмотрена история возникновения геотехнического контроля и его теоретическую и практическую сущность.

**Ключевые слова:** геотехнический контроль, характеристики ґрунтов, надёжность.

**Анотація.** The article reviews the history of the geotechnical monitoring and its theoretical and practical nature.

**Keywords:** geotechnical control, soil characteristics , reliability.

Необхідність рішення задач, пов'язаних з визначенням надійних розрахункових показників для перевірки несучої здатності та визначення деформацій ґрунтових споруд та їх основ диктується потребами інженерної практики. В зв'язку з ускладненням умов будівництва, освоєнням більш складних територій, що раніше вважалися непридатними для будівництва, збільшенням висоти споруд тощо, вимоги до методів реальної оцінки розрахункових характеристик ґрунтів підвищуються. Традиційні методи визначення розрахункових показників в значній мірі вичерпали свої можливості. В той же час використання більш досконалих підходів до визначення розрахункових характеристик зустрічається з певними труднощами.

В певній мірі ці труднощі пов'язані з тим, що немає достатньої кількості публікацій і чітких інструкцій по багатофакторній імовірнісній оцінці розрахункових характеристик ґрунтів, що були б добре зрозумілими широкому колу інженерів-проектантів і будівельників.

В даній статті викладені результати більш як тридцятирічних досліджень при зведенні ґрунтових споруд Дністровської ГЕС-1, ГЕС-2, та Дністровської ГАЕС. Особливість оцінок полягає в тому, що дані геотехконтролю на названих

об'єктах знайшли порівняння і аналіз після вище вказаного терміну від початку експлуатації більшої частини цих споруд. Велика увага приділяється багатофакторній імовірнісній оцінці характеристик, а також натурних досліджень ґрунтів у польових умовах, яким віддається перевага при оцінці надійності роботи споруди.

Проаналізовані також роботи у галузі геотехнічного контролю на великих ґрунтових гідротехнічних спорудах України (Київської ГЕС і ГАЕС, Кременчуцької ГЕС тощо).

Здебільшого в практиці проектування багатьох об'єктів, призначення параметрів характеристик ґрунтів здійснюється в значній мірі на основі аналогів – вже побудованих в аналогічних умовах споруд та за недостатньо конкретними вимогами діючих норм [1]. Без заперечення такого підходу, зроблена спроба розглянути цю задачу з точки зору кількісної оцінки ризиків, пов'язаних з роботою конструкції греблі і впливу геотехнічного контролю на цей процес.

Згідно з чинними нормами геотехнічний контроль якості основ і ґрунтових споруд проводиться для:

- перевірки забезпечення значень фізико - механічних характеристик ґрунтів, прийнятих у розрахунках при проектуванні цих споруд, з урахуванням конструкції і технології їх зведення;
- накопичення і аналізу даних про фізико-механічні характеристики ґрунтів з метою виявлення закономірностей їх змін, що виникають в процесі укладання, а також, у випадку внесення коригування в технічні умови (ТУ) на зведення земляних споруд і основ;
- оцінки і коригування прийнятої технології зведення споруд із ґрунтових матеріалів;
- оцінки фізико-механічних характеристик ґрунтів в період їх укладання в тіло споруди, та їх зміни при введенні споруд в експлуатацію і в період їх експлуатації.

Забезпечення в процесі зведення ґрунтових споруд проектних фізико – механічних характеристик ґрунтів переважно визначає надійність і довговічність роботи споруди. Такі оцінки надійності виконуються як в рамках методологій граничних станів, покладених в даний час в основу розрахунків, так і при ймовірнісних оцінках методів розв'язання задач.

Отже, видно, що геотехнічний контроль не є чисто механічною

операцією, подібною до звичайного виробничого контролю, який зводиться до простого порівняння будівельної продукції з деяким еталоном. Геотехнічний контроль – це **багатофакторний розгалужений процес**, який має всебічні зв'язки впливу як на технологію так і на конструкцію споруди і властивості матеріалів (рис.1).

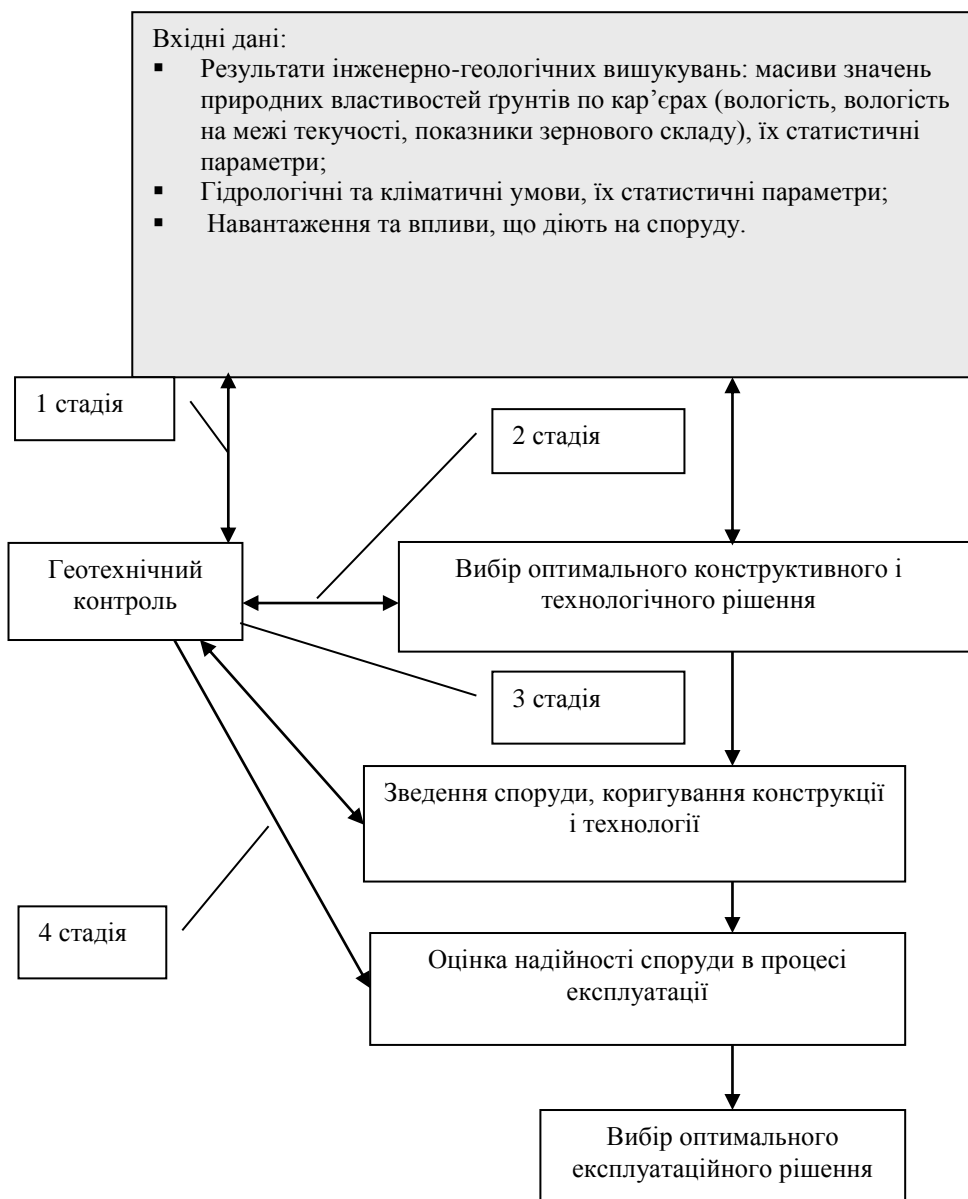
Узагальнено можна сформулювати наступне визначення: **геотехнічний контроль** – це тривалі дослідження ґрунтів, призначених для укладання в споруду в природному стані в процесі відкривання і розробки кар'єрів, аналіз можливих змін їх властивостей в масиві споруди (або в основі), коригування технології розробки ґрунтів в кар'єрах і ущільнення їх в споруді, аналіз характеристик ґрунтів в завершеній споруді та аналіз надійності споруди. Причому на різних етапах проведення цих робіт виникають якісно різні задачі. Наявність зворотних зв'язків у схемі геотехнічного контролю вказує на необхідність наукової оцінки при виборі конструкції споруди, технології її зведення і забезпечення надійності. Тобто можна стверджувати, що причиною наукового аналізу є необхідність оптимізації надійності гідротехнічної споруди і одночасне усунення внутрішніх протиріч які виникають в проекті без урахування цих зв'язків.

Такий підхід до геотехнічного контролю зумовлений в першу чергу унікальністю кожної великою гідротехнічної споруди, відповідальністю і значними негативними наслідками аварій на важливих гідротехнічних спорудах. Крім того, необхідність зворотних зв'язків при проектуванні і будівництві ґрунтових споруд полягає у поступовому коригуванні проекту ґрунтової споруди відносно початкової технології і конструкції оскільки на початок будівництва не завжди відомі всі неоднорідності кар'єрних ґрунтів, геологічні та гідрологічні особливості їх залягання.

Вперше польові геотехнічні контрольні дослідження були застосовані на Шведських державних дорогах. В 1926р К.Терцаги [2] застосував цей метод на будівництві греблі водосховища Гренвіл-Дем, де питання про протифільтраційні заходи можна було вирішити лише після заповнення водосховища і проведення спостережень за втратами води.

В колишньому СРСР цей метод був широко застосований при будівництві гідротехнічних споруд на р.Свір. На цьому будівництві М.М.Маслов вперше організував службу геотехнічного контролю і лабораторію з механіки ґрунтів, що дозволило провести ряд досліджень, в тому числі із

штучного регулювання осідання споруди. М.Н. Гольдштейном було накопичено значний досвід роботи лабораторій і станцій геотехнічного контролю на багатьох великих об'єктах. В результаті цих досліджень [3] було переконливо підтверджено, що для правильного вирішення більшості практичних задач в галузі геотехніки важливим є поступове уточнення інженерно – геологічних даних, яке здійснюється в процесі розробки котлованів, уточнення характеристик ґрунтів і проведення необхідних натурних і лабораторних досліджень. Одночасно з цими дослідженнями проводилися визначення напружень і деформацій в основах і ґрунтових спорудах.



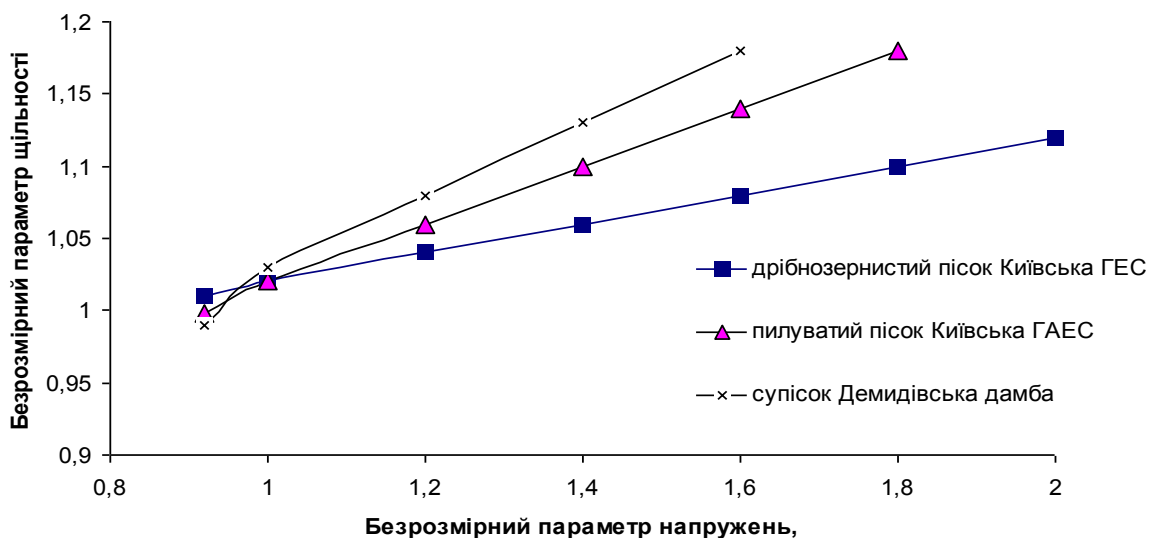
**Рисунок 1** – Структурно-логічна схема використання геотехнічного контролю і його результатів для оцінки конструкції, технології і експлуатації ґрунтових споруд

Всі ці дослідження дозволяли своєчасно вносити в проект необхідні зміни, які гарантували міцність та стійкість споруд.

В Україні досвід проведення такого геотехнічного контролю мав місце при спорудженні гідроелектростанцій Дніпровського каскаду: Каховської, Кременчуцької, Київської ГЕС і Київської ГАЕС, ґрунтових споруд каналу Сіверський Донець – Донбас, Дніпро - Донбас тощо. Серед робіт, в яких розглянуто особливості геотехнічного контролю на тих чи інших спорудах і питань, з ним пов'язаних, слід відзначити роботи М.П.Павчича, А.М.Рижова, В.П.Віхарєва, І.С.Міца, М.М.Маслова, М.Н.Гольдштейна, А.Х.Теплицького, О.Л.Філахтова, та інших. Велика увага питанням геотехнічного контролю приділялася в енергетичному, транспортному та водогосподарському будівництві [4] ДПТ, «Атоменергобудпроекту», УкрГІНІТИЗ, Укрдіпроводбуд, НДІБК, НУВГП.

Значний внесок в розвиток геотехнічного контролю зробив А.М.Рижов. Він вперше запропонував залежності між безрозмірними показниками напружень і щільності в критичному стані для дрібнозернистих пісків Київської ГЕС, пилюватих пісків Київської ГАЕС, супісків Демидівської дамби [4].

Знайдені ним параметри критичної щільності відіграють ключову роль в якості інваріантів в теорії фізичного моделювання при оцінці адекватних значень механічних властивостей ґрунтів. Зв'язок між ними встановлений експериментально (рис. 2).



Рисунк 2 – Залежності між безрозмірними параметрами напружень  $N_\sigma$  та параметрами щільності  $N_\gamma$

За допомогою безрозмірних критеріїв механічного стану можна проектувати рівномічні або рівно деформаційні земляні споруди, фіксуючи при розробці проектів певний рівень деформацій об'єму або міцності.

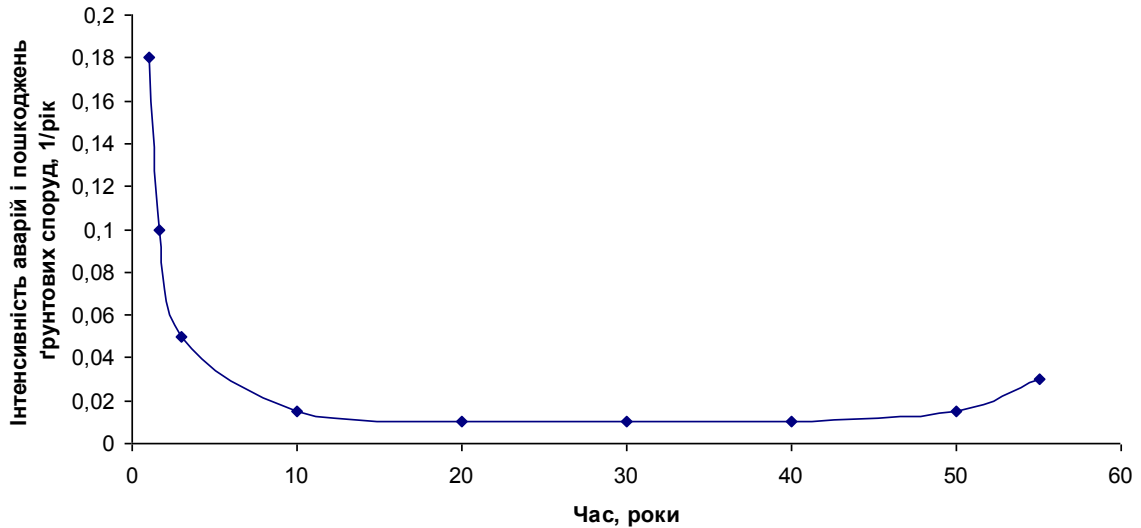
В Україні протягом ХХ століття трапилося дві великі аварії на ґрунтових греблях. Перша – це сумнозвісна Куренівська трагедія, де загинуло за неофіційними джерелами близько 1,5 тис людей (реальні дані розслідувань були знищені владою). Друга аварія сталася на греблі Стебницького гірничо – хімічного підприємства «Полімінерал», де в результаті зсуву на низовому укосі і переливу рідини було зруйновано ґрунтову греблю висотою 22м. Тоді 4,5млн. м<sup>3</sup> калійних відходів потрапили в р.Дністер забруднивши її на ділянці довжиною до 250км. Можна з впевненістю стверджувати, що відсутність належного геотехнічного контролю була однією з основних причин руйнації споруд як в першому так і в другому випадках.

На графіку (рис. 3) показана залежність інтенсивності аварій і пошкоджень від часу, що визначається за виразом:

$$\lambda = \frac{n}{N \cdot \Delta T} \quad (1)$$

де  $n$  - кількість аварій за період часу  $\Delta T$ ;  $N$  - середня кількість гребель, що справно працювали за період часу  $\Delta T$ . Графік результатів статистичного аналізу кількості аварій і пошкоджень вказує на важливість впливу геотехнічного контролю на надійність ґрунтових гребель впродовж їх будівництва і експлуатації. Особливість великих ґрунтових гребель полягає в тому, що введення їх в експлуатацію відбувається поступово, (з добудовою споруд), тобто в період, коли інтенсивно проводиться геотехнічний контроль і коли його роль дуже висока.

В основу геотехнічного контролю за зведенням ґрунтових споруд Дністровської ГЕС-1, ГЕС-2, та Дністровської ГАЕС було покладено метод математичного планування експерименту (МПЕ), сутність якого полягає в отриманні поліноміальних емпіричних залежностей між фізичними характеристиками ґрунтів (вологість на межі текучості, максимальна вологоємність, показники зернового складу  $X_i$ ), факторами напруженого стану і механічними властивостями, що забезпечують надійність споруд (модуль деформації, опір зсуву, коефіцієнт фільтрації  $Y_i$ )  $Y = f(X_i)$ .



**Рисунок 3** – Графік залежності інтенсивності аварій і пошкоджень ґрунтових гребель від терміну їх експлуатації

Наявність цих рівнянь дозволяє з одного боку суттєво уточнити нормативні і розрахункові показники ґрунту в споруді, а з іншого боку проводити «гнучкий» геотехнічний контроль за змінним параметром, який найбільш впливає на надійність споруди.

Нормативне значення характеристики, що розраховується за поліноміальними моделями, визначалося за формулою

$$Y_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i, \quad (2)$$

де  $\hat{Y}_i$  - значення характеристики, яке знайдене за залежністю (частіше всього поліноміальним рівнянням) зв'язку між параметрами, що встановлюються під час геотехнічного контролю;  $n$  - кількість дослідних точок.

Ефективність проектування із застосуванням цих залежностей збільшується за рахунок:

- кількісної ув'язки природних властивостей ґрунтів, значень щільності після ущільнення з водопроникністю, опором зсуву і можливістю їх регулювання;
- значно більшим “представництвом” в розрахункових характеристиках даних вишукувань;

- збільшення точності визначення розрахункових характеристик при оптимальних витратах ресурсів;
- можливістю гнучкого коригування технології зведення споруди.

Ці зміни застосувались вже на першій стадії вивчення ґрунтів і зведення споруд Дністровського гідровузла. Протягом проведення геотехнічного контролю вносилися зміни в проектну документацію – тимчасові технічні умови (ТТУ) вносились регулярно за рекомендаціями НУВГП. Всього при будівництві Дністровської ГЕС-1 вийшло п'ять редакцій ТТУ.

Таким чином, на цих прикладах можна констатувати, що геотехнічний контроль дає змогу поступово наближати процес моделювання характеристик ґрунту і його роботи в конструкції до натурної споруди і поступово відкидати не суттєві фактори. Моделі створені без поступового наближення до реальності і врахування масштабних ефектів щільності і навантажень призводять до значних похибок при розрахунках деформацій і напружень в спорудах, виникненню тріщин і зон граничного стану. Це іще раз підтверджує тезу про те що ефективний розвиток механіки ґрунтів можливий на дослідному та теоретичному рівні **при поступовому коригуванні** отриманих суттєвих моделей з натурними даними.

Досвід будівництва великих енергетичних об'єктів показує, що при значному будівництві і складних геологічних умовах неможливо в звичайні терміни, відведені для вишукувань і проектування, зробити докладні інженерно-геологічні дослідження ґрунтів і точно передбачити майбутні опади й умови порушення стійкості споруди. Однієї з причин цього є неоднорідність ґрунтових товщ і кар'єрних матеріалів, що мають змінні значення механічних властивостей.

Геотехнічні дослідження (геотехнічний контроль), що починаються разом з будівельними роботами, коли відбувається розкриття кар'єрів і котлованів включають проведення безпосередньо на площадці безперервні контрольні вишукування й іспити ґрунтів, спостереження за деформаціями, дозволяють коректувати первісні вихідні дані проекту. Для їхнього проведення на будівництвах організуються постійно діючі геотехнічні лабораторії, що безупинно ведуть спостереження за властивостями ґрунтів, що розкриваються, поводженням дамб, що відсипаються, і гребель і деформаціями споруджень.

Лабораторія НУВГП систематично вела такого роду контрольні

дослідження на Дністровському гідровузлі та Дністровській ГАЕС і вони дали цікаві матеріали по ряду питань геотехніки. Досвід цих робіт показав, що будівельні геотехнічні дослідження дозволяють не тільки істотно підвищити надійність спорудження, але й оптимізувати його за рахунок застосування більш економічних методів будівництва, більшої вивченості кар'єрних матеріалів. Проведення аналогічних робіт на інших об'єктах є цілком виправданим.

### **Література**

1. Руководство по геотехническому контролю за подготовкой оснований и возведением грунтовых сооружений в энергетическом строительстве РД 34 15.073-91 ВНИИГ. – Ленинград, 1991. – 436 с.

2. Терцаги К. Строительная механика грунта на основе его физических свойств. – М.: Госстройиздат, 1933. – 421 с.

3. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. (Основные компоненты грунта и их взаимодействие). – М., 1973. – 367 с.

4. Рыжов А.М. Введение в нелинейную механику грунтов и физическое моделирование оснований. – Запорожье: РИП «Видавець», 1995. – 447 с.

#### **Рецензенти:**

Кузло М.Т., д-р техн. наук, Національний університет водного господарства та природокористування.

Усиченко О.Ю., канд. техн. наук, Національний транспортний університет.

#### **Reviewers:**

Kuzlo M.T., Dr. Tech. Sci., National University of Water and Environmental Engineering.

Usychenko O.Yu., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **05.07.2016 р.**

УДК 539.3

Лоза І.А., д-р фіз-мат наук, Шаповалова А. І.

**ПРО ПОШИРЕННЯ ОСЕСИМЕТРИЧНИХ АКУСТОЕЛЕКТРИЧНИХ  
ХВИЛЬ У СУЦІЛЬНИХ П'ЄЗОКЕРАМІЧНИХ ЦИЛІНДРАХ З  
ОСЬОВОЮ ПОЛЯРИЗАЦІЄЮ**

**Анотація.** В статті запропоновано застосування правила Лопіталя-Бернуллі для отримання розв'язуючої системи рівнянь задачі про поширення осесиметричних акустоелектричних хвиль у суцільних п'єзокерамічних циліндрах, яка не містить особливої точки.

Об'єкт дослідження – суцільні п'єзокерамічні циліндри.

Мета роботи виведення розв'язуючої системи рівнянь задачі про поширення осесиметричних акустоелектричних хвиль у суцільних п'єзокерамічних циліндрах, яка не містить особливої точки.

Мета дослідження – система рівнянь задачі про поширення осесиметричних акустоелектричних хвиль у суцільних п'єзокерамічних циліндрах, яка не містить особливої точки.

Розв'язуюча система рівнянь, яка описує дану задачу має особливу точку  $r = 0$ . Навіть для випадку однорідного циліндру отримання аналітичного розв'язку в циліндричних функціях пов'язано зі значними математичними складнощами і можливо лише за умови певної симетрії властивостей матеріалу. Це випадок осьової поляризації п'єзокераміки для повздовжніх хвиль та випадок колової поляризації для крутильних хвиль. Однак після отримання даного розв'язку, при його чисельному аналізі, виникає проблема апроксимації циліндричних функцій степеневими рядами, збіжності степеневих рядів до заданої функції, тощо. Можливо саме тому в роботах де отримано аналітичний розв'язок даних задач не наведено результатів чисельного аналізу. Відзначимо, що по сьогоднішній день менш вивченими являються задачі, коли матеріал циліндру являється неоднорідним. Це зумовлено тим, що при зв'язаних видах руху відповідні крайові задачі не допускають розв'язку в циліндричних функціях.

В даній роботі запропоновано застосування правила Лопіталя-Бернуллі для отримання розв'язуючої системи рівнянь, яка не містить особливої точки.

Отриману крайову задачу можна інтегрувати чисельним методом, наприклад, методом дискретної ортогоналізації. Перевагою даного підходу є та обставина, що не виникає особливих складнощів при інтегруванні даної задачі зі змінними коефіцієнтами. Наприклад, коли фізико-механічні властивості матеріалу циліндру є не сталими, а функціями товщинної координати. Функції, які описують фізико механічні властивості матеріалу можуть бути як кусково-неперервними (шаруватий матеріал), так і континуально неперервними (градієнтні матеріали). У першому випадку, до вказаних рівнянь, слід додати умови спряження на межах розділу двох матеріалів, у другому випадку необхідно задати закон зміни властивостей матеріалу по товщині.

**Ключові слова:** суцільні п'єзокерамічні циліндри, акустoeлектричні хвилі, електропружність.

**Аннотация.** В статье предложено применение правила Лопиталья-Бернулли для получения разрешающей системы уравнений задачи о распространении осесимметричных акустоэлектрических волн в сплошных пьезокерамических цилиндрах, которая не содержит особой точки.

Объект исследования – сплошные пьезокерамические цилиндры.

Цель работы – вывод разрешающей системы уравнений задачи о распространении осесимметричных акустоэлектрических волн в сплошных пьезокерамических цилиндрах, которая не содержит особой точки.

Метод исследования – система уравнений задачи о распространении осесимметричных акустоэлектрических волн в сплошных пьезокерамических цилиндрах, которая не содержит особой точки.

Решающая система уравнений, которая описывает эту задачу, имеет особую точку  $r = 0$ . Даже для случая однородного цилиндра получение аналитического решения в цилиндрических функциях связано со значительными математическими трудностями и возможно лишь при условии определенной симметрии свойств материала. Это случай осевой поляризации пьезокерамики для продольных волн и случай круговой поляризации для крутильных волн. Однако после получения данного решения, при его численном анализе, возникает проблема аппроксимации цилиндрических функций степенными рядами, сходимости степенных рядов к заданной функции и т.д. Возможно, именно поэтому в работах, где получено аналитическое решение данных задач,

не приведены результаты численного анализа. Отметим, что по сегодняшний день менее изученными являются задачи, когда материал цилиндра является неоднородным. Это обусловлено тем, что при связанных видах движения соответствующие краевые задачи не допускают решения в цилиндрических функциях.

В данной работе предложено применение правила Лопиталья-Бернулли для получения разрешающей системы уравнений, которая не содержит особой точки. Полученную краевую задачу можно интегрировать численным методом, например, методом дискретной ортогонализации. Преимуществом данного подхода является то обстоятельство, что не возникает особых сложностей при интегрировании данной задачи с переменными коэффициентами. Например, когда физико-механические свойства материала цилиндра являются не постоянными, а функциями толщинной координаты. Функции, описывающие физико-механические свойства материала, могут быть как кусочно-непрерывными (слоистый материал), так и непрерывными (градиентные материалы). В первом случае, к указанным уравнениям, следует добавить условия сопряжения на границах раздела двух материалов, во втором случае необходимо задать закон изменения свойств материала по толщине.

**Ключевые слова:** сплошные пьезокерамические цилиндры, акустоэлектрические волны, электроупругость

**Abstract.** The paper proposes the usage of the rule of Bernoulli to get a system of equations that solves the problem of propagation of axisymmetric acoustoelectric waves in solid piezoceramic cylinders which doesn't have an isolated singularity.

Object of the study - solid piezoceramic cylinders.

Purpose of the study – to draw the system of equations that solves the problem of propagation of axisymmetric acoustoelectric waves in solid piezoceramic cylinders that doesn't have an isolated singularity.

Method of the study - the system of equations that solves the problem of spreading of axisymmetric acoustoelectric waves in solid piezoceramic cylinders, which does not have an isolated singularity.

The solving system of equations describing this problem has an isolated singularity –  $r = 0$ . Even in case of a homogeneous cylinder acquiring of an analytical solution among cylindrical functions has many mathematical difficulties and can only be possible if the material has certain symmetric properties - axial polarization of

longitudinal waves and circular polarization of torsional waves in piezoceramic materials. However, when this solution is found, some other issues, such as a problem of approximation cylindrical functions with power series or convergence of power series with given function, occur during its numerical analysis. All mentioned above could be considered as a main cause of why no numerical results presented in works with analytical solutions. In general the least studied to date are problems, when material is not homogeneous, which can be explained by the fact that the corresponding boundary value problems do not allow to find the solution of cylindrical functions in case of the bound types of movement.

The work proposes to apply the rule of Bernoulli to acquire the solving system of equations that does not have an isolated singularity. The received boundary value problem can be integrated using a numerical method, for example, the method of discrete orthogonalisation can be applied. The advantage of this technique is that there are any considerable difficulties with integrating this value problem with variable coefficients, for instance, if physical and mechanical characteristics of the cylinder are not constant, but functions of thickness coordinates. Functions describing mechanical and physical characteristics can be piecewise continuous (layered material) or continual continuous (functionally graded materials). In the first case, matching conditions at the boundaries should add to given functions between two materials. In the second case, it is necessary to add the law of variation of the material properties through thickness.

**Keywords:** solid piezoceramic cylinders, acoustoelectrical waves, elastoelectricity

### **Вступ**

Побудова дисперсійних співвідношень для акустоелектричних хвиль, що поширюються у циліндрі пов'язане з необхідністю розв'язання досить складної задачі про утворення плоских хвиль, які відбиваються від циліндричної границі. Вперше набори частинних розв'язків диференціальних рівнянь у частинних похідних (рівняння Ляме) у циліндричних координатах були побудовані в роботах Похгамера [1] та Крі [2,3]. З того часу виконано значну кількість робіт, присвячених дослідженню поведінки акустоелектричних хвиль у циліндричному хвилеводі кругового поперечного перерізу. Зміст проведених досліджень досить повно відображений в оглядах [4,5] та монографіях [6,7]. Слід підкреслити, що науковий інтерес до такого об'єкту, як циліндр, зумовлений з однієї сторони практичним значенням геометрії циліндра, а

іншого боку – можливістю вивчити вплив кривизни, типу симетрії руху на характеристики хвильового поля. Розв’язуюча система рівнянь, яка описує дану задачу має особливу точку  $r=0$ . Навіть для випадку однорідного циліндру отримання аналітичного розв’язку в циліндричних функціях пов’язано зі значними математичними складнощами і можливо лише за умови певної симетрії властивостей матеріалу. Це випадок осьової поляризації п’езокераміки для повздовжніх хвиль та випадок колової поляризації для крутильних хвиль. Однак після отримання даного розв’язку, при його чисельному аналізі, виникає проблема апроксимації циліндричних функцій степеневими рядами, збіжності степеневих рядів до заданої функції, тощо. Можливо саме тому в перших роботах де отримано аналітичний розв’язок даних задач не наведено результатів чисельного аналізу. Відзначимо, що по сьогоднішній день менш вивченими являються задачі, коли матеріал циліндру являється неоднорідним. Це зумовлено тим, що при зв’язаних видах руху відповідні крайові задачі не допускають розв’язку в циліндричних функціях.

В даній роботі запропоновано застосування правила Лопіталя-Бернуллі для отримання розв’язуючої системи рівнянь, яка не містить особливої точки.

### **1. Постановка задачі. Розв’язуюча система рівнянь.**

Повна система рівнянь, що описує дану задачу складається з рівнянь вісесиметричного повздовжнього руху у циліндричній системі координат  $r, \theta, z$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{1}{r} \sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta} + \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial z} + \rho \omega^2 u_r &= 0; \\ \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial r} + \frac{1}{r} \sigma_{rz} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \rho \omega^2 u_z &= 0; \end{aligned} \quad (1)$$

рівнянь електростатики

$$\frac{\partial D_r}{\partial r} + \frac{1}{r} D_r + \frac{\partial D_z}{\partial z} = 0; E_r = -\frac{\partial \varphi}{\partial r}; E_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z}; \quad (2)$$

геометричних співвідношень

$$\varepsilon_{rr} = \frac{\partial u_r}{\partial r}; \varepsilon_{\theta\theta} = \frac{1}{r} u_r; \varepsilon_{zz} = \frac{\partial u_z}{\partial z}; \varepsilon_{rz} = \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial u_r}{\partial z}; \quad (3)$$

та матеріальних співвідношень, які для випадку осьової поляризації мають вигляд

$$\begin{aligned}
 \sigma_{rr} &= c_{11}\varepsilon_{rr} + c_{12}\varepsilon_{\theta\theta} + c_{13}\varepsilon_{zz} - e_{11}E_z; \\
 \sigma_{\theta\theta} &= c_{12}\varepsilon_{rr} + c_{11}\varepsilon_{\theta\theta} + c_{13}\varepsilon_{zz} - e_{13}E_z; \\
 \sigma_{zz} &= c_{13}\varepsilon_{rr} + c_{13}\varepsilon_{\theta\theta} + c_{33}\varepsilon_{zz} - e_{33}E_z; \\
 \sigma_{rz} &= 2c_{55}\varepsilon_{rz} - e_{15}E_r; \\
 D_r &= 2e_{15}\varepsilon_{rz} + \mathcal{G}_{11}E_r; \\
 D_z &= e_{13}\varepsilon_{rr} + e_{13}\varepsilon_{\theta\theta} + e_{33}\varepsilon_{zz} + \mathcal{G}_{33}E_z;
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

де  $\sigma_{ij}$  – компоненти тензора механічних напружень,  $\varepsilon_{ij}$  – компоненти тензора деформацій,  $c_{ij}$  – компоненти тензора модулів пружності,  $e_{ij}$  – компоненти тензора п’єзомодулів,  $\mathcal{G}_{ij}$  – компоненти тензора діелектричних проникностей,  $E_i$  – компоненти вектора напруженості електричного поля,  $D_i$  – компоненти вектора електричної індукції,  $u_i$  – компоненти вектора переміщень,  $\rho$  – густина матеріалу,  $\omega$  – колова частота.

До описаної системи рівнянь необхідно додати граничні умови на бічній поверхні циліндра та умови регулярності в особливій точці  $r=0$ .

Будемо розглядати такі види граничних умов:

а) бічна поверхня циліндра ( $r=R$ ) вільна від механічних навантажень:

$$\sigma_{rr} = \sigma_{rz} = 0,$$

б) бічна поверхня жорстко закріплена:  $u_r = u_z = 0$ .

Електричні граничні умови на бічній поверхні циліндра вибираємо у вигляді:

а) поверхня вкрита тонким електродом  $\varphi = 0$ ;

б) поверхня вільна від електродів  $D_r = 0$ .

## 2. Методика розв’язання вісесиметричної крайової задачі.

Як показує практика, для розв’язку подібних задач, розв’язувальний вектор зручно вибирати у змішаному вигляді, до його складу входять ті компоненти тензора механічних напружень, векторів механічних переміщень, електричної індукції та електростатичного потенціалу через які формулюються граничні умови. Отже розв’язувальний вектор має вигляд:

$$R = \sigma_{rr}, \sigma_{rz}, \varphi, u_r, u_z, D_r. \tag{5}$$

Розв'язок задачі будемо шукати у вигляді біжучих хвиль:

$$\begin{aligned} \sigma_{rr} r, z, t &= i\sigma_{rr} r e^{i kz - \omega t}; \sigma_{rz} r, z, t = \sigma_{rz} r e^{i kz - \omega t}; \\ \varphi r, z, t &= \varphi r e^{i kz - \omega t}; u_r r, z, t = iu_r r e^{i kz - \omega t}; \\ u_z r, z, t &= u_z r e^{i kz - \omega t}; D_r r, z, t = D_r r e^{i kz - \omega t}. \end{aligned} \quad (6)$$

Розв'язуючи наші рівняння відносно компонент розв'язуючого вектора, з урахуванням (6), отримуємо:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} &= \frac{1}{r} \left( \frac{c_{12}}{c_{11}} - 1 \right) \sigma_{rr} - \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial z} + \frac{\Delta_5}{rc_{11}} \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \left( \frac{\Delta_4}{r^2 c_{11}} - \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) u_r + \frac{\Delta_1}{rc_{11}} \frac{\partial u_z}{\partial z}; \\ \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial r} &= -\frac{c_{13}}{c_{11}} \frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial z} - \frac{1}{r} \sigma_{rz} + \frac{\Delta_3}{c_{11}} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} - \frac{\Delta_1}{rc_{11}} \frac{\partial u_r}{\partial z} + \left( \frac{\Delta_2}{c_{11}} \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) u_z; \\ \frac{\partial \varphi}{\partial r} &= \frac{e_{15}}{\Delta} \sigma_{rr} - \frac{c_{55}}{\Delta} D_r; \quad \frac{\partial u_r}{\partial r} = \frac{1}{c_{11}} \sigma_{rr} - \frac{e_{33}}{c_{11}} \frac{\partial \varphi}{\partial z} - \frac{c_{12}}{rc_{11}} u_r - \frac{c_{13}}{c_{11}} \frac{\partial u_z}{\partial z}; \\ \frac{\partial u_z}{\partial r} &= \frac{\varepsilon_{11}}{\Delta} \sigma_{rz} - \frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{e_{51}}{\Delta} D_r; \quad \frac{\partial D_r}{\partial r} = -\frac{e_{13}}{c_{11}} \frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial z} + \frac{\Delta_6}{c_{11}} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + \frac{\Delta_5}{rc_{11}} \frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{\Delta_3}{c_{11}} \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} - \frac{1}{r} D_r. \end{aligned} \quad (7)$$

тут введені такі позначення:

$$\begin{aligned} \Delta &= c_{55} \varepsilon_{11} + e_{15}^2; \quad \Delta_1 = c_{13} c_{11} - c_{12}; \quad \Delta_2 = c_{13}^2 - c_{11} c_{33}; \quad \Delta_3 = c_{13} e_{13} - c_{11} e_{11}; \quad \Delta_4 = c_{11}^2 - c_{12}^2; \\ \Delta_5 &= e_{13} c_{11} - c_{12}; \quad \Delta_6 = e_{13}^2 + c_{11} \varepsilon_{33}. \end{aligned}$$

Рівняння (7) мають співмножники  $1/r$ , які при  $r=0$  прямують до нескінченності. Так як разом зі знаменником до нуля прямують також деякі компоненти розв'язуючого вектора, вочевидь маємо невизначеність. Для розкриття цієї невизначеності скористаємось граничними значеннями при  $r \rightarrow 0$

$$: \frac{\tau_{rz}}{r} \rightarrow \frac{d\tau_{rz}}{dr}, \quad \frac{u_r}{r} \rightarrow \frac{du_r}{dr}, \quad \frac{D_r}{r} \rightarrow \frac{dD_r}{dr}.$$

Враховуючи ці граничні значення, а також той факт, що з умов симетрії випливає що:  $\tau_{rz} \rightarrow 0, u_r \rightarrow 0, D_r \rightarrow 0$  при  $r \rightarrow 0$ , отримаємо для сингулярної точки  $r=0$  наступну систему рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} &= -\rho \omega^2 u_r; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial r} = 0; \quad \frac{\partial u_z}{\partial r} = 0; \quad \frac{\partial u_r}{\partial r} = \frac{1}{c_{11} + c_{12}} \sigma_{rr} + \frac{e_{33}}{c_{11} + c_{12}} k \varphi + \frac{c_{13}}{c_{11} + c_{12}} k u_z; \\ \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial r} &= -\frac{c_{13}}{c_{11} + c_{12}} k \sigma_{rz} + \frac{c_{11} + c_{12}}{2} \frac{e_{33} - 2c_{13}e_{13}}{c_{11} + c_{12}} k^2 \varphi + \frac{1}{2} \left( \frac{c_{11} + c_{12}}{c_{11} + c_{12}} \frac{c_{33} - 2c_{13}^2}{c_{11} + c_{12}} k^2 - \rho \omega^2 \right) u_z; \\ \frac{\partial D_r}{\partial r} &= -\frac{c_{13}}{c_{11} + c_{12}} k \sigma_{rz} - \frac{c_{11} + c_{12}}{2} \frac{\varepsilon_{33} + 2e_{13}^2}{c_{11} + c_{12}} k^2 \varphi + \frac{c_{11} + c_{12}}{2} \frac{e_{33} - 2c_{13}e_{13}}{c_{11} + c_{12}} k^2 u_z. \end{aligned} \quad (8)$$

Перейдемо до безрозмірних величин:

$$\begin{aligned} \Omega &= \omega R \sqrt{\frac{\rho}{\lambda}}; \quad \tilde{c}_{ij} = \frac{c_{ij}}{\lambda}; \quad \tilde{e}_{ij} = \frac{e_{ij}}{\sqrt{\varepsilon_0 \lambda}}; \quad \tilde{g}_{ij} = \frac{g_{ij}}{\varepsilon_0}; \quad x = \frac{r}{R}; \quad \sigma_{rr} \quad r = \lambda U_1 \quad x; \quad \sigma_{rz} \quad r = \lambda U_2 \quad x; \\ \varphi \quad r &= R \sqrt{\frac{\lambda}{\varepsilon_0}} U_3 \quad x; \quad u_r \quad r = R U_4 \quad x; \quad u_z \quad r = R U_5 \quad x; \quad D_r \quad r = \sqrt{\varepsilon_0 \lambda} U_6 \quad x, \end{aligned}$$

де  $\varepsilon_0$  – діелектрична проникність вакууму;  $\lambda = 10^{10} \frac{H}{M^2}$ .

Тоді розв'язуюча система набуде вигляду:  $\frac{dU}{dx} = AU$ .

Отриману крайову задачу можна інтегрувати чисельним методом, наприклад, методом дискретної ортогоналізації. На першому кроці ( $r=0$ ), ми використовуємо систему (8), а на усіх наступних (7). Перевагою даного підходу є та обставина, що не виникає особливих складнощів при інтегруванні даної задачі зі змінними коефіцієнтами. Наприклад, коли фізико-механічні властивості матеріалу циліндру є не сталими, а функціями товщинної координати. Функції, які описують фізико механічні властивості матеріалу можуть бути як кусково-неперервними (шаруватий матеріал), так і континуально неперервними (градієнтні матеріали). У першому випадку, до вказаних рівнянь, слід додати умови спряження на межах розділу двох матеріалів, у другому випадку необхідно задати закон зміни властивостей матеріалу по товщині.

### 3. Числові результати. Аналіз

Для прикладу розглянемо випадок суцільного циліндру з п'єзокераміки PZT 4, поляризованої в осьовому напрямі.

На рис.1 представлено перші п'ять гілок дисперсійних співвідношень. Як видно з них тільки перша гілка у короткохвильовому діапазоні виходить на хвилю, що поширюється без дисперсії. Як показує подальший кінематичний аналіз це хвиля Релєєвського типу.

На рис.2 представлено розподіл радіальних та осьових переміщень по товщині циліндра. Суцільними лініями показані радіальні переміщення, пунктирними – повздовжні. Тут і далі, товстими лініями позначені переміщення для найбільшого з представлених хвильових чисел.

Перша гілка народжується ( $k=0$ ) як зв'язані електропружні коливання поршневого типу (повздовжні коливання) і переходить до рухів, характерних для поверхневих хвиль Релеєвського типу.

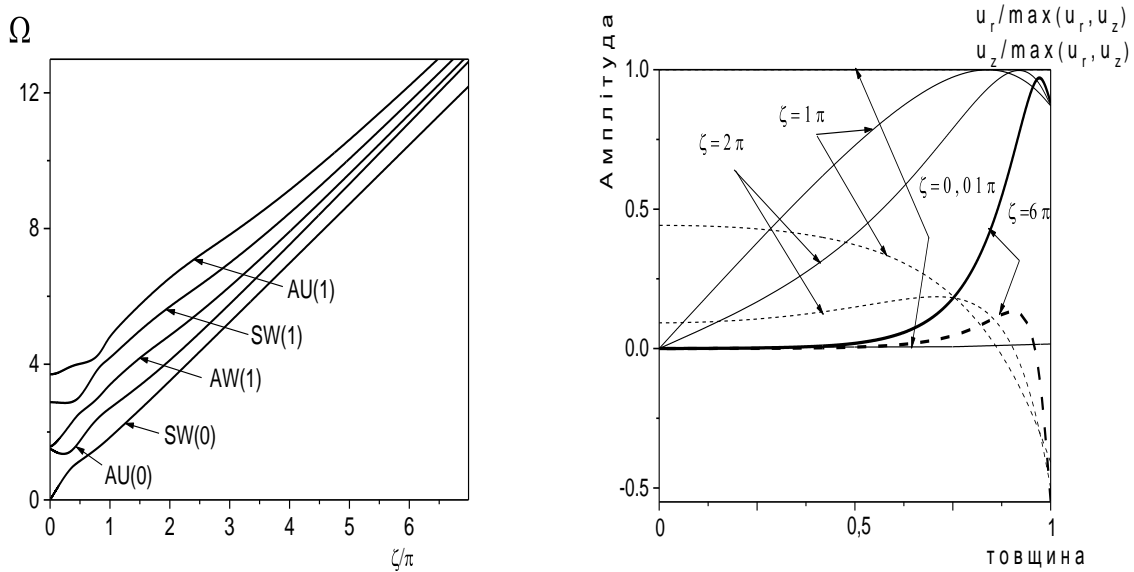


Рисунок 1 — Перші п'ять гілок дисперсійних співвідношень

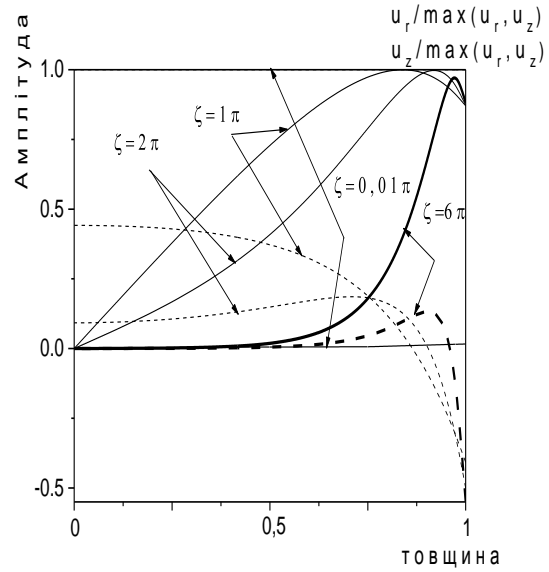


Рисунок 2 — Розподіл переміщень по товщині циліндра для першої гілки SW(0)

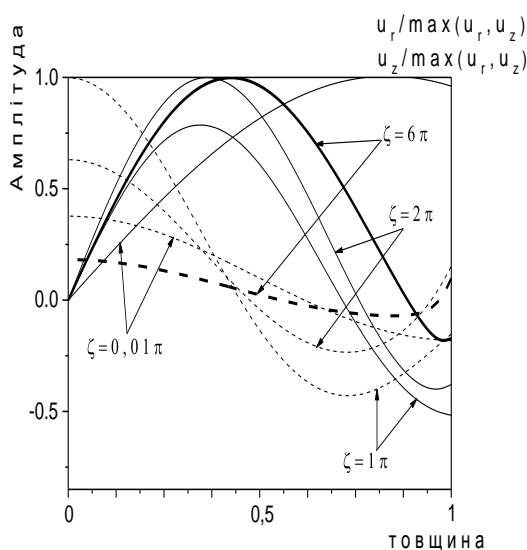


Рисунок 3 — Розподіл переміщень по товщині циліндра для другої гілки AU(0)

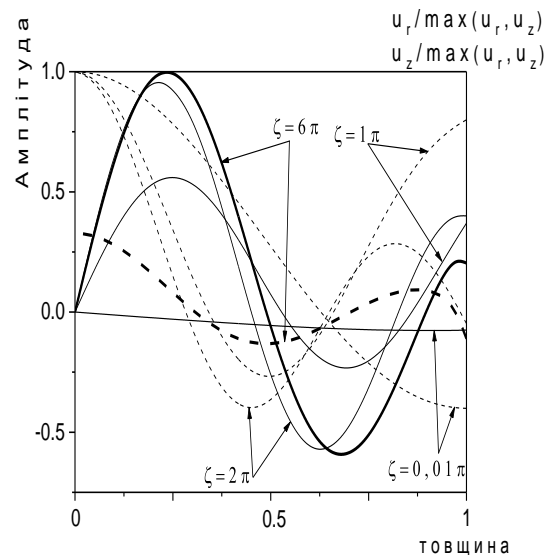


Рисунок 4 — Розподіл переміщень по товщині циліндра для третьої гілки AW(1)

Більш високі гілки у коротко хвильовому діапазоні починають поширюватись теж без дисперсії зі швидкістю якоїсь хвилі, назвемо їх хвилями Похгамера-Крі по аналогії з хвилями Лемба для пластини. При цьому у короткохвильовій області зі зростанням номера гілки збільшується на одиницю кількість півхвиль по товщині циліндра. На рис.3 представлено розподіл переміщень по товщині для другої дисперсійної гілки. Народжується даний рух як чисто пружні радіальні коливання. На рис.4 представлено розподіл переміщень по товщині для третьої дисперсійної гілки.

### **Висновок**

Перша гілка  $sw(0)$  народжується ( $k=0$ ) як зв'язані електропружні коливання поршневого типу (повздовжні коливання) і переходить до рухів, характерних для поверхневих хвиль Релеєвського типу. Наступні гілки у короткохвильовому діапазоні мають переважно радіальні переміщення. Зі зростанням порядкового номеру на одиницю. Збільшується на одиницю кількість півхвиль по товщині циліндра.

### **Література**

1. Pochhammer L. Über die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten kleiner Schwingungen in einem unbegrenzten isotropen Kreiszyylinder // J. Reine Ungew. Math. – 1876. – 81, № 4. P. 324 – 336.
2. Cree C. Longitudinal vibration of circular bar // Quart. J. Pure and Appl. Math. – 1886. – 21, № 83/84. – P. 287 – 298.
3. Cree C. The equation of an isotropic elastic solid in polar and cylindrical coordinates, their solution and application // Trans. Cambridge Philos. Soc. – 1889. – Pt III. – P. 250 – 369.
4. Thurston R.N. Elastic waves in rods and clad rods // J. Acoust. Soc. Am. – 1978. – 64, N 1. – P. 1–37.
5. Кольский Г. Волны напряжений в твердых телах // М.: ИЛ, 1955. – 192с.
6. Гринченко В.Т. Гармонические колебания и волны в упругих телах/ Гринченко В.Т., Мелешко В.В. – Киев: Наук. думка, 1981. – 283 с.
7. Механика связанных полей в элементах конструкций. Т. 5. Электроупругость / В.Т. Гринченко, А.Ф. Улитко, Н.А. Шульга; Отв. ред. А.Н. Гузь; АН УССР Ин-т механики. – К.: Наук. Думка, 1989. – 280 с.
8. Физическая акустика/ Под редакцией У. Мэзона. Р. Терстона. – М.: Мир, 1966. – Т. 1 – Т.7, 663 с.
9. Шульга Н.А. Распространение гармонических волн в анизотропных пьезоэлектрических цилиндрах, волноводы с усложненными свойствами. В Кн.: Успехи механики в 6 – ти томах., 2007. – С. 681 – 702.

#### **Рецензенти:**

Гуляев В.І., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.  
Марчук О.В., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

#### **Reviewer:**

Huliaiev V.I., Dr. Tech. Sci., National Transport University.  
Marchuk A.V., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

УДК 625.7/.8

Онищенко А.М., канд. техн. наук.

## ТЕОРІЯ КОЛІЄУТВОРЕННЯ В АСФАЛЬТОБЕТОННОМУ ПОКРИТТІ НА АВТОДОРОЖНІХ МОСТАХ

**Анотація.** В статті наведено результати розрахунку математичної моделі та отримано рівняння з прогнозування колії в асфальтобетонному покритті на автодорожніх мостах з урахуванням різної інтенсивності транспортних засобів та дії високої температури.

**Ключові слова:** колієутворення, асфальтобетонне покриття, автодорожній міст, модель.

**Аннотация.** В статье приведены результаты расчета математической модели и получено уравнение по прогнозированию колеи в асфальтобетонном покрытии на автодорожных мостах с учетом различной интенсивности транспортных средств и воздействия высокой температуры.

**Ключевые слова:** колеобразование, асфальтобетонное покрытие, автодорожный мост, модель.

**Abstract.** The article presents the results of the calculation of the mathematical model and an equation of the forecasting track in asphalt pavement on road bridges considering different intensities vehicles and high temperatures.

**Keywords:** rutting, asphalt pavement, road bridge, model.

**Постановка проблеми.** Автодорожні мости є невід'ємною складовою мережі автомобільних доріг транспортної інфраструктури України. Транспортно-експлуатаційний стан переважно більшості, автодорожніх мостів не відповідає сучасним вимогам і потребує поліпшення з урахуванням соціально-економічних потреб держави відповідно до розпорядження КМУ [1].

Останнім часом все частіше постає нагальна проблема у запобіганні виникнення колії в асфальтобетонному покритті на автодорожніх мостах. Ця проблема полягає в тому, що автодорожні мости перебувають у такому транспортно-експлуатаційному стані, за якого не можуть бути повною мірою

забезпечені швидке, комфортне, економічне та безпечне перевезення пасажирів і вантажів, розвиток транзитних перевезень, подальший соціально-економічний розвиток держави та її інтеграція до європейської спільноти.

Існуючі теоретичні підходи щодо вирішення методів запобігання колії в асфальтобетонному покритті на мостах не в повній мірі враховується вплив різної інтенсивності руху великовагових транспортних засобів та високої температури. Тому постала проблема в розробці теорії колієутворення в асфальтобетонному покритті на автодорожніх мостах.

Наукова проблема полягає у створенні теоретичних основ розрахунку асфальтобетонного покриття автодорожніх мостів з максимальною колієстійкістю, за рахунок вирішення протиріч між зростаючими значеннями навантажень та інтенсивності дії пневматичних коліс великовагових транспортних засобів при спільній дії високої температури покриття та величини формування колії для підвищення довговічності покриття.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Великий вклад з розв'язку проблем деформування та колієутворення в ґрунтах дорожніх одягів від дії коліс транспорту та режимів їх роботи внесли такі вчені як: А.С. Александров, Г.М. Анісімов, І.О. Барашков, І.М. Бартенєв, О.М. Бурмистрова, А.Ю. К. Джонсон, Ішлінській, Д.Д. Івлєв, І.Р. Шегельман, Б.С. Радовський, І.А.Золотарь, А.І. Нікіфорова, В.П. Матуа, В.М. Меньшиков, М.М. Овчиников, М.Я.Хархута, В.Б. Фадєєв, М. О. Цитович [2-11] та інші дослідники. Аналіз цих робіт показав, що на даний час математичні моделі з використанням реологічних основ механіки ґрунтів дуже складні, зв'язані з його показниками, які визначаються в лабораторних умовах, в такому випадку авторами в своїх роботах [3-5, 8] запропоновано спрощені математичні моделі колієутворення в ґрунті дорожнього одягу від дії жорсткого та пневматичного колеса. В даних моделях одночасно не враховується різний час дії навантаження та температура. З урахуванням даних зауважень таку модель колієутворення можна застосувати для асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах з відповідним удосконаленням.

Як відомо сукупність експериментальних і теоретичних досліджень, щодо пружно-пластичного деформування матеріалів в умовах прикладення повторних навантажень показує, що не існує універсальної теорії оцінки

деформаційної стійкості матеріалів. Різні підходи, які використовуються для вирішення цієї задачі свідчать лише про відсутність єдиного розуміння щодо прогнозування поведінки в реономних матеріалах і середовищах. Тому розробка відповідних методологічних принципів і математико-теоретичних розробок є наразі актуальною задачею.

Зрозуміло, що розробка методу прогнозування пружно-пластичного деформування покриттів дорожнього одягу в умовах прикладення повторних навантажень не виконується з "чистого листа", а використовує те найкраще, що існує донині. Зокрема в даному дослідженні, знайшла своє місце теорія пристосованості [13-17], яка описує реологічну поведінку пружно-пластичних деформацій в умовах напружено-деформованого стану, що мають циклічну природу. Розробки, яких впливають з цієї теорії можна з успіхом використати для оцінки пружнов'язкої деформації зсуву, для розрахунку головних осьових деформацій. Зокрема, рівноважну пластичну деформацію можливо представити складовими із миттєвої пластичної деформації і деформації пластичної післядії [17]:

$$\gamma_t = \gamma_{\text{ПР}} + \gamma_{\text{ПВ}} + \gamma_{\text{ВП}}, \quad (1)$$

де  $\gamma_t$  - індекси деформації:  $t$  - повна,  $\gamma_{\text{ПР}}$  - пружна,  $\gamma_{\text{ПВ}}$  - пружнов'язка,  $\gamma_{\text{ВП}}$  - в'язкопластична.

Вибір функції релаксації для отримання  $\gamma_{\text{ПВ}}$  лімітується властивостями матеріалу в якій перебуває дослідницька модель. Функціонально модель в'язкопружності описується положеннями добре відомої у фізиці і механіці теорії термопружності. Відмінність моделі в'язкопружності від теорії термопружності полягає в додаванні фіктивних сил навантаженні і релаксації до відповідних існуючих зовнішніх сил навантаження і релаксації.

Зазвичай при розгляді в'язко-пружності середовища розглядають дві прості моделі [19, 20]: - модель запізнення; - модель сталої повзучості.

Власне для врахування пластичної компоненти загальної деформації (1) необхідно функцію релаксації доповнювати пластичним модулем  $c$ , який описував би пластичну поведінку деформації. Оскільки його величина постійна для конкретного матеріалу, то внесення множника  $c$  врахує гістерезисний хід деформаційної релаксації при сталих температурних умовах. Тому, умовно вважаємо, що перехід від моделі в'язкопружності до в'язкопружно-пластичності

при чисельних розрахунках здійснюватиметься з врахуванням комплексної функції релаксації і згаданого модуля пластичності.

Але, багато задач пов'язаних із вивченням пластично-деформованих тіл не мають аналітичного рішення в замкнутій формі. Тому для їх вирішення набули поширення чисельні методи (послідовні наближення, рекурентні обчислення). Всі вони спрямовані на відшукування розподілу нормальних і дотичних напружень (деформацій), які задовольняють заданим граничним умовам на поверхні розділу, всередині і поза області контакту, для випадку плоскої деформації і для осесиметричної задач, коли форма області контакту відома.

Як правило, шукане рівняння представлене розподілом функції у вигляді нескінченного ряду функції з відомими коефіцієнтами. Потім ряд функцій скорочується для наближеної відповідності граничних умов. Власне і тому задача і носить назву послідовних наближень. Вже згадувані фіктивні сили навантаженні і функція релаксації розраховується до попереднього циклу обчислень, і тому по відомому вирішенню відповідної задачі пружності можлива побудова рішення в'язкопружної задачі у рекурентному вигляді.

Традиційно розрахунок деформаційних осадок виконується заміною моделі лінійно-деформованого тіла на білінійну залежність пружно-пластичної деформації від головних компонент напружень, або інтегральним алгоритмам для розрахунку прогинів як наслідок вертикальних деформацій - моделі, що використовують різні нелінійні залежності пластичної деформації від головних напружень. Отримання окремих компонент модуля деформації можливе за моделлю Хархути Н.Я. [11, 21], в якій відносна незворотна деформація визначається шляхом підсумовування двох складових. Перша компонента є незворотною деформацією, яка розвивається з великою швидкістю, а інша - незворотна деформація відбувається повільніше. Незворотну деформацію знаходять як суму умовно-миттєвої і в'язкопластичної деформацій [21]. Можливі і інші підходи, в яких використовується емпіричні закономірності. Натомість А.М.Богуславським, Л.А.Богуславською [21, 22] розроблено узагальнену модель асфальтобетону, в якій загальна деформація визначається формулою:

$$\varepsilon_{zd} = \varepsilon_{zn} + \varepsilon_{zs} = \frac{\sigma_z}{\eta_{\alpha}} t + \frac{\sigma_z}{E_0} \frac{(1 + P_1 T_p) P_2}{P_1 - P_2} \exp[-t P_1] + \frac{\sigma_z}{E_0} \frac{(1 + P_2 T_p) P_2}{P_1 - P_2} \exp[-t P_2], \quad (2)$$

де індекси  $n$  та  $v$  позначають відповідну пластичну і в'язку компоненту загальної  $\delta$  деформації,  $c$  - до властивості зруйнованої структури.

Для умов ущільнення ґрунтів з пружно-в'язкою реологією отримано асимптотичне значення глибини колії у вигляді квадратичного рівняння [4, 5, 6, 8]:

$$p - cx - c_x x^2 = 0, \quad (3)$$

де  $P$  - тиск на ґрунт;

$c, c_x, \mu$  - параметри, які описують утворення колії в пружно-в'язких ґрунтах;

$x$  - глибина осадки.

Інтегрування рівняння приводить до виразу [4, 5, 8], який справедливий, при певних вихідних умовах, і для реономних матеріалів типу асфальтобетон:

$$p = cx + \mu c \frac{dx}{dt}, \quad (4)$$

де  $c$  – постійна Герстнера;

$\mu$  - коефіцієнт в'язкості.

Теоретичне рішення задачі пластичного деформування дискретного матеріалу при впливі повторних навантажень показало що, в умовах зміцнення матеріалу, відбувається зменшення від релаксованої частини напружень, а відповідно, затухання (зменшення) в'язко-пластичної деформації при кожному наступному впливі. Всі ці положення відповідають умовам теорії успадкованої повзучості. Її формалізація, зазвичай здійснюється через показник функціоналу. Для ґрунту, зокрема, використовується розповсюджена степенева залежність Вінклара-Герстнера-Бернштейна:

$$q = ch^\mu, \quad (5)$$

де  $c$  і  $\mu$  - параметри ґрунту;

розмірність  $q$  кгм/см<sup>2</sup>, що відповідає питомій вазі ґрунту.

Приріст глибини обраховується:

$$h = 0,001 \left( \frac{q}{c} \right)^{\frac{1}{\mu}} \quad (6)$$

Якщо дещо ускладнити задачу і ввести умови для пружно-в'язко-пластичної деформації в лінійній моделі, то:

$$\sigma + \tau \frac{\partial \sigma}{\partial t} = \sigma_T + E\varepsilon + \tau \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}, \quad (7)$$

де  $\sigma$  - напруження;

$E$  - модуль пружності;

$\mu$  - в'язкість, час релаксації  $\tau \frac{\partial \sigma}{\partial t}$ ;

$\sigma_T$  - граничне напруження починаючи з якого починаються пружно-в'язкі деформації;

$\varepsilon$  - деформації;

$t$  - час.

Використовуючи явища залежності коефіцієнту в'язкості від осадки, то нелінійне рівняння [3-5, 8] модифікується у наступний вигляд:

$$p = p_T + c \cdot x + (\mu_0 + \mu x) \frac{dx}{dt}, \quad (8)$$

Власне на рішенні цього рівняння досліджуються в'язкопружні матеріали [3]. Отримується узагальнена осадка  $x'$ , і узагальненого часу  $t'$ :

$$t' = c^2 \frac{t}{\mu p}, \quad (9)$$

$$x' = c \frac{x}{p}. \quad (10)$$

Рівняння в'язкої деформації:

$$p = \mu_0 \frac{dx}{dt}, \quad (11)$$

звідки параметр

$$c = \frac{p}{x_{\infty}}. \quad (12)$$

Як ми бачимо, функціональне ядро залежностей залишається однорідним як при розгляді ґрунту, так і інших реономних матеріалів, що дозволяє переносити розроблені теоретичні залежності із ґрунтових середовищ на в'язко-пружні тіла типу асфальтобетон. З позицій реологічної теорії ґрунтів в загальному випадку можна розглядати як пружно-в'язко-пластичне

середовище, в якій не лінійність обумовлена зміною інтенсивності зростання деформації із збільшенням напружень, пружність проявляється в наявності відновлювальних деформацій, в'язкість характеризує розвиток деформацій у часі, а пластичність визначає розвиток незворотних деформацій.

Рівняння дискретного характеру (при n-кратному проході) утворення осадки колії для в'язко-пружних ґрунтів. Рівняння утворення колії при кочення колеса з жорстким ободом матиме дещо простіший вигляд, оскільки у функціональному ядрі відсутня частина, що відповідає за деформацію самого колеса [3-5].

$$p = c \left( h_N - \frac{\xi^2}{2R} \right) + \mu \left( h_N - \frac{\xi^2}{2R} \right) \frac{\xi v}{R}, \quad (13)$$

де  $h_N$  - глибина колії після N проходів колеса;

$\xi$  - відстань від якої-небудь точки поверхні дотику колеса з поверхнею до вертикальної площини через вісь колеса;

$R$  – радіус колеса;

$v$  - швидкість кочення.

Рівняння колієутворення для пружних ґрунтів теж значно простіше, оскільки немає потреби враховувати в'язкість ґрунту.

$$\frac{P}{b} = c \left( 2R \Delta h_N \left( h_N + \frac{2}{3} \Delta h_N \right) \right), \quad (14)$$

де  $\Delta h_N = h_N - h_{N-1}$ ,  $P$  – навантаження.

Рівняння колієутворення при лінійній в'язко-пружній реологічній моделі ґрунту, набуває вигляд:

$$B = c h_N a_n - c \frac{a_N^3}{6R} + \frac{1}{2} \mu_0 a_N^3 \frac{v}{R}, \quad (15)$$

де  $B = P \left[ b(2R)^{1/2} \right]^{-1}$ ,  $a$  – довжина проекції на горизонтальну площину плями дотику колеса з поверхнею.

Рівняння колієутворення у в'язко-пластичних ґрунтах [3]:

$$\frac{P}{b} = p [2R(h_N - h_{N-1})]^{1/2} + \mu_0 v (h_N - h_{N-1}) + \frac{1}{2} \mu v (h_N - h_{N-1})^2; \quad (2.16)$$

теж саме рівняння в умовах великих швидкостей кочення :

$$\frac{P}{b} = \mu_0 v (h_N - h_{N-1}) - \frac{1}{2} \mu v (h_N - h_{N-1})^2. \quad (2.17)$$

Наведені рівняння формування колії в середовищах із відмінною реологією, типом колеса і умовах кочення показують збіжний характер

формування колії. За схожим принципом працює методика Лазарєва В.В. [23]. Вона дозволяє для визначення параметрів кочення пневматика використовувати будь-яку відому залежність між навантаженням і нормальною осадкою в покритті. Вивід рівняння рівноваги вертикальних сил, які діють на колесо при його коченні містить чотири невідомих параметри (один з яких глибина колії). Рішення рівнянь виконується методом ітерацій задаючи крок зміни глибини доволі малим. Критерій припинення обчислень вибирається з огляду досягнення рівності до величини нормального навантаження на плоску зону контакту колеса з покриттям.

Критичний аналіз існуючих моделей врахування повторюваності навантажень при розрахунку пластичних деформацій показав спільну рису всіх досліджених процесів. Якщо на матеріал спочатку впливати невеликими напруженнями, викликаючи ущільнення, а потім прикласти більш високі напруження, то ефект від високого рівня напруженого стану буде не такий, яким би він був би у випадку прикладення високих напружень [2]. При дії навантаження, залишкові напруження формуються дуже швидко і усталений стан досягається за 4 або 5 циклів. Із зменшенням часу впливу навантаження вплив в'язко-пластичної деформації зменшується, а вплив миттєвої пластичної деформації, навпаки, збільшується. При рівності часу взаємодії тривалого навантаження і сумарної тривалості циклічних навантажень пластична деформація, яка накопичується під час багатократного впливу, більша ніж деформація повзучості.

Повний тензор деформацій. Тензорний опис процесів термов'язкопружної в умовах зв'язку напруження і деформацій і граничних умов і відношення Коші:

$$\begin{aligned}
 s_{ij} &= 2G(T) \left( \varphi_1(\varepsilon_u, T) \varepsilon_{ij} - \int_0^t R(t-\tau, T) f(\varepsilon_u, T) \varepsilon_{ij}(\tau) d\tau \right) \\
 \sigma &= 3K(T)(\varepsilon - \alpha T) \\
 \sigma_{ij,i} + \rho F_i &= 0 \\
 2\varepsilon_{ij} &= u_{i,j} + u_{j,i} \\
 \sigma_{ij} l_j &= R_i \text{ на } S_\sigma \\
 u_i &= u_{0i}(x_i) \text{ на } S_u
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

Після підстановки перетворень матимемо:

$$\begin{aligned}
 s_{ij} &= 2G(T) \left( (1 - \omega(\varepsilon_u, T)) \varepsilon_{ij} - \int_0^t R(t-\tau, T) (1 - \omega_1(\varepsilon_u, T)) \varepsilon_{ij}(\tau) d\tau \right) \\
 \sigma &= 3K(T)(\varepsilon - \alpha T)
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

У разі коли  $\omega = \omega_1 = 0$  рівняння (19) є основними, в якому описуються лінійні термов'язкопружні властивості матеріалів.

Коли навантаження перевищує межу пристосування, варто очікувати ортогонального пластичного зсуву в при поверхневих елементах покриття. При циклічному коченні пластичні деформації накопичуються таким чином, що поверхневі шари зсуваються "наперед", тобто в напрямку течії, відносно більш глибоко розташованих шарів. При цьому компоненти напружень в елементі на деякій глибині можуть бути пораховані, так як напруження переходять через деформовану область.

При такому підході умови сумісності деформацій і співвідношення між напруженнями і деформаціями виконуються точно, але рівняння рівноваги задовольняються наближено. Просторово, уявляється, що пластична зона перебуває під поверхнею і повністю оточена пружним матеріалом.

Повний числовий аналіз дозволяє відслідковувати зміни всіх компонент напружень в кожній точці під поверхнею. Але суттєві компоненти напружень і деформацій -  $\tau_{zx}$  і  $\gamma_{zx}$ . Після циклу навантаження і розвантаження елемент тіла має приріст від'ємних залишкових деформацій ( $\gamma_{zx}$ )<sub>г</sub>. Переміщення поверхні за один цикл навантаження отримується інтегруванням ( $\gamma_{zx}$ )<sub>г</sub> по глибині пластично деформованого шару. При першому циклі пластична зона розповсюджується на глибину, де пружні напруження, які могли б реалізовуватися, перевищували межу пластичності. При усталеному режимі неперервні пластичні деформації обмежені більш вузьким шаром [6].

Таким чином, аналіз тензору напружень, що складається із компонентів стиску і зсуву, показує, що головними є його зсувні компоненти  $\tau_{zx}$  та  $\gamma_{zx}$  і тому механізм накопичення пластичних деформацій може бути виявлений із більш простої моделі, яка розглядає тільки ці компоненти. Власне тому, проведення розрахунку в'язко-пружної деформації здійснюється по головним осям [20], що дозволяє значно спростити розрахунки і відмовитися від складного розв'язку повного тензору напружень.

Теорія ймовірності в колієутворенні. У процесі експлуатації асфальтобетонних покриттів відбувається поступове зниження їх міцносних властивостей, що зокрема проявляється в накопиченні незворотних деформацій, формування колії під дією навантажень і погодно-кліматичних факторів.

Важливим елементом наукових основ матеріалознавства і технології будівництва і надійної експлуатації дорожніх покриттів є прогнозування втомлюваності асфальтобетону з врахуванням процесів їх деградації. Зокрема, це повністю стосується утворенню колій в асфальтобетонних покриттях на автодорожніх мостах. Для раціонального прогнозування цих процесів повинно враховуватися неоднорідність, фізична нелінійність багатьох властивостей асфальтобетону. Водночас прогнозування колій повинно ґрунтуватися на аналізі експериментальних даних і спеціально розроблених теоретичних положень [3, 8, 24, 25].

### **Основна частина**

Для розрахунку колієстійкості асфальтобетонного покриття на мостах необхідно отримати розрахункову модель та теоретичне рішення, яке дозволить прогнозувати колієутворення в покритті при дії навантаження автотранспортних засобів та температури. Крім того, модель колієстійкості повинна базуватись на моделі граничного стану, що прогнозує утворення колії в покритті від дії навантаження і температури.

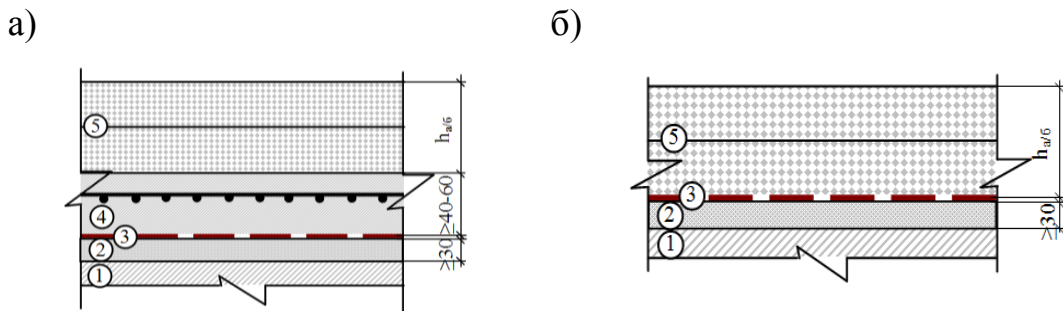
З метою вирішення цих задач в даному розділі розглядаються основні розрахункові схеми роботи асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах від дії транспорту та температури, які дозволять розробити математичні моделі для розрахунку колієутворення та теоретичне рішення для оцінки колієстійкості покриття на мостах. При цьому в детермінованій постановці використовується феноменологічний підхід, а асфальтобетон розглядається як квазіоднорідний ізотропний матеріал.

При виборі розрахункової схеми роботи асфальтобетонного покриття на мостах з точки зору його колієстійкості виходили з найбільш несприятливих для нього умов появи колійності при підвищенні температури. Приймали до уваги дані багатьох дослідників, та власних досліджень [26], про причини виникнення колійності в асфальтобетонному покритті на мостах.

Для розрахунку асфальтобетонного покриття на мостах приймається два типи конструкцій їздового полотна, які широко застосовуються [27-29], а саме:

I - Покриття, влаштовується по залізобетонній плиті проїзної частини і складається із чотирьох конструктивних шарів (рис. 1 а));

II - Покриття, влаштовується по залізобетонній плиті проїзної частини і не маюча захисного шару, яка складається з трьох конструктивних шарів (рис. 1 б)).



1 – Залізобетонна плита проїзної частини; 2 – вирівнюючий бетонний шар; 3 – гідроізоляція; 4 – захисний шар з залізобетону, армованого сталеву сіткою або із дрібнозернистого асфальтобетону; 5 – двошарове асфальтобетонне покриття

**Рисунок 1** – Конструкції покриття на автодорожніх мостах

В той же час одним із найбільш поширених питань на практиці є таке, коли асфальтобетонне покриття працює сумісно із залізобетонною прогоною будовою та на його поверхні з'являються колії. Тому, що в зоні контакту покриття та жорсткої основи під дією навантажень виникають значні дотичні напруження, що зумовлені великою різницею жорсткості матеріалів, і це призводить до утворення залишкових деформацій з поступовим утворенням колійності та зсувів на поверхні асфальтобетону.

У випадку роботи асфальтобетонного покриття на залізобетонній прогоновій будові за розрахункову схему доцільно прийняти двошарову плиту (рис. 1), верхній шар якої (асфальтобетонне покриття) має функцію релаксації, яка залежить від часу дії навантаження, температури і виду асфальтобетону  $\Psi(t, T(t))$  та в'язкості бітумного в'язучого, а нижній (залізобетонна прогонова будова) має модуль пружності не змінний. При підвищенні температури асфальтобетонне покриття змінює свою жорсткість, а основа із залізобетону не змінює свої властивості. Тому враховуючи, що на практиці можуть зустрічатись різні випадки зв'язку між асфальтобетонним покриттям і основою із залізобетону, розглядаються найбільш вірогідні варіанти такої роботи з урахуванням різних умов експлуатації покриття на мостах.

Варіант 1: асфальтобетонне покриття за рахунок надійної колієстійкості (адгезії), яке міцно зчеплене з основою із залізобетонною прогоною будовою (рис. 2) при підвищенні температури.

Варіант 2: асфальтобетонне покриття при повній адгезії зв'язане з другим шаром асфальтобетону, яке міцно зчеплене з другим шаром, а другий шар

асфальтобетону міцно зчеплений з основою із залізобетону при підвищені температури(рис. 2).

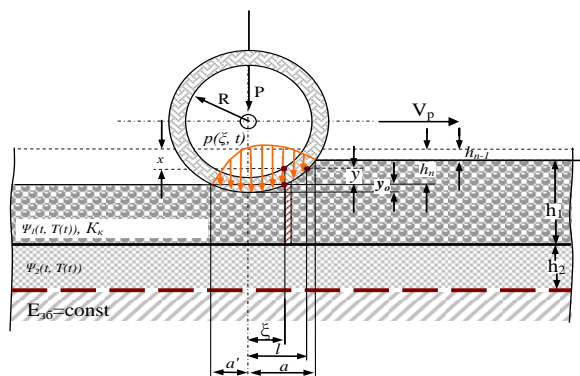
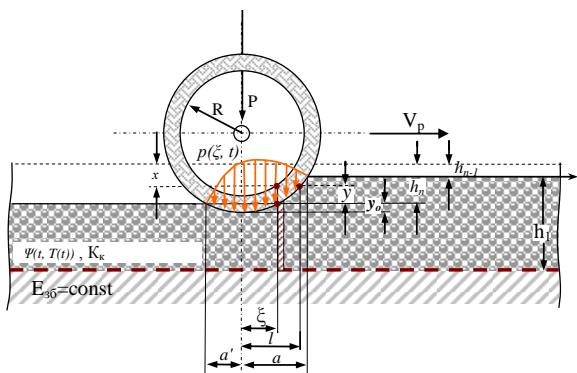
В якості моделі для розрахунку колійності в асфальтобетонному покритті на мостах приймаємо за основу вищенаведені розрахункові схеми (рис. 1 а, б ). У відповідності запропонованої гіпотези розглядається питання про накопичення залишкових деформацій вигляді колії при русі по асфальтобетонному покритті, що влаштоване на проїзній частині мосту пневматичного колеса при різному часі дії навантаженні і високої температури. При побудові теорії кочення по асфальтобетонному покриттю колеса з пневматичною шиною необхідно враховувати деформацію самого пневматика, як запропоновано в роботах [6, 8]. Ця задача є достатньо складною навіть після введення спрощуючих припущень. В якості моделі кочення пневматичного колеса по в'язко–пружно-пластичному асфальтобетонному покритті, що влаштоване на мосту, враховуючи співвідношення розмірів конструкції, приймаємо модель пластини в якості асфальтобетонного покриття, яке зчеплене з залізобетонною основою відповідно до моделей, що наведені на рис. 2 та рис. 3.

В даній розрахунковій моделі (рис. 2) міцність зчеплення забезпечується умовою коефіцієнта колієстійкості  $K_k > 1$ .

Прийняті припущення зводяться до наступного: 1 – закон деформування асфальтобетону, що нижче описаний; 2 – деформація пневматика в кожній точці рахується пропорційною тиску пневматика на асфальтобетонне покриття; 3 – поверхня пневматика приймається циліндричною; 4 –пропонуються застосувати коефіцієнт колієстійкості  $K_k$ , який дозволяє враховувати умову міцності зчеплення асфальтоного покриття з основою мосту і встановлюється експериментально

З урахуванням вищенаведених припущень закони деформування ґрунту [8], може бути використані для створення прогностичної моделі колієутворення для асфальтобетону.

Питання про колієутворення тісно пов'язане з механічними властивостями асфальтобетону, що знаходить підтвердження в багатьох роботах [2, 24, 26, 30-34].



**Рисунок 2** – Модель кочення пневматичного колеса по асфальтобетонному покритті, яке міцно зчеплене з основою із залізобетону мосту при підвищенні температури

**Рисунок 3** – Модель кочення пневматичного колеса по асфальтобетонному покритті, яке міцно зчеплене з другим шаром, а другий шар асфальтобетону міцно зчеплений з основою із залізобетону при підвищенні температури

Не дивлячись на те, що в механіці ґрунтів та асфальтобетонів присвячено велика кількість досліджень, ми не маємо до теперішнього часу достатньо простих і задовільних законів, які описують деформацію асфальтобетону при дії навантаження. Так наприклад, закон Герстнера (20) і закон Прандля (21), хоча і являються доволі простими, але не описують деформації асфальтобетону в часі і від температури:

$$p = cx, \quad (20)$$

$$p = k = const, \quad (21)$$

де  $p$  – питомий тиск на асфальтобетонне покриття;

$x$  – переміщення асфальтобетону;

$c$  – коефіцієнт пропорційності;

$k$  – пластична постійна.

Як відомо, якщо штамп давить з деякою силою на асфальтобетон, то деформація асфальтобетону змінюється на протязі часу. При цьому вдавлювання штаму в асфальтобетонне покриття відбувається більш інтенсивно, ніж більший тиск на асфальтобетон. Якщо тиск постійний і не дуже

великий, то переміщення асфальтобетону під штампом на протязі часу прагне як зазвичай до деякої границі. Приймається в подальшому, що граничні значення переміщення пропорційні відповідній силі тиску, тобто, що закон Герстнера справедливий для граничних переміщень, якщо тільки вони не перевищують деякого критичного значення  $\delta$ . Приймаємо при цьому, що тиск  $p$  і переміщення  $x$  зв'язані між собою диференційною залежністю (4) [8]. Вказана диференційна залежність справедлива, поки в процесі зміни  $p$  і  $x$  швидкість зміни переміщення  $dx/dt$  залишається позитивною, а саме переміщення менше деякої характерної для асфальтобетону постійної  $\delta$ .

Якщо  $x < \delta$ , але  $p$  становиться в процесі зміни менше ніж  $cx$ , тоді деформація асфальтобетону припиняється і залежність (4) замінюється умовою постійного переміщення:

$$x = x_1 \quad (p < cx, x < \delta), \quad (22)$$

де  $x_1$  - переміщення, відповідає моменту переміни знаку різності  $p - cx$ , тобто моменту звернення  $dx/dt$  в нуль (максимальне переміщення). Після повторної зміни знаку рівності  $p - cx$  (тобто при  $p > cx$ ) знову опиняється справедливою диференційна залежність (4) з початковою залежністю  $x = x_1$ .

Якщо  $x > \delta$ , то при достатньо великих деформаціях асфальтобетону, залежність (4) замінюється наступними виразом:

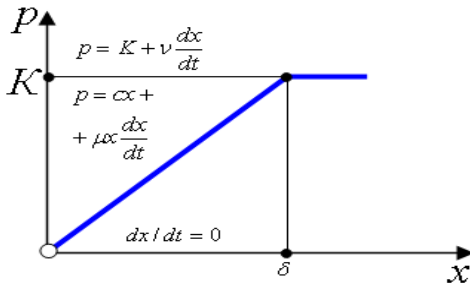
$$p = k + v \frac{dx}{dt}, \quad k = c\delta, \quad v = \mu\delta. \quad (23)$$

Тут мається на увазі, що  $p > k$ . Якщо в процесі зміни тиску  $p$  стає менше  $k$ , то деформування асфальтобетону зупиняється і таким чином

$$x = const \quad \text{при} \quad p < k, \quad x > \delta. \quad (24)$$

Пропонується наглядна механічна модель [8], деформування якої слідує вказаним вище закономірностям. На рис. 4 наведено розподілення областей значень  $p$  і  $x$ , відповідаючи закономірностям (22 – 24).

Розглянемо в якості прикладу деформацію асфальтобетону під дією постійного навантаження  $p = p_0$ .



**Рисунок 4** – Модель розподілення областей значень  $p$  і  $x$ , відповідаючи закономірностям (22 - 31)

Якщо  $p_0 < K$ , то звертаючись до диференційного співвідношення (4), що наведено в [8] отримаємо

$$\frac{dx}{dt} = \frac{p_0 - cx}{\mu x}, \quad (25)$$

Звідки після розділення перемінних і інтегрування маємо:

$$\frac{ct}{\mu} = \frac{p_0}{c} \ln \frac{p_0}{p_0 - cx} - x. \quad (26)$$

Постійна інтегрування визначена із умови  $x=0$  при  $t=0$ . При  $t \rightarrow \infty$  не складно отримати з співвідношення (26) вираз (20).

Таким чином, для граничних навантажень виявляється справедливим закон Герстнера. При дуже малих значеннях  $t$ , а відповідно і малих  $x$ , тобто на початку процесу, маємо:

$$\frac{ct}{\mu} = -\frac{p_0}{c} \ln\left(1 - \frac{cx}{p_0}\right) - x \approx -\frac{p_0}{c} \cdot \left(-\frac{cx}{p_0} + \frac{c^2 \cdot x^2}{p_0^2}\right) - x = \frac{cx^2}{2p_0}, \quad (27)$$

$$x \approx \sqrt{2p_0 \cdot t / \mu}. \quad (28)$$

Характерно, що вираз для переміщення асфальтобетону  $x$  не залежить в цьому випадку від коефіцієнта  $c$ . Це явище можна пояснити, якщо безпосередньо звернутись до виразу (4) очевидно, що при малих  $x$  повинна бути велика швидкість зміни переміщення  $dx/dt$  (25) і відповідно, другий член співвідношення (4) повинен бути більше першого.

Таким чином, при малих  $x$ :

$$p \approx \mu \cdot x \frac{dx}{dt}, \quad (29)$$

що і дає після відповідних інтегрувань [8] формула (28).

Якщо ввести безрозмірні перемінні з (9) і (10) то співвідношення (26) прийме вид:

$$t' = -\ln(1 - x') - x'. \quad (30)$$

Графік залежності  $x'$  від  $t'$  наведений на рис. 5 а. При  $t \rightarrow \infty$   $x \rightarrow p_0/c$ .

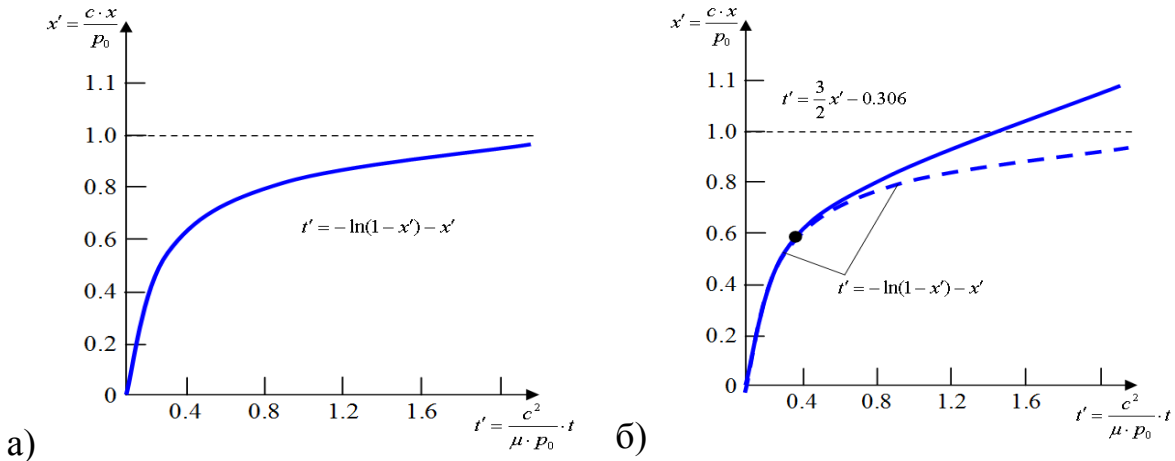


Рисунок 5 – Залежність безрозмірних параметрів  $x'$  від  $t'$

Якщо виявиться, що  $p_0/c > \delta$ , то вираз отриманий раніше, буде справедливий тільки для мити  $t'$ , при якому переміщення  $x$  досягне значення  $\delta$  тому маємо:

$$t' = \frac{\mu \cdot p_0}{c^2} \ln \frac{p_0}{p_0 - c \cdot \delta} - \frac{\mu}{c} \delta \quad (2.31)$$

При  $x > \delta$  диференційне співвідношення (4) повинне бути замінене співвідношенням (23), із якого при  $p = p_0 = const$  маємо, що

$$\frac{dx}{dt} = \frac{p_0 - \kappa}{v} = const \quad (32)$$

Тобто, після досягнення переміщення  $x$  характерно значення  $\delta$  подальше занурення штампу буде відбуватись рівномірно. Таким чином, при  $x \leq \delta$  і відповідно  $x' \leq c\delta/p_0$  можемо користуватись для визначення закону зміни осадки в часі графічним зображенням (рис. 2.16. а), а в подальшому замінити його прямою, з'єднують з графіком в точці абсцисою. На рис. 5. б. представлена подібна крива для випадку, коли рівняння згаданої прямої має вид  $t' = 3x'/2 - 0.306$ .

Пружна лінійна модель колієутворення для врахування пружної компоненти деформації, проявленої у вигляді осадки покриття, спочатку використаємо найпростіший випадок - лінійну залежність між цими параметрами. Геометричне співвідношення, що пов'язує осадку  $x$  якої-небудь точки покриття на відстані  $\xi$  від вертикальної площини, що проходить через вісь колеса має вигляд (20) та:

$$p = \beta y, \quad (33)$$

де  $y$  - деформація пневматика.

Застосовна тут диференціальна форма закону Герстнера [3, 8], в якій допускається пропорційність між граничними значеннями осадки і сили тиску (4).

У першому наближенні можна говорити про два динамічно-реологічні стани процесу кочення пневматика. Перший, умовно можна назвати "доущільнення" в якому справедливий вираз (4) для умови  $c \rightarrow \delta$  і  $\frac{dx}{dt} > 0$ . У цьому стані процес осадки прогресивно триває, доки  $x$  не зрівняється із  $\delta$  - деякою граничною величиною осадки асфальтобетонного покриття.

Власне отримання величини  $c$  можливе із розгляду деформаційної моделі під дією постійного навантаження  $p=p_0$ .

У цьому випадку швидкість осадки описується:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{p_0 - cx}{\mu x}. \quad (34)$$

Після інтегрування по часу і розділення змінних:

$$\frac{ct}{\mu} = \frac{p_0}{c} \ln \frac{p_0}{p_0 - cx} - x. \quad (35)$$

Якщо покласти  $x=0$  і  $t=0$ , то маємо вираз близький до (ф. 2.4):

$$p_0 = cx. \quad (36)$$

Якщо покласти  $x \rightarrow 0$  і  $t \rightarrow 0$ :

$$\frac{ct}{\mu} = \frac{p_0}{c} \ln \left( 1 - \frac{cx}{p_0} \right) - x \approx -\frac{p_0}{c} \left( -\frac{cx}{p_0} + \frac{c^2 x^2}{p_0^2} \right) - x = \frac{cx^2}{2p_0}. \quad (37)$$

Таким чином з (ф. 2.98):

$$x \approx \sqrt{\frac{2p_0 t}{\mu}}. \quad (38)$$

Як наслідок формули (38), при  $x \rightarrow 0$  повинна бути велика швидкість зміни осадки  $\frac{dx}{dt}$  і тоді вираз тиску набуває вигляду:

$$p \approx \mu x \frac{dx}{dt}. \quad (39)$$

Порівняння формули (4) і (39) вказує на те, що при умові  $x \rightarrow 0$  величина осадки майже не залежить від параметру  $c$ . Це власне і є другий динамічно-реологічний стан процесу кочення пневматика. Визначення параметру  $\delta$ , який може виступати критерієм розрізнення станів викладено у [8].

Деформація покриття почнеться відразу же з моменту контакту його з колесом, тобто у точці де  $\xi=a$  і закінчиться при  $\xi=0$  (рис. 6).

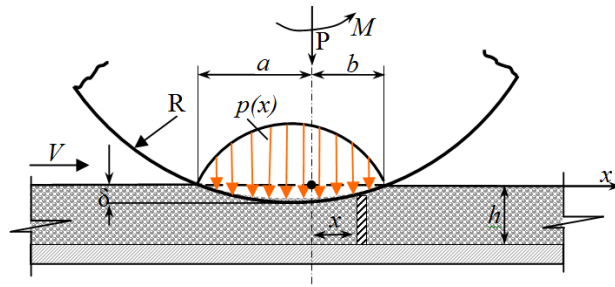


Рисунок 6 - Кочення жорсткого циліндру по в'язкопружній основі [6]

Співвідношення між геометричним місцем точок області контакту пневматика з механічними характеристиками і тиском [3-6, 8]:

$$y + x = \frac{a^2}{2R} - \frac{\xi^2}{2R}. \quad (40)$$

Вираз (40) в термінах тиску:

$$\left(\frac{1}{c} + \frac{1}{\beta}\right)p = \frac{a^2}{2R} - \frac{\xi^2}{2R}. \quad (41)$$

Початкова деформація пневматика в точці проєкції осі на поверхню ( $\xi=0$ ):

$$y_0 = \frac{1}{\beta} p_0 = \frac{c}{c + \beta} \frac{a^2}{2R}. \quad (42)$$

Сумарна початкова деформація пневматика разом із глибиною осадки таким чином становитиме:

$$h + y_0 = \frac{a^2}{2R}. \quad (43)$$

Після перетворення величина питомого параметру встановлюється:

$$h = \frac{a^2}{2R} - \frac{a'^2}{2R}. \quad (44)$$

де  $a'$  - у задній частині області контакту.

Як ми бачимо для пошуку глибини осадки (провідного параметру, що формує колю) необхідно ввести значення геометричних характеристик контакту колеса, діаметра колеса та значення тиску. Але фактично приведена залежність є непридатною для отримання величини глибини осадки, оскільки містить погано прогнозовані параметри  $a$  та  $a'$ .

Для конвертація рівняння і отримання доступних параметричних показників необхідно тиск колеса визначається через серію послідовних перетворень із використанням інтегрування окремо по частинам області контакту [3-6, 8]:

$$\frac{1}{b}P = \int_{-a'}^0 pd\xi + \int_0^a pd\xi. \quad (45)$$

Після підстановки (43) і інтегрування:

$$\frac{1}{b}P = \beta \frac{-a'^3}{3R} + \frac{c\beta}{c+\beta} \frac{a^3}{3R}. \quad (46)$$

Враховуючи, що  $a' = a\sqrt{\frac{c}{c+\beta}}$ :

$$\frac{1}{b}P = \beta \frac{a^3}{3R} + \frac{c\beta}{c+\beta} \left(1 + \sqrt{\frac{c\beta}{c+\beta}}\right). \quad (47)$$

Вже в виразі (47) відсутня величина  $a'$ . Після заміни геометричних параметрів на механічні в області контакту маємо рівняння зв'язку питомого тиску пневматика з параметрами колеса і покриття.

Для отримання формули для глибини колії, що утворилася після першого проходу колеса [8]: використовуючи вираз (45) із заміною відповідного блоку у (47):

$$h = \frac{a^2}{2R} - \frac{a'^2}{2R} = \frac{c\beta}{c+\beta} \frac{a^3}{3R}. \quad (48)$$

$$h = \frac{1}{2}(c\beta R)^{-\frac{1}{3}} \left[ \left( \frac{3P}{b} \sqrt{\frac{c+\beta}{c\beta}} - 1 \right) \right]^{\frac{2}{3}}, \quad (49)$$

Граничні умови, при наступних проходах пневматика початок деформації поверхні буде все більше і більше наближатися до вертикальної площини і тому справедливі наступні вирази [8].

При врахуванні величини тиску на поверхню покриття, який здатен до пружно-пластичної деформації:

$$p_0 = \beta y_0 = \sqrt[3]{\frac{9\beta P^2}{32b^2R}} = ch_{\max}, \quad (50)$$

звідки можна перейти до граничної глибини колії  $h_{\max}$ :

$$h_{\max} = \frac{1}{c} \sqrt[3]{\frac{9\beta P^2}{32b^2R}}, \quad (51)$$

де  $h_{\max}$  - максимальний прогин від пружно-пластичної компоненти тиску,

$p_0$  - мінімальний тиск, який здатен формувати максимальну осадку поверхні,

$y_0$  - мінімальна деформація пневматика.

Кочення колеса по пружній поверхні викликає її деформацію, після проходження колеса настає відновлення матеріалу або релаксація [35, 36].

Для в'язкопружних матеріалів, протягом часу вимірювання, набагато більшого, ніж час релаксації, колісне навантаження (в еквіваленті) викликає незворотні пластичні деформації. Або кажуть, що такі матеріали володіють реономними властивостями. Асфальтобетон становить собою матеріал з яскраво вираженими пружно-в'язко-пластичними властивостями. Характерною особливістю цих матеріалів є залежність деформації не тільки від величини діючого навантаження, але і від тривалості її дії [2-6, 8, 19, 35-37].

В'язкопружний матеріал має початковий динамічний відклик на навантаження з модулем  $K(1+\beta)$ , але вже при статичних умовах релаксації - модуль тільки  $K$ , що діє протягом часу  $t$ . Тому справедливо для в'язкопружного матеріалу пружний модуль  $K$  замінити функцією релаксації  $\Psi$ . Рівняння стану напруження у в'язкопружному елементі у точці  $x$  дається рівністю:

$$p(x,t) = -\sigma = -\int_0^t \Psi(t-t') \frac{\partial \varepsilon(t')}{\partial t'} dt'. \quad (52)$$

При усталеному коченні, для деформацій маємо  $\frac{\partial \varepsilon(t')}{\partial t'} = \frac{vx}{Rh}$ , і замінюючи  $t$  на  $x$  отримуємо:

$$p(x) = -\frac{1}{Rh} \int_{-x}^x x' \Psi(x-x') dx'. \quad (53)$$

Вибір функції релаксації лімітується набором матеріалу в якій перебуває дослідницька модель. Зазвичай розглядають дві прості моделі: 1) модель запізнення; 2) модель сталої повзучості.

Якщо функція релаксації відповідає умовам запізнення пружності, то функція релаксації відповідає загальній формі:

$$\Psi(t) = K \left( 1 + \beta e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \quad (54)$$

де  $K(1+\beta)$  - початковий динамічний пружний відклик;

$\tau$  - час дії навантаження.

При статичних умовах, коли діють процеси релаксації, змінюємо  $t$  на  $x$  і виконуючи інтегрування, отримуємо вираз для розподілу тиску. Ця модель набагато ефективніше описує стан механічного контакту в динамічній фазі взаємодії і дозволяє відійти від величин навантажень використовувати значення тиску, що приводить до простішого аналітичного вирішення. Рівняння цієї моделі ґрунтується на заміні часу  $x$  і наступним інтегруванням (55).

$$p(x) = \frac{ca^2}{RH} \left[ \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{\xi^2}{a^2} \right) - \beta De \left( 1 + \frac{\xi}{a} \right) + \beta De (1 + De) \left( 1 - \exp \left( - \frac{1 + \frac{\xi}{a}}{De} \right) \right) \right], \quad (55)$$

де  $De$  - число Дебори.

На початкових моментах часу взаємодії пневматика з матеріалом покриття діють пружні умови, матеріал володіє пружною реакцією, що відповідає модулю  $K(1+\beta)$ . Подібна реакція відбувається при низьких швидкостях кочення, коли час проходження області контакту більше часу релаксації матеріалу ( $\zeta_0 \ll 1$ ). При статичних умовах, матеріал проявляє релаксаційні властивості, для опису якого необхідно враховувати не тільки  $K$ , але і час релаксації  $t$  (відповідно в розглянутій моделі і швидкість кочення). Число Дебори в такому випадку перебуває в значенні ( $\zeta_0 \sim 1$ ), коли час проходження пневматиком області контакту рівне часу релаксації асфальтобетону. І як граничний випадок, при дуже високих значеннях швидкості кочення ( $\zeta_0 \gg 1$ ), розподіл тиску і навантаження знову наближаються до випадку пружності, але вже з динамічним модулем пружної основи  $K(1+\beta)$  [3, 8].

Введення у модель числа Дебори  $De$ , дозволяє її спростити шляхом скорочення обчислювальних параметрів.

Температурно залежна функція релаксації, давно відома залежність релаксаційних ефектів від температури. Збільшення температури негативним чином спричиняється на деформаційні властивості дорожнього покриття, що приводить до збільшення часу релаксації, що перевищує середній час впливу транспортного засобу. Збільшення на кожні 10 °C температури еквівалентно збільшенню транспортного потоку в 1,2 рази. Основним компонентом, що визначає температурну чутливість є органічне в'язуче.

При вивченні напружено - деформаційних характеристик пружнов'язко-пластичної моделі колієутворення, варто використовувати температурно-залежні релаксаційні функції із різними ядрами вирішення [2, 19, 35, 36, 38]. Використовуючи функцію релаксації для асфальтобетону у вигляді модифікованого степеневого закону, який дає достатньо точні результати обчислень [35, 36, 38, 39] :

$$\Psi(t) = E_{дг} + (E_{мт} - E_{дг}) \cdot \left(1 + \frac{t}{\eta}\right)^{-\lambda}, \quad (56)$$

де  $E_{дг}$  - модуль пружності довготривалий;

$E_{мт}$  - модуль пружності миттєвий;

$\tau$  - час релаксації;

$p$  - температурне зміщення;

$Q$  - температурна константа;

$\eta$  - нижній кут нахилу релаксаційної кривої;

$\lambda$  - верхній кут нахилу релаксаційної кривої.

Це дозволить адекватно описувати розподіл напружень в тілі асфальтобетонного покриття, а отже дозволяє будувати коректні розрахункові схеми, для опису пружнов'язкого характеру взаємодії колеса з врахуванням температури правомірна температуро-часова аналогія, в якій релаксаційній функції  $\Psi(t)$  ставиться у відповідність температуро-залежна релаксаційна функція  $\Psi_T(t)$ .

Для визначення функції релаксації матеріалу для будь-якої температури  $\Psi(t, T)$ , достатньо знати функцію релаксації при заданій температурі  $\Psi(t, T) = \Psi_T$  та коефіцієнт температурно-часового зміщення  $a_T(T)$ . Тоді можна записати:

$$\Psi(t, T) = \Psi_T(\mu, T_1), \quad (57)$$

де  $\mu$  - приведений час;

$$\mu = \int_0^t \frac{dt}{a_T(T)}, \quad (58)$$

де  $a_T(T)$  - коефіцієнт температурно-часового зміщення, який залежить від температури (має з розмірністю  $[1/^\circ\text{C}]$ );

$T_1$  – поточна температура.

Залежність  $a_T(T)$  від температури  $T$  встановлюється експериментально для кожного конкретного матеріалу. За своєю суттю коефіцієнт  $a_T(T)$  являє собою зсув за шкалою  $\lg t$  функції релаксації, якщо  $\lg a_T = 0$ , то властивості матеріалу не залежать від температури. Тобто, чим більше значення  $\lg a_T$ , тим сильніше змінюються властивості матеріалу зі зміною його температури.

Температурно-часовий зсув  $a_T$  в загальному випадку для асфальтобетону є нелінійною функцією від температури, що отримано з результатів експериментальних досліджень. [19, 35, 36, 38, 39].

Функцію температурно-часової аналогії описується виразом:

$$a_T(T, Q) = e^{-P_1(T-Q)}. \quad (59)$$

або перетворюючи

$$a_T(T) = \frac{1}{e^{P_1[T(t)-T_s]}}, \quad (60)$$

де  $P_1$  – деякий експериментальний параметр з розмірністю  $[1/^\circ\text{C}]$ ;

$T(t)$  – поточна температура;

$Q, T_s$  – приведена температура.

Отже, визначивши даний параметр (коефіцієнт температурно-часового зміщення), можна з більшою точністю прогнозувати глибину колії в асфальтобетонному покритті.

Застосування принципу температурно-часової аналогії до функції релаксації полягає у проведенні температурного нормування модулів пружності по всьому практично застосованому температурному діапазоні (від  $-10^\circ\text{C}$  до  $65^\circ\text{C}$ ). З урахуванням рівняння (56) та роботи [39], після відповідних інтегрувань остаточно отримано функцію релаксації у такому вигляді:

$$\Psi_T(\mu - \mu') = E_{дг} + (E_{мт} - E_{дг}) \times \left[ 1 + \frac{e^{P_1(T_0+k_1 t - T_s)} \cdot (e^{-P_1 k_1 (t-t_1)})}{P_1 k_1 \eta} \right]^{-\lambda}, \quad (61)$$

де  $k_1$  – швидкість зміни температури (охолодження нагрівня);

У вираз (61) пропонується ввести коефіцієнт  $K_{\Psi_T}^{(II, T_p, III)}$ , який дозволить уточнити функції релаксації асфальтобетону за рахунок penetрації (II), температури розм'якшення ( $T_p$ ) та індексу penetрації (III) бітумного в'язучого за залежністю:

$$\Psi_T(t, T) = E_{дг} + (E_{мт} - E_{дг}) \times K_{\Psi_T}^{(II, T_p, III)} \times \left[ 1 + \frac{e^{P_1(T_0+k_1 t - T_s)} \cdot (e^{-P_1 k_1 (t-t_1)})}{P_1 k_1 \eta} \right]^{-\lambda} \quad (62)$$

де  $K_{VT}^{\Psi_T}(P, T_p, III)$  - уточнюючий коефіцієнт функції релаксації асфальтобетону, який залежить від penetрації, температури розм'якшеності та індексу penetрації бітумного вяжучого і визначається за залежністю:

$$K_{VT}^{\Psi_T}(P, T_p, III) = \left( -\mathcal{G} \times \gamma \times e^{-d \times \Pi(T_p, III)} \times (g \times \Pi(T_p, III) - f) \right), \quad (63)$$

де  $\mathcal{G}, \gamma, d, g, f$  - експериментальні параметри, які залежать від виду в'язучого і приймаються такі значення  $\mathcal{G} = 9$ ,  $\gamma = 560$ ,  $d = 0,03488$ ,  $g = 0,0000136$ ,  $f = 0,0028807$  ;

$\Pi(T_p, III)$  - функція penetрації бітумного в'язучого визначається за залежністю.

$$\Pi(T_p, III) = 10^{\frac{\Pi \times (T_p + 120) - 20 \times T_p + 1952}{500 + 50 \times III}} \quad \text{або} \quad \Pi(T_p, III) = 10^{\frac{(III - 20) \cdot (T_p - 25)}{50 \cdot (III + 10)}} + 2,9031. \quad (63)$$

Для здійснення переходу виразу, що описує отримання глибини колії, що утворилася після першого проходу колеса переходу формули (48) в модель вязкопружності, згідно принципу (1), необхідно виконати відповідні перетворення у нього фіктивних сил навантаження і релаксації. Для цього використаємо залежність [6]:

$$P = \int_{-a}^b p(x) dx = \frac{Ka^3}{RH} Fp(\beta, De), \quad (64)$$

де  $K$  - пружний модуль,  $H$  - товщина покриття,  $Fp(\beta, De)$  - сила тертя, яка виникає при контакті тіл при коченні.

Отримаємо на проміжному етапі вираз із пружним модулем:

$$h = \frac{1}{2} \times (\beta \times c \times R)^{\frac{1}{3}} \times \left[ \frac{3 \times K \times a^3}{b \times R \times H} \times Fp \times \left( \sqrt{\frac{c + \beta}{c \times \beta}} - 1 \right) \right]^{\frac{2}{3}}, \quad (65)$$

а після підстановки функції релаксації у формулу її наступний вигляд:

$$h = \frac{1}{2} \times (\beta \times c \times R)^{\frac{1}{3}} \times \left[ \frac{3 \times \Psi_T(t, T) \times a^3}{b \times R \times H} \times Fp \times \left( \sqrt{\frac{c + \beta}{c \times \beta}} - 1 \right) \right]^{\frac{2}{3}} \quad (66)$$

Постійні  $c$  і  $\beta$ , як правило, встановлюються експериментальним шляхом.

Отриманий вираз (66) є ядром для отримання первинної вертикальної осадки покриття на основі термореологічних параметрів асфальобетонного покриття, навантаження та характеристик колеса.

Обчислення зростання глибини колії, при послідовних проходженнях колеса відбувається зміна геометричних величин області контакту. Зокрема, початок деформації матеріалу покриття під пневматиком все більше і більше наближається до вертикальної площини, прогресивно зменшуючи величину  $a$ . Відстеження зростання глибини колії в залежності від числа проходів колеса виконується послідовними ітераційними обчисленнями.

Виконувати громіздкі розрахунки зі змінними геометричними характеристиками області контакту для кожного окремого проходження пневматика недоцільно. Тому задля певного спрощення вводять безрозмірні параметри, в яких включають показники часу і відстані (29-31). Необхідно використовувати величину  $\delta_N$  як нормовану функцію від кількості проходок [8]. За допомогою  $\delta_N$  обчислюється крок приросту глибини колійності в залежності від кількості проходів:

$$\delta = \sqrt[3]{3(N + c_1)}, \quad (67)$$

де  $N$  - кількість проходів;  $c_1$  - постійна, яку отримують емпіричним шляхом; в аналітичному вираженні  $c_1$  становить собою постійну інтегрування рівняння (12):

$$\sqrt{u_N} \left( \delta_{N-1} + \frac{2}{3} u_N \right) = 1. \quad (68)$$

Отримання величини  $\delta_N$  має на увазі вирішення рівняння зв'язку тиску і приросту глибини колії:

$$\frac{1}{b} P = c_1 \sqrt{2R\Delta h_N} \left( h_{N-1} + \frac{2}{3} \Delta h_N \right). \quad (69)$$

Як ми бачимо, прирості глибини колії  $\Delta h_N = h_N - h_{N-1}$ , в контексті розподілу навантаження займає місце в квадратичному рівнянні (17), де одним із коренів квадратичного рівняння, що містить  $\Delta h_N \in \delta_N$ . Другий корінь -  $u_n$  вони зв'язані між собою наступним чином:

$$\Delta h_N = \gamma \cdot u_N \quad (70)$$

$$h_{N-1} = \gamma \cdot \delta_{N-1} \quad (71)$$

$$\delta_N = \delta_{N-1} + u_N, \quad (72)$$

$$\text{де } \gamma = \sqrt[3]{\frac{P^2}{2 \cdot b^2 \cdot c^2 \cdot R}} \quad [8].$$

Рекурентні розв'язки для рівняння (72) можна представити у послідовності отримання величини  $\delta_N$  із величини  $\delta_{N-1}$ :  $N=1$ ,  $\delta_N=1,31, u_N=1,31$ ;  $N=2$ ,  $u_N=0,40$ ;  $N=3$ ,  $\delta_N=1,99, u_N=0,28$  і т.д.

Стосовно залежності  $\delta_N = \delta_{N-1} + u_N$ , то його перепис у формі кінцевих різниць має вигляд:

$$\frac{\Delta \delta_N}{\Delta N} = \frac{1}{\delta_{N-1}^2}, \quad (73)$$

продиференціювавши отримуємо:

$$\frac{d\delta_N}{dN} = \frac{1}{\delta_N^2}, \quad (74)$$

а після інтегрування питомий вираз прийме вигляд (67).

### Висновок

Зведене рівняння колієутворення в асфальтобетонному покритті на автодорожніх мостах від дії пневматичних коліс транспортних засобів. Підсумовуючи теоретичний розгляд процесу колієутворення у пружно-в'язко-пластичних середовищах наголосимо на основних моментах:

1) як основа теорії колієутворення використовується функціональне ядро рівняння стану колієутворення (48). Теоретичний аналіз розвитку процесів тіл пластичного деформування з в'язкою реологією (зокрема ґрунтів), показав свою корисність для розробки відповідної теорії для асфальтобетону (3, 12);

2) перехід від моделі пружності до моделі в'язко-пружності здійснюється через встановлення відповідної функції релаксації (54); незворотні деформації враховуються при заміщенні модулів пружності показниками, які описують пластичну реакцію середовища (зокрема с);

3) для врахування температурного впливу на в'язкопружні характеристики асфальтобетону виконується адаптація функції релаксації так звана температуро-залежною функцією релаксації на принципах температуро-часової аналогії (56-61). Уточнено функції релаксації асфальтобетону коефіцієнтом (62), який залежить від властивостей бітумного в'язучого, а саме: пенетрації, температури розм'якшення та індексу пенетрації .

4) гнучкість аналітичного рішення процесу колієутворення в асфальтобетонному при дії пневматичних коліс транспортних засобів полягає в

рахуванні змінної товщини покриття, можливість удосконалити дослідницьку модель врахуванням явища мікропросковзування через параметр  $Fp(\beta, De)$ , і особливостей проектування покриття на автодорожніх мостах (зокрема в одно- чи двошаровому наближенні).

5) для прогресуючого зростання глибини колії використовується відповідні рекурентні рівняння з використанням коренів  $\delta_N$  та  $u_N$  (67–78) як функції від кількості циклів навантажень:

$$h_{N+1}^m = \frac{1}{2} \times (\beta \times c \times R)^{-\frac{1}{3}} \times \left[ \frac{3 \times \Psi_T(t, T) \times a^3}{b \times R \times H} \times Fp \times \left( \sqrt{\frac{c + \beta}{c \times \beta}} - 1 \right) \right]^{\frac{2}{3}} \times \left( h_1 \times \delta_{N+1} - \frac{h_1}{\delta_{N+1}} \right); \quad (75)$$

6) рівняння зростання глибини колії в одношаровій моделі (рис. 2):

$$h_{N+1}^m = \frac{1}{2} \times (\beta \times c \times R)^{-\frac{1}{3}} \times \left[ \frac{3 \times \Psi_T(t, T) \times a^3}{b \times R \times H} \times Fp \times \left( \sqrt{\frac{c + \beta}{c \times \beta}} - 1 \right) \right]^{\frac{2}{3}} \times \left( h_1 \times \delta_{N+1} - \frac{h_1}{\delta_{N+1}} \right) \times K_k; \quad (76)$$

7) рівняння зростання глибини колії в двошаровій моделі (рис. 3):

$$h_{N+1}^m = \frac{1}{2} \times (\beta \times c \times R)^{-\frac{1}{3}} \times \left[ \frac{3 \times \bar{\Psi}_T(t, T) \times a^3}{b \times R \times H} \times Fp \times \left( \sqrt{\frac{c + \beta}{c \times \beta}} - 1 \right) \right]^{\frac{2}{3}} \times \left( h_1 \times \delta_{N+1} - \frac{h_1}{\delta_{N+1}} \right) \times K_k; \quad (77)$$

$\bar{\Psi}_T(t)$  – середньо-інтегральне значення функції релаксації, яке визначається за залежністю:

$$\bar{\Psi}_T(t, T) = \left( \sum_{i=1}^n \Psi_{T_{a\beta i}}(t, T) \times H_{a\beta i} \right) \div \sum_{i=1}^n H_{a\beta i}, \quad (78)$$

де  $\Psi_{T_{a\beta i}}(t, T)$  – функція релаксації  $i$ -го шару асфальтобетонного покриття;  $n$  – кількість шарів асфальтобетонного покриття ( $n=2$ );  $H_{a\beta i}$  – товщина  $i$ -го шару асфальтобетонного покриття ( $i=2$ ).

8) рівняння зростання глибини колії для тришаровій моделі прирівнюється до двошаровій моделі (рис. 3).

## Література

1. <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/719-2012-%D1%80>.
2. Александров А.С. Применение теории наследственной ползучести к расчету деформаций при воздействии повторных нагрузок: монография / А.С. Александров – Омск: СибАДИ, 2014. – 152 с.
3. Барашков И.А. Повышение эффективности эксплуатации колесных лесозаготовительных машин на переувлажненных почвогрунтах: автореф. дис. канд. техн. наук / И.А. Барашков. Изд-во Санкт – Петербург. – 2012. – С. 20.
4. Базаров С.М. Математическая модель колеобразование в почвогрунтах под воздействием лесных машин / С.М. Базаров, И.А. Барашков, А.И. Никифорова, А.М. Хахина // Известия: СПьГЛТА, 2011. № 197. – С. 54 – 65.

5. Базаров С.М. Теория колееобразование в почвогрунтах под воздействием гусеничных лесных машин / С.М. Базаров, И.А. Барашиков, А.И. Никофорова, А.М. Хахина // Известия: СПЬГЛТА, 2012. № 198. – С. 59 – 70.
6. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия/ К. Джонсон: Пер. с англ. – М.: Монография : Мир, 1989. – 510 с.
7. Золотарь И.А. К определению остаточных деформаций в дорожных конструкциях при многократных динамических воздействиях на них подвижных транспортных средств / И.А.Золотарь. - Санкт-Петербург: Изд-во "ВАТТ", 1999. - 31 с.
8. Ишлинский А.Ю. Математическая теория пластичности / А.Ю.Ишлинский , Д.Д. Ивлев - М.: Монография : ФИЗМАТЛИТ, 2001, 2003. - 704 с. - ISBN 5-9221-0141-2.
9. Матуа В.П. Прогнозирование и учет накопления остаточных деформаций в дорожных конструкциях / В.П. Матуа, Л.Н. Панасюк. – Ростов – на - Дону: РГСУ, 2001. – 327 с.
10. Фадеев В.Б. Влияние остаточных деформаций грунта земляного полотна на колееобразование на проезжей части дорог с нежесткими дорожными одеждами: автореф... канд. техн. наук/ В.Б. Фадеев. – М.: Изд-во МАДИ. - 1999. – 21 с.
11. Хархута Н.Я. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог / Н.Я.Хархута, Ю.М.Васильев. - М.: Транспорт, 1975. - 592 с.
12. Цытович Н.А. Механика грунтов / Цытович Н.А. М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.
13. Bartley F.G., Cornwell W.L. Aggregates for road pavements. Transit New Zealand Research Report. 1993, N17. - 72 p.
14. Collings I.F., Cliffe P.F. Shakedown in frictional materials under moving surface loads // International Journal for Numerical and Analytical Methods of Geomechanics. 1987. Vol. 11, No. 4, P. 28-37.
15. Crockford W.W., Bendana L.J. Yang W.S. Rhee S.K., Senadheera S.P. Modeling stress and strain states in pavements structures incorporating thick granular layers. Final report, The Transportation Institute, College station Texas. - 1990. - P. 57-71.
16. Sharp R.W. Shakedown-analyses and the design of pavement under moving surface load // PhD Thesis, University of Sydney, Australia, 1983.
17. Sharp R.W., Booker J.R. Shakedown of pavements under moving surface loads // Journal of Transportation Engineering, ASCE, 1984. Vol. 110, N1, p. 1-14.
18. Репников Л.Н. Расчет балок на упругом основании, объединяющем деформативные свойства основания Винклера и линейно-деформируемой среды / Л.И.Репников // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 1967. - №6. - С. 15-28
19. Колтунов М.А. Ползучесть и релаксация. - М.: Высш. школа, 1976. - 277 с.
20. Барвашов В.А. Трехпараметрическая модель грунтового оснвания и свайного поля, учитывающая необратимые стурктурыне деформации грунта / В.А. Барвашов, В.Г.Федоровский // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 1978. - №4. - С.17-19.
21. Богуславский А.М. Основы реологии асфальтобетона / А.М.Богуславский, Л.А. Богуславский. - М. Высшая школа, 1972. - 200 с.
22. Богуславский А.М. Асфальтобетонные покрытия / А.М.Богуславский, Л.Г. Ефремов. - М.: МАДИ, 1981. - 145 с.
23. Лазарев В.В. Математическая модель процесса качения пневматического колеса по деформируемому грунту./ [http://science-bsea.narod.ru/2006/stroy\\_2006/lasarev.htm](http://science-bsea.narod.ru/2006/stroy_2006/lasarev.htm)
24. Мозговой В.В. Экспериментальная оценка устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колеиности / Мозговой В.В., Онищенко А.М., Прудкий А.В., и др./ В кн.: Дорожная техника. – 2010 – С. 114 – 128.
25. Онищенко А.М. Оцінка надійності при прогнозуванні величини колії в асфальтобетонному покритті на транспортних спорудах / А.М. Онищенко/ Управління проектами, системний аналіз і логістика. Науковий журнал. Випуск 15, 2015, Частина 1: Серія «Технічні науки». С. 119-128.
26. Онищенко А.Н. Причины образования колеи на асфальтобетонном покрытии автодорожных мостов и способы повышения колееустойкости // Дорожна техника. – Санкт-Петербург, 2013. – С. 134-144.
27. ОДМ 218.2.004-2004 Методические рекомендации по применению асфальтобетонных покрытий на мостовых сооружениях автомобильных дорог. Москва. Росавтодор, 2010. – 61 с

28. ДБН В.2.3-22:2009 Споруди транспорту. Мости та труби основні вимоги проектування. Київ. Мінрегіонбуд України, 2009 – 73 с.
29. ГБН В.2.3-218-003:2010 Споруди транспорту. Технологія улаштування гідроізоляції проїзної частини автодорожніх мостів і шляхопроводів із застосуванням полімерних матеріалів та водонепроникного бетону.
30. Золотарев В.А. Проблема зсувостійкості асфальтобетонів потребує поглиблених консолідованих досліджень // Автошляховик України. -2008. -№ 5. –С.26-28.
31. Жданюк В.К., Даценко В.М. Стійкість асфальтобетонів різних гранулометричних типів до накопичення пластичних деформацій у вигляді колії // Автошляховик України. – 2009. - №1. С. 31-34.
32. Кирюхин Г.Н. Строительство дорожных и аэродромных покрытий из щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей / Кирюхин Г.Н., Смирнов Е.А. – М.: Информавтодор, 2003. – 96с
33. Головка С.К. Сучасний підхід до дослідження колісутворення в асфальтобетонних покриттях / Головка С.К., Бабінець А.Д., Фощ І.В. // Дороги і мости. – 2004. – вип. 2. – С. 34-47.
34. Воловик А.А. Колееустойчивость мелкозернистого асфальтобетона на битумах разных марок / Воловик А.А., Костин Д.Ю., Чугуенко С.А., Жданюк В.К. // Международная научно-практическая конференция молодых ученых: «Эффективные материалы, технологии, машины и оборудование для строительства и эксплуатации современных транспортных сооружений». – 2009. – С. 92-97.
35. Радовский Б.С. Теоретические основы конструирования и расчета нежестких дорожных одежд на воздействие подвижных нагрузок. – Дис. ... докт. техн. наук. – 05.25.11 / Радовский Б.С. – Киев, 1983. – 552 с.
36. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий: Дис. докт. техн. наук: 05.22.11 - К., 1996 – 406 с.
37. Иноземцев А.А. Сопротивление упруго-вязких материалов. Из-во литературы по строительству. Л., 1966.
38. Золотарев В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов / Золотарев В.А.. – Харьков: Вища школа, 1977. – 116 с.
39. Онищенко А.М. Теоретичні та практичні дослідження ресурсу асфальтобетонного покриття на залізобетонних транспортних спорудах: монографія/ А.М. Онищенко, М.П. Кузьмінець, В.Ф. невінгловський, М.В. Гаркуша. – К.: НТУ, 2015. – 324 с.

**Рецензенти:**

Жданюк В.К., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Золотарьов В.О., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

**Reviewers:**

Zhdaniuk V.K., Dr. Tech. Sci., Kharkiv National Automobile and Highway University.

Zolotarev V.O., Dr. Tech. Sci., Kharkiv National Automobile and Highway University.

Стаття надійшла до редакції: **01.07.2016 р.**

## ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 001.891.3 : 629.3 : 656.7.076 : 631.11

Пронь С.В.

### ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ІНТЕГРОВАНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ВИРОЩУВАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

**Анотація.** У статті досліджено складові транспортної системи в аграрному комплексі та сформовано поняття інтегрованої транспортної системи вирощування озимої пшениці із застосуванням No-till технології.

**Ключові слова:** транспортні системи, транспортно-технологічні системи в аграрному комплексі, технологія виконання аграрних робіт, No-Till технологія, авіаційна техніка, наземна техніка.

**Аннотация.** В статье исследованы составляющие транспортной системы в аграрном комплексе и сформировано понятие интегрированной транспортной системы выращивания озимой пшеницы с применением No-till технологии.

**Ключевые слова:** транспортные системы, транспортно-технологические системы в аграрном комплексе, технология выполнения аграрных работ, No-Till технология, авиационная техника, наземная техника.

**Abstract.** In this article the components of transport system in agriculture complex have been researched and integrated transport system of winter wheat growing with the using of No-till technology has been researched.

**Keywords:** transport system, transport and technology systems in the agricultural sector, the technology performance of agricultural work, No-Till technology, aviation equipment, ground equipment.

#### Вступ

Транспорт – найважливіша ланка у сфері економічних відносин. Він бере участь у створенні продукції та доставці її споживачам, здійснює зв'язок між виробництвом та споживанням, між різними галузями господарства, між країнами та регіонами. Значний вплив транспортна складова має на виробництво сільського господарства залежно від ступеня його інтенсивності

та рівня розвитку агропромислової інтеграції, оскільки транспорт бере безпосередньо участь у технологічному процесі вирощування сілськогосподарських культур [1].

Криза, що панує в нашій країні, змушує впроваджувати сучасні ресурсозберігаючі No-till технології вирощування сільськогосподарських культур, яке неможливе без удосконалення її транспортної складової. Тому важливим є формування інтегрованої транспортної системи виконання аграрних робіт, ефективність функціонування якої полягає у раціональному використанні наземної та авіаційної техніки, що призведе до зменшення матеріальних та фінансових ресурсів.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Дослідженням проблем впровадження ресурсозберігаючих технологій, що призводять до підвищення ефективності виробництва продукції рослинництва, присвячені наукові дослідження таких зарубіжних та вітчизняних вчених: Шенон Озборн, Уейн Рівз, Едуардо Мартеллотто, Маріо Брагачіні В.Я. Амбросова, В.Г. Андрійчука, В.І. Бойка, А.С. Даниленка, М.Я. Дем'яненко, О.Ю. Єрмакова, І.В. Коновалова, М.М. Косолапа, В.І. Криворучка, А.М. Малієнка, М.Й. Маліка, П.О. Мосіюка, О.М. Онищенко, С.П. Танчика, В.Ф. Сайка, П.Т. Саблука, П.П. Руснака, О.М. Шпичака, В.О. Єщенко та ін.

Проведений аналіз сучасних наукових робіт показав, що в цих роботах недостатньо проведене дослідження щодо формування ефективної транспортної системи в аграрному комплексі.

**Мета статті.** Ефективне функціонування транспортної системи виконання аграрних робіт можливе тільки за допомогою наукових знань про організацію, технологію виконання та методи управління виробництвом продукції.

Вибір транспортних засобів для обробки сільськогосподарських угідь в умовах вирощування за No-Till технологією дуже важливий. Особливо набувають великого значення заходи щодо захисту врожаїв від шкідливих організмів, внесення агрохімікатів, дисикації та дефоліації сільськогосподарських культур. В свою чергу впровадження сучасних технологій неможливе без застосування авіації у сільському господарстві.

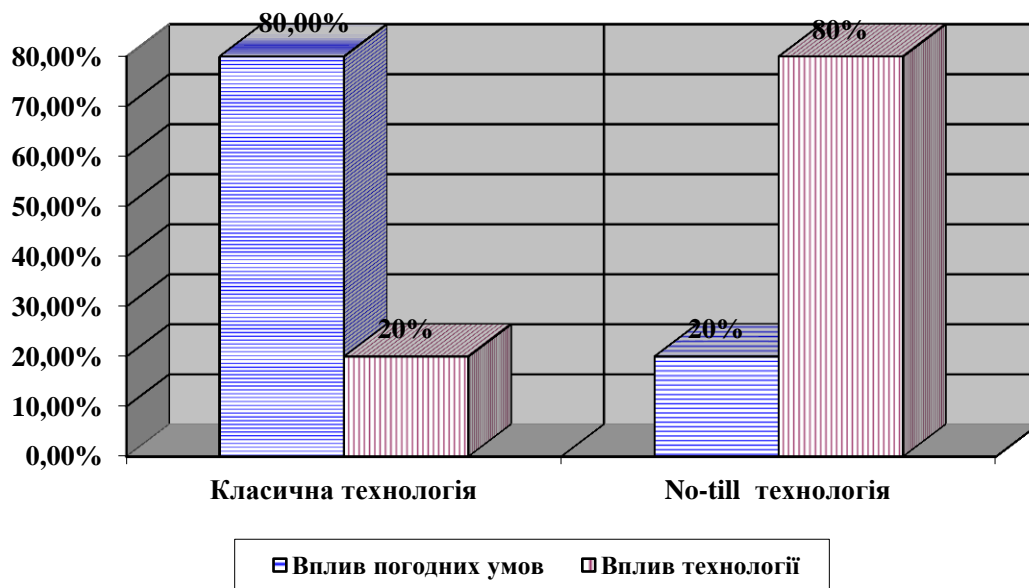
Нажаль, у цій сфері складається жорстка конкуренція між наземними та авіаційними транспортними засобами. Але, працюючи на досягнення спільної мети щодо одержання високих та якісних врожаїв в сільському господарстві,

потрібно не конкурувати між собою, а розумно співіснувати, обираючи раціональне використання наземного та авіаційного транспорту при виконанні аграрних робіт. Для цього необхідним є проведення дослідження деталізованого транспортно-технологічного процесу вирощування сільськогосподарських культур з урахуванням сезонності їх виконання, що дасть можливість формування інтегрованої транспортної системи вирощування сільськогосподарських культур за участю наземної та авіаційної техніки.

**Виклад основного матеріалу.** Інтегрована транспортна система сільського виробництва є складним об'єктом з точки зору моделювання єдиного виробничого циклу, який би включав в себе всі необхідні прийоми та різні фактори впливу на рівень урожайності сільськогосподарських культур.

Аналіз впливу агротехнічних заходів на врожайність сільськогосподарських культур при сумісному їх виконанні показав, що біля 40 % припадає на внесення агрохімікатів, 15-25 % на захист рослин, 20 % на сорта та гібриди і 15-20 % - на обробку ґрунту, що є найбільш ресурсозатратним елементом технології.

При існуючих технологіях організації сільського господарства врожай на 80 % залежить від природи. А при системі No-Till вплив клімату на ефективність рослинництва зведений до 20 %, а інші 80% залежать від технології та вибору транспортного засобу (рис 1).



**Рисунок 1** – Рівень залежності врожаю від впливу факторів погодних умов та технології

В умовах впровадження ресурсозберігаючих технологій в аграрному секторі пріоритетом є збереження і примноження матеріального та грошового капіталу. Мінімізація обробітку зменшує антропогенне навантаження на ґрунт, що впливає на зменшення прямих матеріально-технічних витрат, затрати праці в технологічному процесі та підвищує конкурентоспроможність продукції.

Масштабного поширення ця технологія набуває в багатьох країнах світу, адже щорічно площа під No-till технологією в світі зростає на понад 1 млн га.

Відомо, що на даний час в Україні No-till технології в ідеальному вигляді запроваджуються у корпорації «Агро-Союз» Дніпропетровської області. Сьогоднішня ситуація на ринку енергоносіїв, матеріалів, робочої сили змінилась кардинально і ці фактори спонукають до активного пошуку технологій, які б відповідали сучасним реаліям. На базі цього господарства щорічно проводяться міжнародні конференції із залученням вітчизняних та зарубіжних учених і великого загалу виробників для популяризації цієї технології. І разом з цим її впровадження у виробництво країни стримується через відсутність цілісної державної наукової програми з розробки та адаптації технології No-till до умов України [2, 3]. За даними джерела станом на 2012 рік площа використання технології No-till в Україні в 2012 році становила 7,5 % від загальної площі. Прогноз на 2017 р. — 15 % (6,0 млн га) [4].

Проаналізувавши врожайність різних сільськогосподарських культур у корпорації «Агро-Союз» в залежності від технології обробітку ґрунту, бачимо, що врожайність деяких сільськогосподарських культур зменшувалася, а деяких збільшувалася (табл. 1).

**Таблиця 1** – Урожайність культур у корпорації «Агро-Союз» залежно від технології обробітку ґрунту, ц/га (середнє за другий і третій рік освоєння технологій) [5]

Культура	Технологія обробітку ґрунту	
	Традиційна	Нульова (No-till)
Пшениця озима	46,5	40,2
Кукурудза на зерно	99	119
Кукурудза на силос	184	203
Соняшник	17,2	17,3
Ячмінь ярий	49,6	46,3
Горох	37,7	40,2
Соя	12,0	11,8

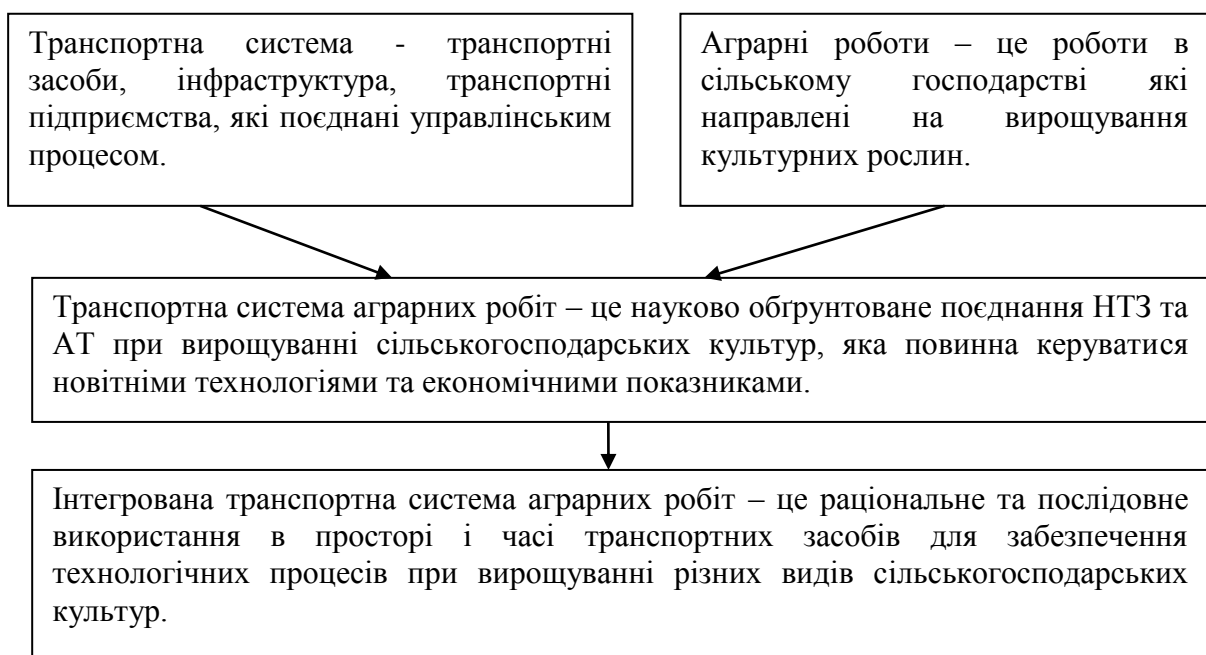
Як видно з таблиці 1, урожайність за No-till технологією зменшилася по таким зерновим культурам, як озима пшениця, ячмінь ярий та соя. Це

пояснюється тим, що не приділялося належної уваги щодо формування ефективної транспортної системи для обробки цих зернових, насамперед, залучення авіаційного транспорту, який має значні переваги перед наземним транспортом в умовах впровадження No-till технології.

За твердженням джерела [6] в Україні основною метою використання даної технології є зменшення витрат виробництва, підвищення продуктивності, збереження родючості ґрунтів. Водночас, не менш вагомим залишається фактор трудових ресурсів у землеробській галузі, який є надзвичайно обмеженим та дорогим. Досягненню цієї мети значною мірою сприятиме залучення авіаційного транспорту, оскільки він не має механічного впливу на ґрунт.

Таким чином, для підвищення ефективності впровадження ресурсозберігаючих технологій необхідним є формування транспортної системи вирощування сільськогосподарських культур за участю наземної та авіаційної техніки [7], основою якого має бути теоретичне поняття «інтегрованої транспортної системи аграрних робіт».

Узагальнюючи основні теоретичні положення щодо різних тлумачень транспортних систем у поєднанні їх з аграрними роботами автором запропонована структурна модель формування поняття «інтегрованої транспортної системи аграрних робіт» в сучасних умовах, яка показана на рисунку 2.



**Рисунок 2** – Структурна схема формування поняття «інтегрованої транспортної системи аграрних робіт» в сучасних умовах

Інтегрована транспортна система аграрних робіт повинна базуватися на раціональному та послідовному використанні наземних транспортних засобів (НТЗ) та авіаційного транспорту (АТ) для максимально можливого задоволення потреб рослин в основних факторах життя з метою отримання високого і стабільного врожаю.

З метою визначення ефективності інтегрованої транспортної системи виконання аграрних робіт, були проведені дослідження щодо застосування різних технологій вирощування озимої пшениці з деталізацією технологічних операцій та участі в них певного виду транспорту. Дослідження проводилися для озимої пшениці по непаровим попередникам за традиційною та No-till технологіями. Площа посіву 1000 га. Попередники - багаторічні трави. Що стосується фінансових ресурсів, то в таблиці 2 наведена тільки вартість палива, частка якої складає 60-70% в загальних витратах. За класичною технологією сівба проводилася тільки наземним транспортним засобом, а за No-till технологією – наземним та авіаційним транспортом.

**Таблиця 2** - Моделювання транспортно-технологічних операцій вирощування озимої пшениці

Технологічна операція	Класична технологія		No-till технологія	
	Наявність	Вартість палива, грн.	Наявність	Вартість палива, грн.
	Транспортний засіб		Транспортний засіб	
Дискування стерні (10-12 см)	+	62700	-	
	НТЗ			
Навантаження мінеральних добрив	+	990	-	
	НТЗ			
Транспортування мінеральних добрив (до 10 км)	+	1403	-	
	НТЗ			
Внесення мінеральних добрив (основне)	+	15675	-	
	НТЗ			
Оранка (20-22 см)	+	379500	-	
	НТЗ			
Суцільна культивування з одночасним боронуванням - 8-10 см	+	70950	-	
	НТЗ			
Прикочування ґрунту	+	18150	-	
	НТЗ			
Суцільна культивування з одночасним боронуванням - 8-10 см	+	70950	-	
	НТЗ			
Протруювання насіння	+	-	+	-
	НТЗ		НТЗ	
Суцільна культивування з одночасним боронуванням 6-8 см. (передпосівна)	+	70950	-	-
	НТЗ			
Транспортування води	-	-	+	3300
			НТЗ	
Обприскування (гербіцид)	-	-	+	134211
			НТЗ	

**Кінець таблиці 2**

Транспортування насіння (до 10 км)	+	5610	+	5610
	НТЗ		НТЗ	
Завантаження насіння в сівалки	+		+	
	Вручну		Вручну	
Завантаження мінеральних добрив	+	990	+	1980
	НТЗ		НТЗ	
Транспортування мінеральних добрив (до 10 км)	+	1403	+	2805
	НТЗ		НТЗ	
Завантаження мінеральних добрив в сівалки	+		+	
	вручну		вручну	
Посів з внесенням мінеральних добрив	+	41250	+	82500
	НТЗ		НТЗ	
Прикочування посівів	+	18150	-	-
	НТЗ			
Завантаження мінеральних добрив	+	990	+	990
	НТЗ		НТЗ	
Транспортування мінеральних добрив (до 10 км)	+	1403	+	1403
	НТЗ		НТЗ	
Внесення мінеральних добрив (підживлення)	+	15675	+	15675
	НТЗ		НТЗ	
Боронування ранньовесняне	+	28050	+	28050
	НТЗ		НТЗ	
Транспортування води	+	9900	+	9900
	НТЗ		НТЗ	
Обприскування (гербіцид і "Кристалон")	+	16170	+	16170
	НТЗ		НТЗ	
Транспортування води	+	9900	+	9900
	НТЗ		НТЗ	
Обприскування (інсектицид)	+	16170	+	Авіаційне підприємство
	НТЗ		АТ	
Завантаження мінеральних добрив	+	990	+	990
	НТЗ		НТЗ	
Транспортування мінеральних добрив (до 10 км)	+	1403	+	1403
	НТЗ		НТЗ	
Транспортування води	+	9900	+	9900
	НТЗ		НТЗ	
Обприскування (Карбамід)	+	16170	+	Авіаційне підприємство
	НТЗ		АТ	
Транспортування води	+	9900	+	9900
	НТЗ		НТЗ	
Обприскування (фунгіцид)	+	1617	+	1617
	НТЗ		НТЗ	
Скошування у валки	+	1089	+	1089
	НТЗ		НТЗ	
Підбір та обмолот валків	+	3960	+	3960
	НТЗ		НТЗ	
Протипожежна оранка	+	6270	+	6270
	НТЗ		НТЗ	
Пряме комбайнування з подрібненням соломи	+	271656	+	271656
	НТЗ		НТЗ	
Вивіз зерна від комбайнів (10 км)	+	Логістичні послуги	+	Логістичні послуги
	НТЗ		НТЗ	
Очищення і сортування зерна	+	Завод	+	Завод
	НТЗ		НТЗ	
Разом технологічних операцій	38	1179884	30	524007

Проаналізувавши таблицю 2 бачимо, що основний та поверхневий обробіток ґрунту присутній тільки в класичній технології вирощування озимої пшениці із застосуванням тільки наземного транспорту. No-till технологія із застосуванням інтегрованої транспортної системи не передбачає цих технологічних операцій, що суттєво знижує енергозатратність транспортної системи вирощування озимої пшениці. А це, в свою чергу, знижує собівартість виробленої продукції. За результатами розрахунків при класичній технології вирощування озимої пшениці загальні витрати на паливо складають 1179,9 тис. грн., а при вирощуванні за No-till технологією – 524 грн., що на 655,9 тис. грн. менше ніж за класичною технологією вирощування.

### **Висновки**

У роботі розроблено структурну схему формування поняття «інтегрованої транспортної системи аграрних робіт» в сучасних умовах, яка поєднує раціональне використання наземної та авіаційної техніки при вирощуванні сільськогосподарських культур. Результати дослідження транспортно-технологічних операцій вирощування озимої пшениці показали, що застосування інтегрованої транспортної системи із впровадженням No-till технології суттєво зменшує матеріальні та фінансові ресурси у порівнянні з класичною технологією.

### **Література**

1. Яцківський Л.Ю., Зеркалов Д.В. Загальний курс транспорту. Книга 2. Навчальний посібник-К., Арістей, 2007, 504 с. URL: <http://ut.nmu.org.ua/>.
2. Танчик С.П. No-till і не тільки Сучасні системи землеробства.–К.:Юнівест Медіа, 2009.–160 с.
3. Єщенко В. О. No-till технологія: її сьогодення та майбутнє / В. О. Єщенко // Вісник Уманського НУС. – 2013. – №1–2. – С. 4–9.
4. Площади No-till в Україні [Електронний ресурс] — URL:<http://archive.ru.com/page/3604877/2014-01-28/http://notill.ru/view.phpid=52>.
5. Медведєв В.В. Нульовий обробіток ґрунту в Європейських країнах. –Харків:ТОВ «ЕДЕНА», 2010. – 202 с.
6. Використання No-till технології та її значення для підвищення ефективності сільськогосподарського [Електронний ресурс] — URL:<http://repository.vsau.org/getfile/6166.pdf>.
7. Пронь С. В. Теоретичні аспекти поняття транспортної системи аграрних робіт [Текст] / С. В. Пронь, І. І. Висоцька // Молодий вчений. — 2016. — №4.

#### **Рецензенти:**

Марінцева К.В., д-р техн. наук, Національний авіаційний університет.  
Бондаренко Л.П канд. техн. наук, Національний транспортний університет.

#### **Reviewer:**

Marintseva K.V., Dr. Tech. Sci., National Aviation University.  
Bondarenko L.P., Ph.D., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **07.07.2016 р**

## **ЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

**УДК 532.5 : 627.13**

**Бондаренко Л.П., канд. техн. наук, Левченко А., Руденко О.**

### **ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ОРГАНІЧНИХ В'ЯЖУЧИХ В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ**

**Анотація.** В рамках роботи проаналізовано екологічні аспекти застосування органічних в'язучих в дорожньому будівництві, зокрема при виробництві асфальтобетонних сумішей. Проведено розрахунки обсягів викидів забруднюючих речовин при виробництві 1 тони гарячої та холодної асфальтобетонної суміші залежно від марки бітуму.

**Ключові слова:** асфальтобетонні суміші, екологічний стан, забруднюючі речовини

**Аннотация.** В рамках работы проанализированы экологические аспекты применения органических вяжущих в дорожном строительстве, в частности при производстве асфальтобетонных смесей. Проведены расчеты объемов выбросов загрязняющих веществ при производстве 1 тонны горячей и холодной асфальтобетонной смеси.

**Ключевые слова:** асфальтобетонная смесь, экологическое состояние, загрязняющие вещества

**Abstract.** As part of the work analyzes the environmental aspects of the use of organic binders in road construction , in particular in the manufacture of asphalt mixes . The calculations of the volume of pollutant emissions in the production of 1 ton of hot and cold asphalt mix

**Keywords:** asphalt mix, ecological condition, pollutants

### **Вступ**

На сьогоднішній день найбільш розповсюдженим типом покриття як в Україні, так і в усьому світі залишається асфальтобетон. Разом з тим,

застосування асфальтобетонних сумішей ставить дорожньо-будівельну галузь на друге місце за шкідливістю після підприємств хімічної промисловості. Це в першу чергу обумовлено застосуванням органічних в'язучих (бітумів), що входять складу асфальтобетонних сумішей. У зв'язку з цим, актуальним питанням сьогодення є оцінка впливу на довкілля різних технологій виробництва та застосування асфальтобетонних сумішей, а також розробка організаційно-технічних заходів з мінімізації хімічного забруднення, як на стадії виробництва сумішей, так і при їх застосуванні.

### **Основна частина**

Питаннями захисту та охорони навколишнього середовища в дорожній галузі займалися такі вчені як: В.Ф. Бабков, А.М. Гридчин, І.Є. Евген'єв, В.Н. Луканін, М.В. Немчинов, А.К. Платонов, В.П. Подільський, СВ. Порадек, В.В. Сілкін та ін. [1, 2]

Основними класами забруднюючими речовинами, що виділяються в атмосферу під час виробництва асфальтобетонних сумішей є:

- продукти згорання палива;
- продукти випаровування нафтопродуктів;
- неорганічний пил.

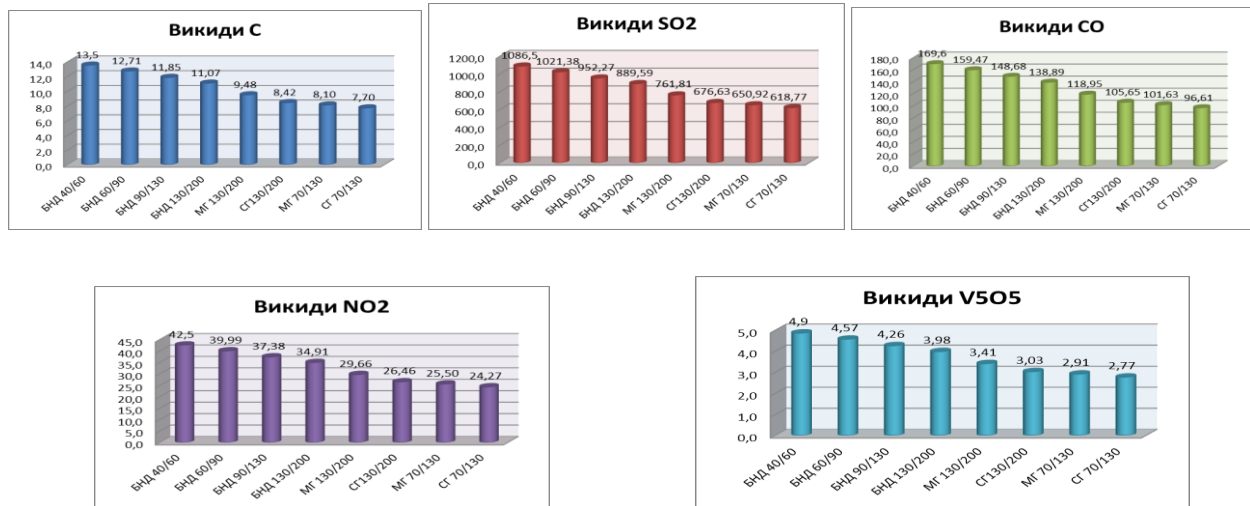
Два перших класи безпосередньо пов'язані із застосуванням органічних в'язучих в технологічному процесі виробництва асфальтобетонних сумішей.

### **Продукти згорання палива**

Для оцінки впливу різних факторів на обсяги викидів продуктів згорання палива (мазуту) було проведено відповідні розрахунки в перерахунку на 1 тону готової суміші за стандартною методикою [3]. Результати розрахунків наведено в табл. 2

**Таблиця 2** – Обсяги продуктів згорання мазуту при виробництві 1т асфальтобетонної суміші

Марка бітуму	Маса викиду, кг				
	C	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
БНД 40/60	13,5	1086,5	169,6	42,5	4,9
БНД 60/90	12,71	1021,38	159,47	39,99	4,57
БНД 90/130	11,85	952,27	148,68	37,38	4,26
БНД 130/200	11,07	889,59	138,89	34,91	3,98
МГ 130/200	9,48	761,81	118,95	29,66	3,41
СГ130/200	8,42	676,63	105,65	26,46	3,03
МГ 70/130	8,10	650,92	101,63	25,50	2,91
СГ 70/130	7,70	618,77	96,61	24,27	2,77



**Рисунок 1** – Залежність обсягів викидів продуктів спалювання мазуту від марки бітуму в складі асфальтобетонної суміші

Аналіз результатів розрахунків (табл. 2 та рис.1) дозволяє зробити висновок, що при виробництві гарячих асфальтобетонних сумішей обсяги викидів продуктів згорання палива більші, ніж при виробництві холодних. При цьому важливу роль відіграє також марка бітуму, що входить до складу асфальтобетонної суміші. Бачимо, що чим більша в'язкість бітуму, тим обсяги викидів більші. Це можна пояснити тим, що більш в'язкі бітуми мають більш високу робочу температуру, що обумовлює більші потреби палива.

Також з таблиці 2 можна зробити також висновок, що найбільшу масову частку в продуктах згорання мазуту становить діоксид сірки  $SO_2$ . Однак, було б не правильно оцінювати вплив на довкілля лише за масовими обсягами викидів домішок. Необхідно також враховувати і їх відносну шкідливість. Величина, яка враховує як маси, так і відносні шкідливості домішок – є так званий індекс КНП, що визначається за формулою:

$$КНП = \sum_{i=1}^n \left( \frac{M_i}{ГДК_{сд}} \right)^{a_i}, \quad (1)$$

де  $n$  – кількість шкідливих речовин, які викидаються в атмосферу;

$M_i$  – маса  $i$ -тої речовини, т;

$ГДК_{сд}$  – середньодобова ГДК  $i$ -ї речовини,  $мг/м^3$ ;

$a_i$  – безрозмірна константа, яка дозволяє порівняти ступінь шкідливості  $i$ -ї речовини зі шкідливістю сірчистого газу (табл. 1.3).

**Таблиця 3** – Значення безрозмірної константи  $a_i$

Константа	Клас небезпечності речовини			
	1	2	3	4
$a_i$	1,7	1,3	1	0,9

Результати розрахунків індексів КНП за продуктами згорання мазуту наведено в табл. 1.4

**Таблиця 4** – Індекс КНП продуктів згорання палива при виробництві 1 т асфальтобетонної суміші

Назва домішки	ГДКсд мг/м <sup>3</sup>	Клас небезпечності	Показник $a_i$	КНП
Зола	0,15	III	1	84,73
Сірчистий ангідрид	0,05	III	1	20427,51
Оксид вуглецю	3	IV	0,9	35,73
Діоксид азоту	0,04	II	1,3	7941,80
Оксид ванадію	0,002	I	1,7	512940,17

Бачимо, що найменше за масою викидається оксиду ванадію, однак він посідає I місце за відносною шкідливістю.

#### **Продукти випаровування нафтопродуктів**

Для оцінки впливу різних факторів на обсяги викидів продуктів випаровування нафтопродуктів було проведено відповідні розрахунки в перерахунку на 1 тону готової суміші за стандартною методикою [4]. Результати розрахунків наведено в табл.5

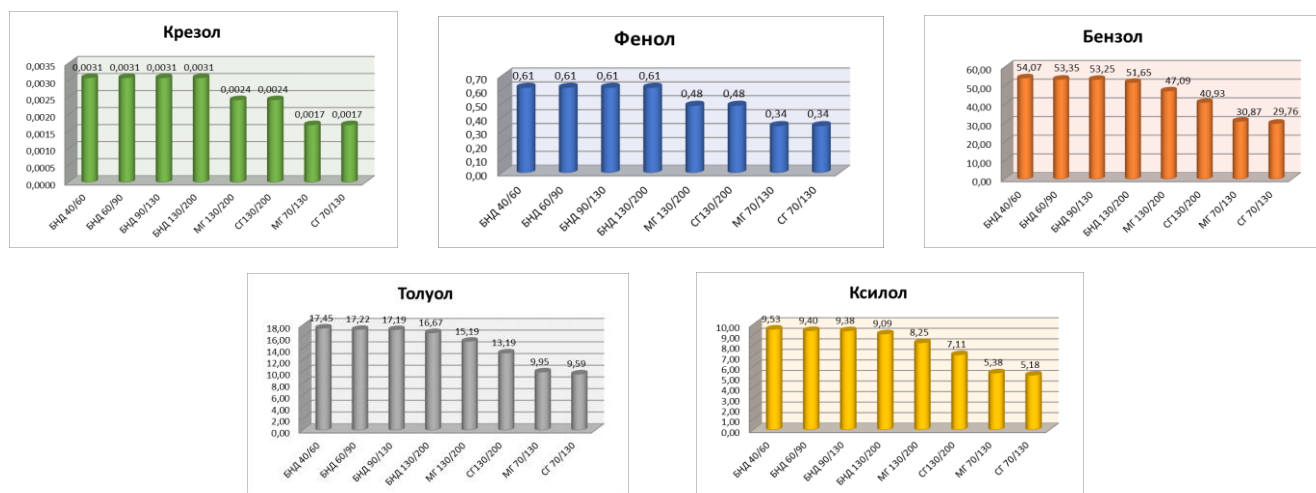
**Таблиця 5** – Обсяги викидів продуктів випаровування бітуму при виробництві 1т асфальтобетонної суміші

Марка бітуму	Маса викиду, г/т				
	Бензол	Толуол	Ксилол	Фенол	Крезол
БНД 40/60	54,07	17,45	9,53	0,61	0,0031
БНД 60/90	53,35	17,22	9,40	0,61	0,0031
БНД 90/130	53,25	17,19	9,38	0,61	0,0031
БНД 130/200	51,65	16,67	9,09	0,61	0,0031
МГ 130/200	47,09	15,19	8,25	0,48	0,0024
СГ130/200	40,93	13,19	7,11	0,48	0,0024
МГ 70/130	30,87	9,95	5,38	0,34	0,0017

Також для оцінки відносної шкідливості продуктів випаровування бітуму при виробництві асфальтобетонних сумішей було проведено розрахунок їх індексів КНП (таб.6)

**Таблиця 6** – Індекс КНП продуктів випаровування бітуму при виробництві 1 т асфальтобетонної суміші

Назва домішки	ГДКсд, мг/м <sup>3</sup>	Клас небезпечності	Показник шкідливості аі	Величина КНП
Бензол	0,003	II	1,3	444509,62
Толуол	0,1	II	1,3	1069,19
Ксилол	0,1	II	1,3	479,72
Фенол	0,6	III	1	1,25
Крезол	0,02	II	1,3	0,11



**Рисунок 3** – Залежність обсягів викидів продуктів випаровування від марки бітуму в складі асфальтобетонної суміші

Очевидно, що для даного класу домішок ситуація аналогічна продуктам згорання палива. Як показують результати розрахунків (табл.6 ,рис.3) виробництво гарячих асфальтобетонних сумішей супроводжується більшими обсягами викидів при випаровуванні нафтопродуктів, ніж виробництво холодних. При цьому найбільш небезпечним і шкідливим є фенол, хоча маса його викиду є незначною.

### Висновки

Підсумовуючі дані розрахунків можемо зробити загальний висновок, про те, що виробництво гарячих асфальтобетонних сумішей є більш небезпечним

для довкілля порівняно з виробництвом холодних сумішей. При цьому обсяги викидів за «холодною» технологією менші порівняно з «гарячою» за продуктами згорання палива та продуктами випаровування нафтопродуктів майже в 1,5 рази. Встановлено пряму залежність обсягів викидів забруднюючих речовин від в'язкості бітуму, що входить до складу асфальтобетонної суміші.

### **Література**

1. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды / Под ред. Р.В.Малова – М.: Транспорт, 1982. – 200 с.
2. Евгенийев И.Е., Каримов Б.Б. Автомобильные дороги в окружающей среде. – М.: Трансдорнаука, 1997. – 285 с.
3. Методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах продуктивностью до 30 т/год. – М.: Гидрометеоздат, 1985. – 25 с.
4. Примак А.В., Балтренас П.Б. Защита окружающей среды на предприятиях стройиндустрии. – К.: Будівельник, 1991. – 152 с.
5. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 183 с.

### **Рецензенти:**

Хрутьба В.О., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

Кіяшко І.В., канд. техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

### **Reviewers:**

Khrutba V.O., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Kiiashko I.V., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Kharkiv National Automobile and Highway University.

Стаття надійшла до редакції: **10.06.2016 р**