

РОЗВІДУВАННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ ДОРІГ ТА ПЕРЕХОДІВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ

УДК 625.72

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

ВИКОРИСТАННЯ КОЕФІЦІЄНТА РОЗВИТКУ ПРИ ОБГРУНТУВАННІ СМУГИ ВАРІЮВАННЯ ТРАСИ

Анотація. В даній роботі розглянуто існуючий метод аналітичного обґрунтування смуги варіювання траси, розроблений Д.Г. Румянцевим. Запропоновано використання коефіцієнта розвитку траси для визначення смуги варіювання.

Ключові слова: трасування автомобільних доріг, смуга варіювання, коефіцієнт розвитку, траса.

Аннотация. В данной работе рассмотренный существующий метод аналитического обоснования полосы варьирования трассы, разработанный Д.Г. Румянцевим. Предложено использование коэффициента удлинения трассы для определения полосы варьирования.

Ключевые слова: трассирование автомобильных дорог, полоса варьирования, коэффициент удлинения, трасса.

Annotation. This work reviewed the existing method of analytical substantiate of variation lane, which developed by D.G. Rumyantsev. Proposed to use of elongation coefficient for determining the variation lane.

Keywords: road-location, variation lane, elongation coefficient, alignment.

Однією з актуальних задач в області трасування автомобільних доріг є розробка аналітичних методів обґрунтування смуги варіювання траси для створення та вдосконалення систем автоматизованого проектування.

Розміри смуги варіювання конкуруючих варіантів траси в значній мірі визначають як об'єми аеро- та наземних вишукувань, так і об'єми проектних робіт направлених на пошук найкращого варіанту прокладання траси. Призначення занадто широкої смуги варіювання призводить до невиправданого збільшення об'ємів проектно-вишукувальних робіт і сильно затрудняє пошук найкращого проектного рішення. При заниженій ширині смуги варіювання можливо, що найкращий варіант траси може опинитися за межами смуги, що розглядається.

У зв'язку з цим обґрунтуванню розмірів зони варіювання траси необхідно приділяти виключну увагу. Обрана смуга варіювання повинна охоплювати всі ділянки місцевості, де можуть пройти конкуруючі варіанти траси автомобільної дороги.

На сьогоднішній день все більшого значення починають набувати методи аналітичного обґрунтування смуги варіювання траси з використанням комп'ютерних програм. Розробка такого методу була здійснена Д. Г. Румянцевим, але подальшого розвитку ця робота не отримала. Суть цього методу зводиться до наступного.

З використанням існуючих топографічних карт, цифрових та електронних карт, матеріалів аеровишукувань минулих років, матеріалів вишукувань попередніх стадій проектування, а також результатів повітряних обстежень будують попередню цифрову модель місцевості (ЦММ), якою охоплюють завідомо велику територію, ніж необхідно для виявлення найкращого варіанту напрямку траси.

При підготовці попередньої ЦММ і аналітичного визначення границь смуги варіювання конкуруючих варіантів траси із розгляду одразу ж виключають об'єкти та ділянки місцевості, прохід траси автомобільної дороги через які або завідомо не доцільний (цінні сільськогосподарські угіддя, болота, слабкі ґрунти, засолені ґрунти, карстові ділянки місцевості вічномерзлі ґрунти тощо), або взагалі не можливий (території промислових підприємств, населені

пункти, території оборонних об'єктів, заповідні зони і т. д.), а також встановлюють фіксовані точки і напрямки, прохід траси через які обов'язковий. Розглядають також ділянки місцевості, де в ході аналітичного трасування необхідно вирішити питання можливості їх обходу, або проходження через них траси автомобільної дороги. Їм надають відповідні вартісні значення зведення земляного полотна автомобільної дороги, і з'являється можливість автоматичного альтернативного рішення траси на користь обходу ділянки місцевості з високою вартістю будівельних робіт, або на користь проходження трасою по цій ділянці, якщо її обхід пов'язаний із значним подовженням траси.

В межах отриманої таким чином зони, виконується перебирання всіх можливих варіантів із співставленням їх між собою по укрупненим приведеним витратам. До подальшого розгляду приймають зону, що розмістилася між найкращим варіантом та прилеглими до нього варіантами, приведені затрати для яких не відрізняються більш ніж на 15% від найкращого варіанту.

Як видно, даний метод передбачає досить великі об'єми проектно-вишукувальних робіт, так як на будується цифрова модель місцевості, що охоплює завідомо більшу територію, ніж необхідно. Тому, пропонується оцифровувати територію у межах максимального, економічно-виправданого відхилення траси від її повітряної лінії. Тобто, використовуючи коефіцієнт розвитку траси (K).

Даний коефіцієнт визначається як відношення довжини траси автомобільної дороги до довжини повітряної лініями між кінцевими точками дороги, або між заданими при проектуванні контрольними точками.

$$K = \frac{L}{l}, \quad (1)$$

де L – довжина траси автомобільної дороги;

l – довжина повітряної лінії.

Задавшись коефіцієнтом розвитку траси можливо розрахувати максимальне відхилення траси від повітряної лінії по всій довжині повітряної лінії.

На рис. 1 наведена розрахункова схема для визначення відстані x – віддаленості траси автомобільної дороги від повітряної лінії – для ділянки дороги довжиною l та заданої величини коефіцієнту розвитку траси.

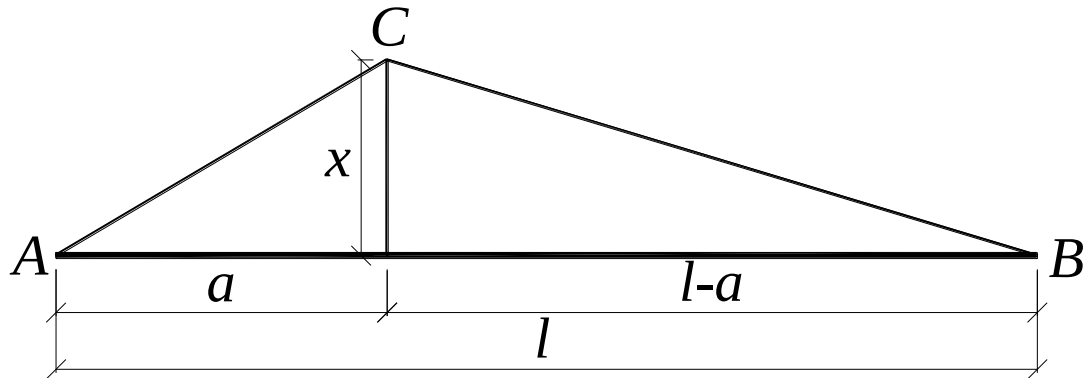


Рисунок 1 – Схема визначення коефіцієнту розвитку траси

Необхідністю вписувати горизонтальні криві знехтуємо.

Коефіцієнт розвитку траси визначається як відношення суми відстаней AC та CB до відстані l .

З вищенаведеної розрахункової схеми визначимо величину коефіцієнту розвитку траси в залежності від параметрів a та x :

$$K = \frac{\sqrt{a^2 + x^2} + \sqrt{(l-a)^2 + x^2}}{l}, \quad (2)$$

де a – довільна відстань по повітряній лінії траси між точками A та B ;

x – віддаленість траси від повітряної лінії.

Виразивши із (2) значення x отримаємо:

$$x = \sqrt{\left(\frac{K^2 l - l + 2a}{2K}\right)^2 - a^2}, \quad (3)$$

Тобто, ми можемо розрахувати максимальне відхилення траси від повітряної лінії, задавшись значеннями K та a .

Розрахуємо віддаленість точок (x) для траси довжиною $l=1$, та для $K=1.1$, 1.2 та 1.3 . Значення a змінюватимемо від 0 до 1 . Результати розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення віддаленості x , в залежності від значень a та K

Коефіцієнт розвитку траси, K	Відстань по повітряній лінії, a	Віддаленість, x
1,1	0	0,095
	0,1	0,157
	0,2	0,192
	0,3	0,213
	0,4	0,225
	0,5	0,229
	0,6	0,225
	0,7	0,213
	0,8	0,192
	0,9	0,157
	1	0,095
1,2	0	0,183
	0,1	0,247
	0,2	0,287
	0,3	0,313
	0,4	0,327
	0,5	0,332
	0,6	0,327
	0,7	0,313
	0,8	0,287
	0,9	0,247
	1	0,183
1,3	0	0,265
	0,1	0,327
	0,2	0,368
	0,3	0,395
	0,4	0,410
	0,5	0,415
	0,6	0,410
	0,7	0,395
	0,8	0,368
	0,9	0,327
	1	0,265

Представивши табличні розрахунки у вигляді графіка, на якому горизонтальна вісь буде відповідати повітряній лінії, можна отримати зони проектування траси автомобільної дороги для відповідних значень коефіцієнтів розвитку траси (рис. 2).

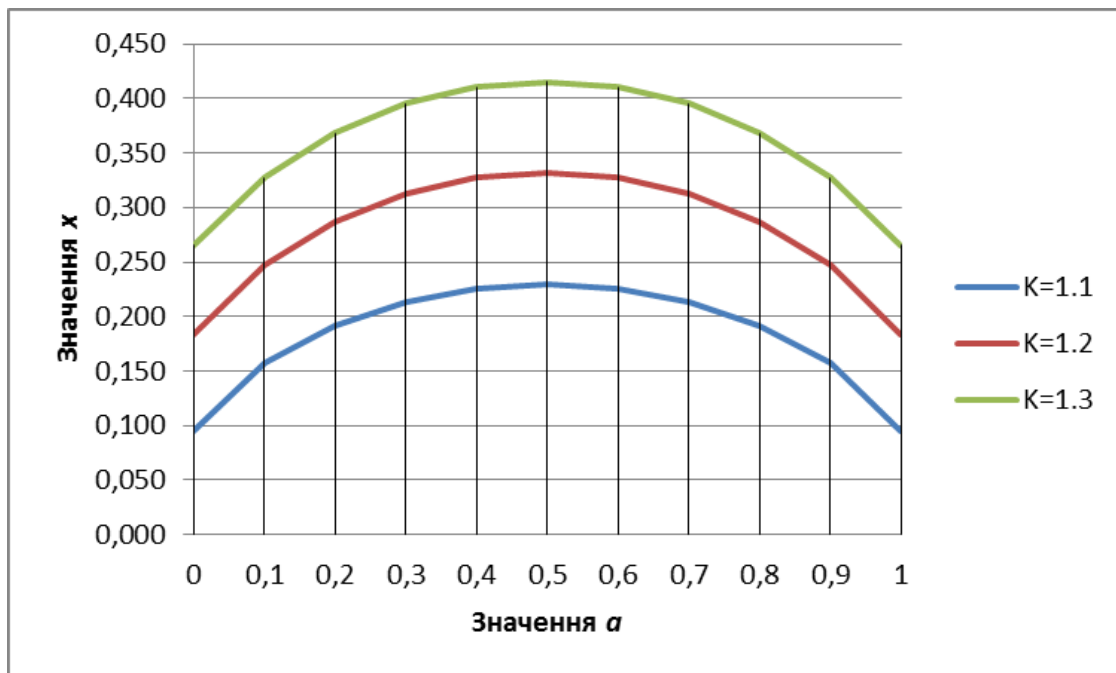


Рисунок 2 – Графік залежності віддаленості x від відстані по повітряній лінії a

Висновок

Задавшись коефіцієнтом розвитку траси автомобільної дороги, який відповідатиме можливому економічно-виправданому відхиленню траси від повітряної лінії, можна отримати межі конкретної смуги варіювання траси, що знизить об'єми проектно-вишукувальних робіт.

Література

1. Справочная энциклопедия дорожника, V том «Проектирование автомобильных дорог»; Под ред. Федотова Г.А. и Поспелова П.И., Москва 2007.
2. Федоров В.И., Румянцев Д.Г. Инженерные аэроизыскания автомобильных дорог. - М.: Транспорт, 1984. - 240 с.
3. Техничко-економическое обоснование при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов (справочное пособие) / Болдаков Е.В., Федотов Г.А., Перевозников Б.Ф.; Под ред. Болдакова Е.В. – М.: Транспорт, 1981. – 207 с.
4. Федотов Г.А. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог. - М.: Транспорт, 1986. - 318 с.
5. Бойков В.Н. Персона: Федотов Григорий Афанасьевич. С чего начинается Родина? С трассы в САПР АД // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 1(2). С. 94–97.
6. Бабков В.Ф.Трассирование автомобильных дорог: учебное пособие / М.: МАДИ, 1993. – 80 с.

Круцик М.Д., Круцик С.Т.

ГІРСЬКІ АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ ПОТРЕБУЮТЬ БІЛЬШОЇ УВАГИ

Анотація. Практика експлуатації гірських автомобільних доріг показує, що сьогодні в Україні назріла необхідність уточнення дорожньо-кліматичного районування гірських територій, удосконалення класифікації гірських автомобільних доріг, розробки регіональних нормативних документів на проектування, спорудження і експлуатацію без фундаментних річкових споруд, особливо, на дорогах місцевого значення, а також Регіональних технічних правил ремонту і експлуатаційного утримання гірських автомобільних доріг.

Ключові слова: дорожньо-кліматичне районування, удосконалення класифікації гірських автомобільних доріг, небезпечні гідрогеологічні процеси, регіональні нормативні документи, водовідведення.

Аннотация. Практика эксплуатации горных автомобильных дорог показывает, что в Украине назрела необходимость уточнения дорожно-климатического районирования горных территорий, усовершенствования классификации горных автомобильных дорог, разработки регионального нормативного документа на проектирование, сооружение и эксплуатацию бесфундаментных речных сооружений, особенно, на дорогах местного значения, а также Региональных технических правил ремонта и эксплуатационного содержания горных автомобильных дорог.

Ключевые слова: дорожно - климатическое районирование, усовершенствование квалификации горных автомобильных дорог, опасные гидрогеологические процессы, региональные нормативные документы, водоотведение .

Annotation. Practice of operation mountain roads shows that today in Ukraine there is the necessity of clarifying road-climatic zoning of mountain territories, improving

the classification of mountain roads, development of regional normative documents for designing, construction and operation without Foundation of river structures, especially on the roads of local importance, as well as Regional technical regulations repairs and maintenance of mountain roads.

Keywords: road-climatic zoning, improving the classification of mountain roads, dangerous geological processes, regional normative documents sanitation.

Вступ

В статті "На шляху зниження вартості будівництва доріг"(журнал"Дорожня галузь України) ", №3/2013р.) Ф.П.Гончаренко підняв дуже важливу, на сьогоднішній день, проблему удосконалення класифікації автомобільних доріг, яка, на наш погляд, потребує вирішення для гірських автомобільних доріг України і, особливо, доріг місцевого значення, з прийняттям Урядом держави рішення передати ці дороги під порядкування РМ республіки Крим і Обласним державним адміністраціям. В наш час автомобільні дороги гірських регіонів України, особливо місцевого значення, прокладені на території з різноманітними природними умовами, знаходяться в гіршому стані ніж дороги в рівнинних областях держави.

В порівнянні з рівнинною, для гірської місцевості характерні складні форми рельєфу, кліматичні умови, які змінюються з висотою, велика сума опадів від 600 до 1600 мм і більше, складні ґрунтово-геологічні умови, підвищена нестійкість схилів і часті прояви небезпечних гідрогеологічних процесів(паводки, селеві потоки, зсуви, каменепад і ін.), що ставить значні проблеми, перед працівниками дорожньої галузі, які ще потребують вирішення.

Це в першу чергу: дорожнє кліматичне районування території гірських регіонів Українських Карпат і гірського Криму, інженерний захист доріг і штучних споруд від частих небезпечних гідрогеологічних процесів(НГТП), регіональна класифікація і призначення категорій автомобільних доріг,очистка стічних вод з автомобільних доріг прокладених в курортних зонах, висока вартість будівництва і експлуатації доріг, яка перевищує в три і більше разів вартість цих робіт еквівалентних категорій в рівнинній місцевості.

Основна частина

В більшості країн, які мають сітку автомобільних доріг в гірській місцевості, до норм проектування гірських доріг ставляться більш низькі вимоги в порівнянні з дорогами в рівнинній місцевості. Їх проектують на більш низькі розрахункові швидкості руху, з кривими малих радіусів, більшими повздовжніми ухилами, проїзною частиною і земляним полотном меншої ширини. Наприклад, стандарти Англії дозволяли на складних ділянках в два рази зменшувати мінімальні допустимі для нормальних умов величини віддалей видимості [1].

Норми проектування автомобільних доріг при призначенні конструкцій земляного полотна і дорожнього одягу починаються з дорожньо – кліматичного районування, яке відображає загальну природною обстановку району розташування дороги з точки зору впливу на дорожню конструкцію водно-температурного фактору [2]. В основу дорожньо-кліматичного районування покладені наступні класифікаційні признаки: умови зволоження (кількість опадів їх розподіл по сезонах року); температурний режим повітря в різні пори року; товщина снігового покриву і глибина промерзання.

Територія Українських Карпат і гірського Криму характеризується суттєвим впливом висоти місцевості на найголовніші кліматичні показники (річна сума опадів, середньорічна температура повітря, коефіцієнт зволоження ґрунтів, товщина снігового покриву, глибина промерзання та ін.), [3,4,5,6,7].

В ДБН В.2.3-4:2007 "Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування доріг (далі ДБН) гірські регіони Українських Карпат і гірського Криму виділені в окрему зону УІ-"Гірська", яка в залежності від висоти прокладання дороги, поділена на три підзони: рівнинну(до 200 м над рівнем моря),передгірну(від 200 м до 400 м над рівнем моря) і гірську (понад 400 м над рівнем моря).

В ряді робіт запропоновано більш детальне районування Українських Карпат і гірського Криму, гірська підзона регіону Карпат поділена на чотири райони в залежності від зміни кліматичних показників місцевості з підняттям в гору, а регіону гірського Криму відповідно на два райони, наводяться рівняння для визначення вологості ґрунту в залежності від висотного розташування

ділянки дороги [8,9]. Кліматичні показники районів гірських підзон Карпат і гірського Криму наведені в таблицях 1 і 2. Запропоноване дорожньо – кліматичне районування підтверджується роботами з фізико-географічного і геоморфологічного районування території України [10,11].

Таблиця 1- Кліматичні показники для районів гірської підзони Українських Карпат

Показники	Чисельні величини для районів гірської підзони			
	К.Г.1	К.Г.2	К.Г.3	К.Г.4
Висота над рівнем моря, м	400-600	600-750	750-950	більше 950
Сума опадів за рік, мм	750-1500	800-1500	1000-1500	більше 1300
Середнє число днів із сніговим покривом за рік, см	95	116	120	більше 137
Середня максимальна висота снігового покриву, см	63	75	82	більше 88
Середня температура повітря, °С	6,5-75	5,5	4,5	менше 3,5
Коефіцієнт зволоження місцевості	1,9-3,1	2,4-3,6	2,7-4,2	більше 3,2

Більшість гірських автомобільних доріг місцевого значення прокладені на притискних ділянках гірських річок і біля підніжжя крутих нестійких схилів, що робить їх дуже чутливими до дії паводкових вод, селевих виносів і зсувних процесів. Поширення земляного полотна на таких ділянках доріг на один-два метри, в багатьох випадках потребує побудови нових річкових споруд з сторони ріки і протизсувних споруд з сторони схилу, а це кошти які вимірюються в десятках, а то і сотнях гривень, на один метр споруди.

Таблиця 2 - Кліматичні показники для районів гірської підзони гірського Криму

Показники	Числові величини для районів гірської підзони	
	К.Г.1	К.Г.2
Висота над рівнем моря, м	400-750	750-110
Сума опадів за рік, мм	700-950	700-1200
Середня температура повітря, °С	8,0-10,5	5,5-8,0
Коефіцієнт зволоження місцевості	1,26-1,85	1,85-2,45

Значна кількість доріг місцевого значення являється тупиковими і закінчуються далеко в горах на висотах 600-1000м над рівнем моря. Інтенсивність руху транспорту, на останніх кілометрах цих доріг, складає малі величини, значно менші зазначених в існуючому ДБН.

У зв'язку з тим, що сьогодні ведуться роботи по корегуванню ДБН, вважаємо необхідним внести доповнення в дорожнє районування гірських зон, а також змінити класифікацію автомобільних доріг місцевого значення, привівши їх у відповідність функціональному значенню згідно рішення уряду і дорожньому районуванню, відобразивши економічно обґрунтовані норми проектування гірських автомобільних доріг. Вважаємо за необхідне для тупикових гірських доріг місцевого значення ввести УІ категорію (при перспективній інтенсивності руху у приведених до легкового автомобіля від 100 до 200) і УІІ категорію (при вказаній інтенсивності до 100 автомобілів), відповідно зменшивши ширину проїзної частини до 4,0 і 3,5 м, а швидкості до 20 км/год. відповідно потребує зменшення і ширина земляного полотна. Для забезпечення безпеки руху транспорту на цих ділянках встановлювати огороження із використаних автомобільних шин, дерев'яних колод і огороження парпетного типу із бутового каміння [5].

Дуже важливим питанням на шляху зниження вартості експлуатації гірських автомобільних доріг, які дуже часто зазнають руйнівної дії НГГП, є їх інженерний захист від пошкоджень і руйнувань паводками, селевими потоками і зсувами.

Після паводків 1998 і 2001 років багато зроблено для удосконалення інженерного захисту гірських автомобільних доріг України. Розроблено ряд регіональних нормативних документів, впроваджені річкові укріпні і протизсувні споруди на залізобетонному ростверку, які опираються на буро набивні палі діаметром від 1020 мм і більше.

Однак збільшення капітальності і надійності споруд, влаштуванням їх на буронабивних палях, в умовах дна гірських рік складеного з крупних каменів, призвело до різкого збільшення вартості інженерного захисту доріг в гірській місцевості. Крім того, ці споруди також потребують захисту їх основи від підмиву, що зв'язано з пониженням в часі дна гірських річок і вимиванням

грунту з поміж паль. Застосування вказаних конструкцій, в умовах обмеження фінансування дорожньої галузі, на дорогах місцевого значення не економічно і потребує обґрунтування в кожному конкретному випадку.

В останні роки, на основі вивчення роботи підпірних стін на гнучких матрацах з габіонів, запропоновано ряд капітальних конструкцій без фундаментних річкових укріпних споруд, захищених від підмиву паводковими водами, посиленими гнучкими матрацами, які доцільно застосовувати на дорогах місцевого значення.

Досвід експлуатації, широко розповсюджених на дорогах на притискних ділянках гірських рік, конструкцій річкових укріпних споруд із габіонів, загострили необхідність підвищення строків їх служби, особливо, це стосується захисту сіток від стирання наносами гірських рік і посиленню вимог до дотримання технології робіт при їх спорудженні. Це відноситься, в першу чергу, до укладки каміння на лицевій стороні габіонів з сторони води з виступами на 1/3 їх розмірів, захисту сітки габіонів бетонними плитами, як це впроваджено службою автомобільних доріг в Закарпатській області, влаштування матрацу перед спорудою довжиною не меншою глибини розмиву.

На гірських автомобільних дорогах, які в більшості випадків розташовані в водоохоронних зонах, курортній місцевості і природних національних парках, необхідно передбачати організований збір води з поверхні проїзної частини доріг і мостів з наступною її очисткою або відведенням в місця, які виключають забруднення гірських рік і джерел водопостачання. В останній час забруднення поверхневих вод, які стікають з проїзної частини доріг і мостів, привертає все більшу увагу природоохоронних органів і громадськості [12]. Вирішити ці питання можна з допомогою конструкцій водовідведення з габіонів, які володіють великою очисною здатністю, ніж традиційні споруди, при тому вартість їх значно нижча [13].

Потребує уточнення формула розрахунку витрат води під час катастрофічних паводків, на які розраховуються мости і річкові укріпні споруди на гірських ріках, яка не враховує того, що в останні роки на ріках Українських Карпат мали місце факти виникнення під час катастрофічних паводків, особливо в 2008 році, багато чисельних загат, ланцюговий прорив яких значно

збільшував фактичні витрати води в ріках, набагато більших від передбачених існуючими нормативами щодо річкових укріпних споруд, а також мостів [14]. Наприклад, з цієї причини рівень води ріки Черемош біля с. Ростки Івано-Франківської області, піднявся під час паводку 2008 року над проїзною частиною дороги регіонального значення на 1,0 – 1,5 м, що спостерігалось вперше за більш ніж сто років.

Вирішенню зазначених питань допоможе розробка регіонального нормативного документу для гірських автомобільних доріг, а особливо місцевого значення, в якому основну увагу слід приділити проектуванню, спорудженню і експлуатації без фундаментних річкових споруд, захищених від підмиву посиленими гнучкими матрацами, а також спорудам з місцевих матеріалів. Це стосується і протизсувних споруд і заходів, наприклад, підпірних стін з габіонів з посиленням каркасом, які застосовуються на дорогах Криму [15]. Заслуговує уваги в цьому документі і влаштування водовідведення з гірських схилів на яких прокладені дороги, лісонасадження і ін.

Висновки

Діючі сьогодні нормативні документи не забезпечують якісного проектування, капітального ремонту й особливо експлуатаційного утримання гірських автомобільних доріг держави [16]. Необхідне уточнення дорожньо-кліматичного районування і удосконалення класифікації гірських автомобільних доріг, обґрунтування вимог до геометричних параметрів земляного полотна і дорожнього одягу. Враховуючи передачу з нового року доріг місцевого значення у функціональне підпорядкування РМ республіки Крим і Облдержадміністраціям, необхідно розробити регіональні нормативні документи на проектування, спорудження і експлуатацію без фундаментних річкових укріпних споруд на притискних ділянках гірських рік і протизсувних споруд на зсувонебезпечних схилах. Проведення цих робіт, безумовно призведе до покращення стану гірських автомобільних доріг місцевого значення і зниження вартості їх інженерного захисту від НГП. Заслуговує уваги розробка рекомендацій по використанню конструкцій з габіонів при влаштуванні відкритих систем водовідведення і очистки стічних вод з проїзної

частини автомобільних доріг і мостів. Зазначені в статті питання вважаємо за доцільне врахувати при корегування ДБН і розробці Регіональних технічних правил ремонту і експлуатаційного утримання гірських автомобільних доріг України.

Література

1. Порожняков В.С. Проектирование и строительство горных дорог "Автомобильные дороги" (Итоги науки и техники, ВИНТИ), М., 1986.
2. Каримов Б.Б. Дорожное хозяйство Таджикистана (Пути совершенствования)-М., 1993.
3. Круцык М.Д. Дорожное районирование Прикарпаття."Автомобильные дороги", 1976, №10.
4. Круцык М.Д., Максименко С.Ф. Эксплуатация горных автомобильных дорог и окружающая среда. – К.: Будивельник, 1981.
5. Природа Украинских Карпат./Під ред. К.І.Геренчука. Львів:Вид-во Львівськ.уе-ту. 1968.
6. Клімат Украинских Карпат. Бучинський І.О., Волеваха М.М., Коржов В.О.:Наукова думка, 1971.
7. Бабков І.І. Клімат .-Сер. Природа Крыма. Симферополь: Крим,1976.
8. Гірські автомобільні дороги України./ Під редакцією В.О.Герасимчука. – Коломия: Вік, 1998.
9. Призначення розрахункових характеристик ґрунтів при проектуванні автомобільних доріг в Українських Карпатах. Методичні рекомендації. Укравтодор. – К.: 1998.
10. Маринич О.М., Пархоменко Г.О., Петренко О.М., Шищенко П.Г. Удосконалена схема фізико-географічного районування України. " Український географічний журнал", 2003, №3.
11. В.П. Палієнко, Н.Е. Барщевський, С.Ю. Бортник, Є.Т. Палієнко, Б.А. Вахрушев, Я.С. Кравчук, Р.М. Гнатюк, Ю.Н. Зинько. Загальне геоморфологічне районування території України. "Український географічний журнал", 2004, №1.
12. Волошина І.В. Науково – практичний семінар з екологічних аспектів розвитку дорожньої галузі // Автошляховик України. – 2013.-№3.
13. Перевозников Б.Ф. Устройство водоотвода на автомобильных дорогах.-М.: Автомобильные дороги: Обзорная информация / ЦБНТИ Росавтодор, выпуск 3, 1992.
14. Круцык М.Д. Не ліквідувати, а попереджувати. Основні напрямки вдосконалення інженерного захисту гірських автомобільних доріг України. "Дорожня галузь України", 2009, №1.
15. Захист гірських автомобільних доріг від зсувів (на прикладах гірських регіонів України)/ Під редакцією М.Д. Круцика. - Коломия:Вік,2003.
16. Круцык М.Д. До особливих доріг нестандартний підхід, або Шляхи підвищення надійності і довговічності гірських автомобільних доріг. "Дорожня галузь України", 2011, №2.

Піліпака Л.М., канд. техн. наук, Шведюк В.А.

ПРИЗНАЧАННЯ ДВОХ РОЗРАХУНКОВИХ ШВИДКОСТЕЙ НА З'ЇДАХ БАГАТОРІВНЕВИХ РОЗВ'ЯЗОК

Анотація. У статті викладено принцип призначання розрахункових швидкостей на з'їздах багаторівневих розв'язок. Наведено переваги і недоліки такого розрахунку.

Ключові слова: транспортна розв'язка, з'їзд, інтенсивність руху, транспортний потік.

Аннотация. В статье изложен принцип определения расчетной скорости на съездах многоуровневых развязок. Приведены преимущества и недостатки такого расчета.

Ключевые слова: транспортная развязка, съезд, интенсивность движения, транспортный поток.

Abstract. The principle of determination of on-speed on ramps of multilevel interchanges has been outlined in the article. The advantages and disadvantages of such calculation have been determined.

Keywords: traffic interchange, ramp, intensity of motion, traffic stream.

Аналіз останніх досліджень

У підручнику [2] зазначено, що верхня межа розрахункової швидкості на з'їздах транспортних розв'язок визначається максимальною швидкістю вантажних автомобілів, яка дорівнює 90 км/год. І з часом, при удосконаленні конструкції вантажних автомобілів їх максимальна швидкість зростатиме. Відповідно зростатиме максимальне значення швидкості на з'їздах транспортних розв'язок. Сучасні вантажні автомобілі можуть досягати швидкості 120 км/год і більше, але через прийняті в Україні обмеження щодо максимальної швидкості для вантажних автомобілів на дорогах що 90 км/год,

встановлюються обмежувачі швидкості. Тому максимальна швидкість, з якою вантажні автомобілі рухаються по дорозі, з часом не змінилась. Проте суттєво змінилась швидкість легкових автомобілів, що теж потрібно враховувати при проектуванні геометричних параметрів транспортної розв'язки.

СНиП 2.05.02-85 [3] рекомендує проектувати правоповоротні з'їзди транспортних розв'язок при умові забезпечення розрахункової швидкості не менше 60 км/год для з'їздів з доріг I і II категорій і не менше 50 км/год – для з'їздів з доріг III категорії. Розрахункові швидкості для лівоповоротних з'їздів транспортних розв'язок СНиП 2.05.02-85 не регламентує.

ВСН 103-74 [4] рекомендує наступні розрахункові швидкості для з'їздів в місцях виїзду на основні дороги і з'їзду з них: правоповоротних - для доріг I і II категорій – не менше 80 км/год, для доріг III категорії не менше 60 км/год; лівоповоротних - для доріг I і II категорій – не менше 50 км/год, для доріг III категорії не менше 40 км/год

При проектуванні транспортних розв'язок в різних країнах приймають різні норми розрахункової швидкості [2]. В США з'їзди транспортних розв'язок розраховуються на швидкості, які практично рівні експлуатаційним швидкостям на головній дорозі, тобто 70...90% від розрахункової швидкості, причому по мірі збільшення розрахункової швидкості цей процент знижується. У Франції розрахункову швидкість на з'їздах транспортних розв'язок приймають залежно від розрахункової швидкості на дорогах, що перетинаються, і це значення становить 0,65...0,75 від розрахункової швидкості. В Канаді розрахункову швидкість приймають рівною 0,75 від розрахункової швидкості на дорогах, що перетинаються, а в Німеччині – рівною 0,80...0,85 від розрахункової швидкості.

Таким чином, у багатьох країнах світу, а також згідно СНиП 2.05.02-85 і ВСН 103-74, при проектуванні транспортних розв'язок розрахункову швидкість на з'їздах приймають в межах діапазоні від 0,65 до 0,9 від розрахункової швидкості доріг, що перетинаються, що становить від 50 до 90 км/год.

В Україні згідно ДБН В.2.3-4:2007 [5] розрахункова швидкість на з'їздах становить від 30 до 70 км/год, і залежить не від розрахункової швидкості доріг,

що перетинаються, а від кількості автомобілів на з'їздах і приймається у відсотках % від інтенсивності автомобілів, що в'їжджають на розв'язку з одного напрямку. Розрахункові швидкості на з'їздах наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Розрахункові швидкості на з'їздах розв'язок

Клас розв'язки	Розрахункова швидкість, км/год, при кількості автомобілів на з'їздах, %					
	Правоповеротних			Лівоповеротних		
	до 15	15-30	понад 30	до 15	15-30	понад 30
I	60	65	70	40	45	50
II	50	50	60	30	40	45

Методика досліджень

Значення розрахункової швидкості на з'їздах згідно ДБН В.2.3-4:2007 є нижчими загальноприйнятих в інших країнах світу, і тих швидкостей що подає нам СНиП 2.05.02-85 і ВСН 103-74. Тобто 30-40 років тому розрахункова швидкість на з'їздах приймалась більшою ніж сьогодні, хоча швидкість та інтенсивність транспортного потоку була нижчою.

Також недоліком прийняття таких розрахункових швидкостей є те, що вони залежать від кількості автомобілів на з'їздах прийнятих у відсотках від інтенсивності автомобілів, що в'їжджають на розв'язку з одного напрямку. Тобто при однаковому значенні у відсотках кількість автомобілів може суттєво відрізнятись. Наприклад 30% від інтенсивності автомобілів для I категорії становить більше 4200 авт/добу, для IV категорії від 90 до 750 авт/добу. При такій великій різниці інтенсивностей ДБН В.2.3-4:2007 вимагає приймати однакову швидкість: для правоповоротного з'їзду від 60 до 70 км/год, для лівоповоротного від 45 до 50 км/год залежно від класу розв'язки.

Такий розрахунок є далеким від досконалості, він не відповідає реальній потрібній швидкості на з'їздах, і внаслідок цього закладається проектування аварійних ситуацій та зменшення зручності руху.

Постановка завдання

Геометричні елементи транспортних розв'язок повинні відповідати очікуванням водія. Очікування водія в свою чергу формуються звичками і попередніми елементами дороги [6]. Якщо на дорозі, з якої з'їжджає,

транспортний засіб розвинув високу швидкість, то влаштовувати з'їзд малого радіуса, тобто призначати низьку розрахункову швидкість буде небезпечно. Також потрібно брати до уваги не лише розрахункову швидкість дороги, з якої автомобіль з'їжджає, але і розрахункову швидкість дороги, на яку виїжджає. Тобто, якщо водій на дорозі, на яку виїжджає, буде рухатись з швидкістю 60 км/год, то немає потреби проектувати з'їзд на швидкість 90 км/год.

Результати досліджень

На основі вищесказаного пропонується призначати не одну розрахункову швидкість на з'їзді, а дві.

Розглянемо два математичні вирази.

$$V_{p.з.}^1 = (0,6...0,7) V_p^3, \text{ км/год} \quad (1)$$

$$V_{p.з.}^2 = (0,6...0,7) V_p^6, \text{ км/год} \quad (2)$$

де $V_{p.з.}^1$ – розрахункова швидкість на початку з'їзду (рис. 1), км/год;

V_p^3 – розрахункова швидкість на дорозі, з якої з'їжджає автомобіль (таблиця 2), км/год;

$V_{p.з.}^2$ – розрахункова швидкість в кінці з'їзду (рис. 1), км/год;

V_p^6 – розрахункова швидкість на дорозі, на яку виїжджає автомобіль (таблиця 2), км/год;

0,6...0,7 – коефіцієнти зниження розрахункової швидкості на з'їздах (при збільшенні розрахункової швидкості коефіцієнт зменшується).

Якщо транспортна розв'язка проектується у місті, то повинна виконуватись умова:

$$V_{p.з.}^1 (V_{p.з.}^2) \leq 60 \text{ км/год} \quad (3)$$

Якщо з'їзд проектується без колових вставок, тобто перехідними кривими, то вони мають бути несиметричні, у місці з'єднання радіусом відповідно до меншої із швидкостей. Залежність між довжинами перехідних кривих має бути:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{V_{п.з.}^1}{V_{п.з.}^2} \quad (4)$$

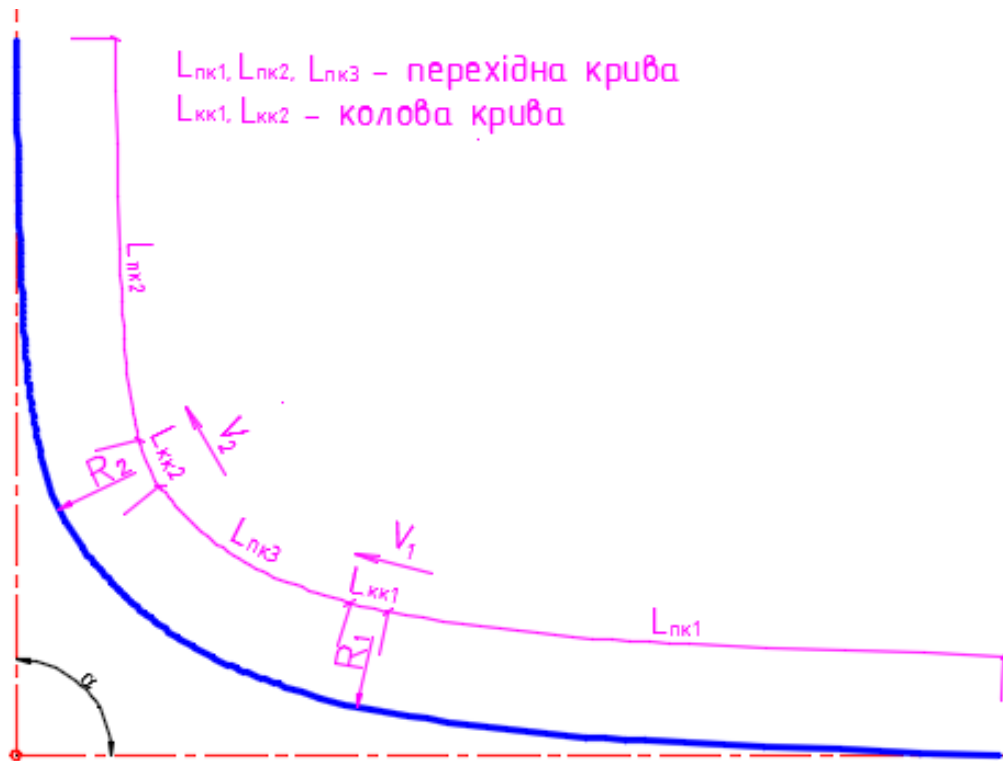


Рисунок 1– Схема побудови з'їзду з коловими кривими

Таблиця 2 – Розрахункова швидкість руху, км/год

№	Категорія дороги	Розрахункова швидкість
1	I-а	150
2	I-б	140
3	II	120
4	III	100
5	IV	80
6	V	60

Запропоновані розрахункові швидкості не залежать від інтенсивностей руху на з'їздах, а залежать від розрахункових швидкостей доріг, що перетинаються.

Таким чином виключаються наступні недоліки:

- залежність лише від розрахункової швидкості дороги з якої з'їжджає автомобіль.

- залежність від кількості автомобілів на з'їздах прийнятих у відсотках від інтенсивності автомобілів, що в'їжджають на розв'язку з одного напрямку.

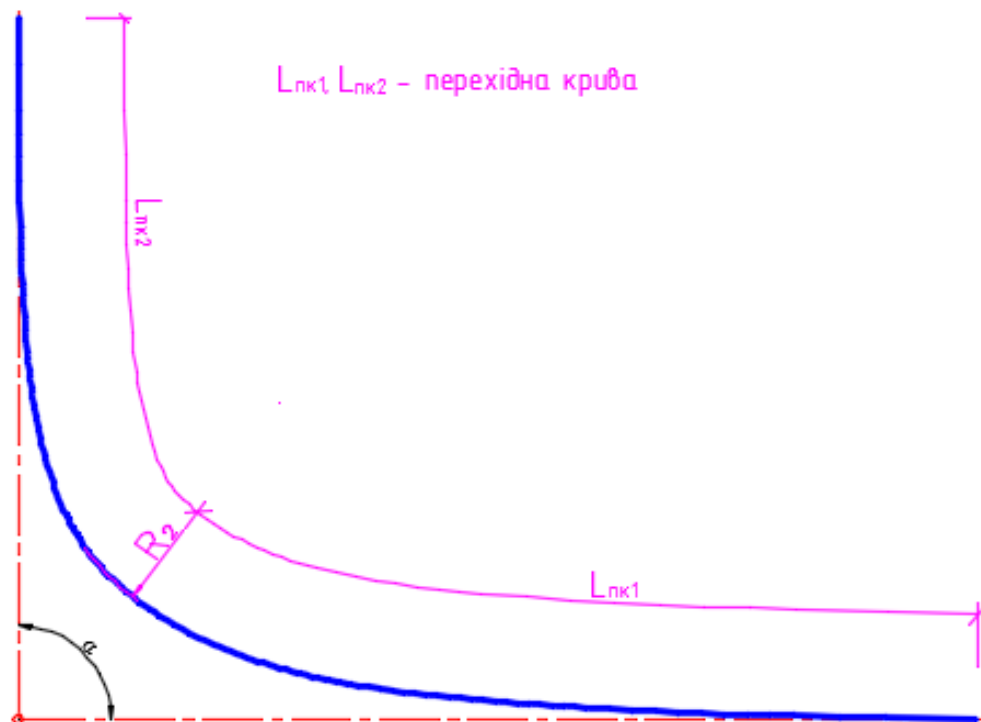


Рисунок 2 – Схема побудови з'їзду без колових кривих

Запроектовані з'їзди мають забезпечувати безпеку і комфорт руху як окремих автомобілів з розрахунковими швидкостями, так і транспортних потоків навіть у найнесприятливіші періоди роботи розв'язки.

Розглянемо основні переваги запропонованого методу визначення розрахункових швидкостей на з'їздах.

По-перше, в практиці дорожнього будівництва країн Європи, зокрема Німеччини, діє постулат: водій має право на помилку, але наслідки цієї помилки повинні бути якнайменші [7]. Тому зважаючи на «українського водія», який регулярно «помиляється», тобто порушує ПДР, розрахункова швидкість має відповідати очікуванням водія, для зменшення наслідків таких «помилки».

По-друге, розрахункові швидкості, які розраховані за формулою (1), відповідають значенням середніх швидкостей руху різних типів автомобілів (таблиця 3) наведених у монографії [8]. Таким чином при з'їзді транспортного

засобу на з'їзд не потрібно в більшості випадків знижувати швидкість, з якою він рухався по основній дорозі.

Таблиця 3 – Значення середніх швидкостей руху різних типів автомобілів

№ п/п	Категорія дороги	Кількість смуг руху	Середня швидкість, км/год			
			Легкові	Вантажні	Автобуси	Автопотяги
1	Ia	6	85,0	65,0	73,4	70,4
2	Ia, Ib	4	83,4	64,7	68,3	66,1
3	II	2	76,4	62,6	66,0	63,0
4	III	2	70,6	57,8	61,0	57,6
5	IV	2	70,4	57,1	61,0	57,2

Висновок

Враховуючи темпи росту швидкості автомобілів на трасах і збільшення ДТП, потрібно вносити зміни до розрахунку геометричних параметрів у нормативних документах, а особливо у ДБН В.2.3-4:2007. Тому методика розрахунку швидкостей на з'їздах запропонована в даній статті буде об'єктивно оцінювати ситуацію на розв'язці.

Література

1. Хом'як А. Я. Проектування з'їздів транспортних розв'язок / А. Я. Хом'як, С. В. Татарченко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2012. – Вип. 86. – С.37-47.
2. Гохман В. А. Пересечения и примыкания автомобильных дорог : Учебн. пособие для авт.-дор. спец. вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / Гохман В. А., Визгалов В. М., Поляков М. П. – М. : Высш. шк., 1989. – 136 с.
3. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги. – М. : Госстрой СССР. – 1987 – 45 с.
4. ВСН 103-74 Технические указания по проектированию пересечений и примыканий автомобильных дорог – М. : Транспорт, 1975.
5. ДБН В.2.3.4-2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. – К. : Мінрегіонбуд України, 2007. – 44 с.
6. Выбор принципиальной схемы транспортной развязки. Часть 3 // <http://transspot.ru/2012/09/22/vybor-razvyazki-3> (дата звернення 17.12.2014).
7. Потійчук О.Б. Транспортні розв'язки. Навч.посібник. / О.Б.Потійчук, Л.М. Піліпака. - Рівне: НУВГП, 2013. – 274 с.
- Пальчик А.М. Транспортні потоки. – К. : НТУ, 2010. – 171 с.

Савчук С.О., Соколенко Т.В.

ЗАСТОСУВАННЯ СУПУТНИКОВИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ КАРТ ПРИ ВИШУКУВАННІ ТА ПАСПОРТИЗАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. В статті розглянуто застосування супутникових геодезичних карт та GPS технологій для розробки паспорту автомобільної дороги. Приведена методика розрахунку параметрів автомобільної дороги (план та поздовжній профіль) за даними отриманими з GPS приймача.

Ключові слова: автомобільна дорога, супутникові геодезичні карти, координати, параметри дороги, GPS.

Аннотация. В статье рассмотрено использование спутниковых геодезических карт и GPS технологий для разработки паспорта автомобильной дороги. Приведена методика расчета параметров автомобильной дороги (план и продольный профиль) за данными полученными от GPS приемника.

Ключевые слова: автомобильная дорога, спутниковые геодезические карты, координаты, GPS, параметры дороги.

Annotation. The article considers application of satellite geodesic maps and . GPS of technologies for development to the passport of road. Shown methodology of calculation of parameters of road (plan and longitudinal profile) from data got from GPS of receiver .

Keywords: road, satellite geodesic maps, coordinates, GPS, parameters of road.

Супутникові карти - це фотографії земної поверхні, отримані із супутника. Першу фотографію земної поверхні було отримано 17 серпня 1959 року американським штучним супутником «Explorer 6», а перший знімок отриманий з орбіти в реальному часі був зроблений в 1977 році. Так розпочалася ера супутникових фотографій. Трохи більше ніж через тридцять років топографічні і супутникові зображення прив'язані до координатної сітки, стали доступними

в онлайн картографічних сервісах. 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 та інших цілях.

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 [1].

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. Кожна точка на карті характеризується географічними координатами X , Y та висотою Z .

Супутникові карти google (3gplaneta) використовують геодезичну систему координат WGS-84. Ця геодезична система являє собою загально земну референтну систему.

Система WGS-84 є правостороння ортогональна система координат, початок якої суміщений з центром мас Землі, точність складає менше 2 см. В WGS-84 нулевим меридіаном вважається опорний меридіан, який проходить в $5,31''$ до сходу від Гринвічського меридіана. За основу взятий еліпсоїд з великим радіусом – 6 378 137 м (екваторіальний) та менший – 6 356 752,3142 м (полярний). Відрізняється від геоїда менш ніж на 200 м. Вісь Z направлена на Умовний земний полюс. Цей напрямок відповідає напрямку на Загальноземний полюс за визначенням Міжнародного бюро часу на епоху 1984 року з похибкою $0,005''$. 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 градусів на схід від осі X [3].

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 [2].

На рис.1 приведено визначення пікетажного положення автомобільної дороги Новики - Тарасів.

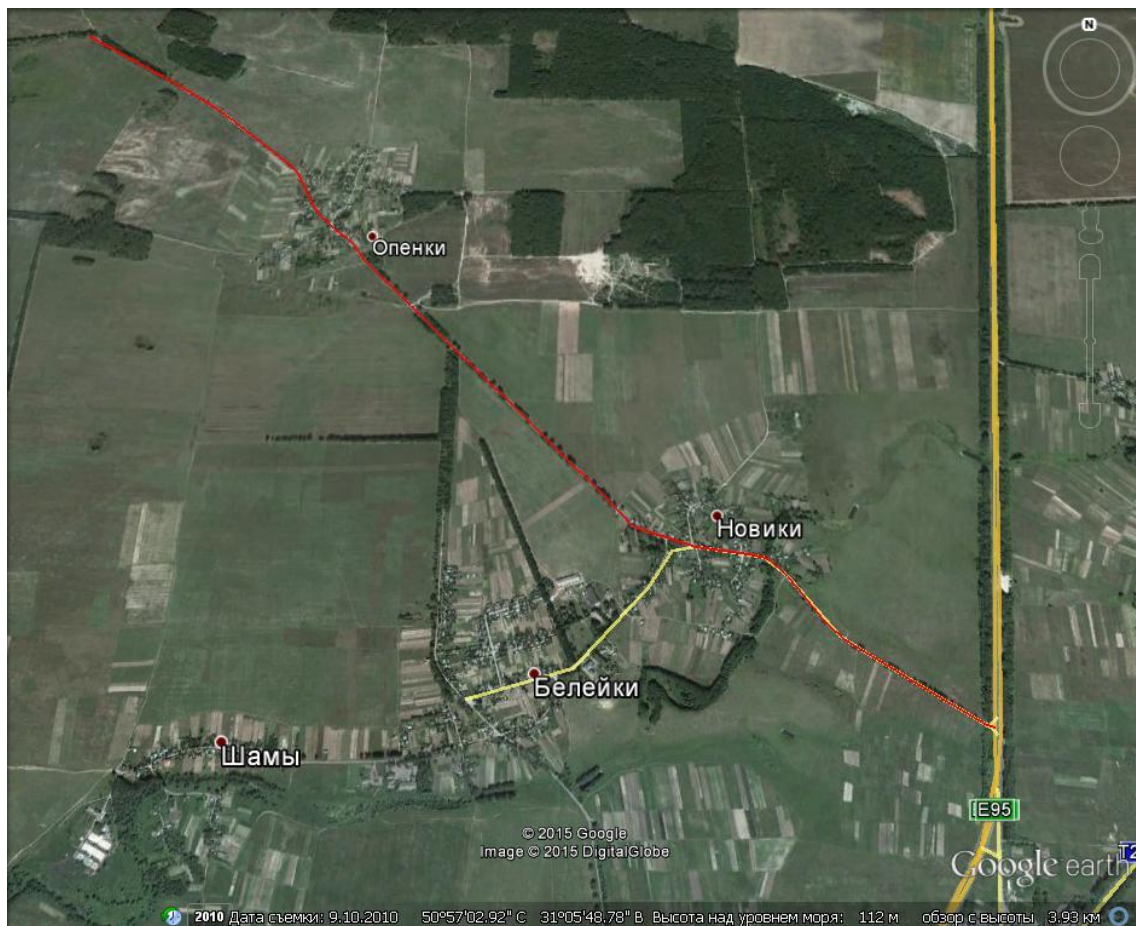


Рисунок 1 - План дороги Новики – Тарасів

З допомогою додатку для визначення географічних координат, адреси і висоти місцевості над рівнем моря по географічним картам Google ми визначили географічні координати (табл. 1).

Таблиця 1

Дані зі супутникових геодезичних карт				
№ п/п	Пікетажне положення	Координати		
		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
6	2 + 25,77	50.94198314791682	31.116737723568804	109
7	3 + 10,63	50.94234144321246	31.11587405193859	109.88

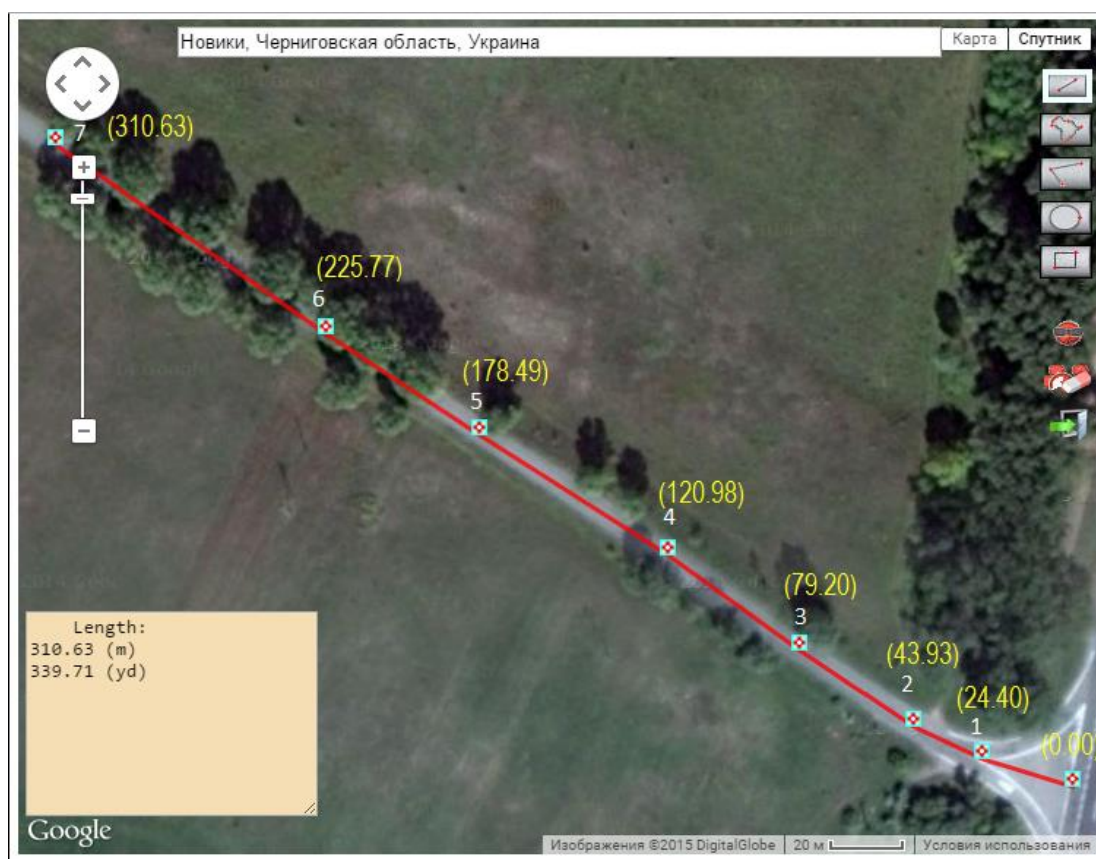


Рисунок 2 - Пікетажне положення автомобільної дороги від дороги Новики - Тарасів.

Перехід від геодезичних координат В, L, Н до просторових прямокутних X, Y, Z виконується за допомогою програмного комплексу PHOTOMOD GeoCalculator. Для цього необхідно провести підгонку координат до загрузки в програму. GeoCalculator читає текстові файли (.txt, .csv) в яких колонки

розділяються за допомогою ком, а ціла та дробова частина числа розділяються за допомогою крапки. Всього може бути не більше 4 колонок: 1-ша – ім'я точки; 2-га – широта точки; 3-тя – довгота точки; 4-та – висота точки. Потім в одній з половинок робочого вікна програми, призначених для точок, завантажуюмо точки для перерахунку. Після чого у віконці над точками вибираємо в якій системі координат вони знаходяться, а напроти – в яку систему координат ми бажаємо їх перерахувати [4].

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.»

Таблиця 2

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

На основі прямокутної системи координат отримують в плані - вісь автомобільної дороги з фіксацією основних точок осі автомобільної дороги (початок дороги, кінець дороги, прямі ділянки дороги, примикання та перехрещення, горизонтальні криві, початок і кінець населеного пункту і т. д.), в профілі - поздовжній профіль та поперечні профілі автомобільної дороги, які вимірюються через кожні 20-100м в залежності від рельєфу місцевості. За допомогою розроблених методів визначається кривизна осі дороги в плані та поздовжньому профілі.

В даний час існує декілька методів визначення радіусів горизонтальних та вертикальних кривих.

Радіус кривої в плані можна визначити за допомогою геодезичних інструментів та обчислити за геометричними залежностями, користуючись відповідними розрахунковими схемами. Для визначення радіусів вертикальних кривих використовують інструментальні методи вимірювання.

До сучасних технологій вимірювання відносяться GPS системи, які є складовою частиною GPS- технології. Супутникова радіонавігаційна система або, як вона ще називається, глобальна система визначення місця розташування GPS (Global Position System) 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.



Рисунок 3 - Загальний вид GPS навігатора встановлений на лобовому склі автомобіля.

Положення об'єкту обчислюється завдяки використанню GPS-приймача, який приймає та оброблює 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 [5].

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 . Маючи таку множину точок координат можна визначитись з видом елементу плану автомобільної дороги - прямолінійна чи криволінійна ділянка (пряма, чи крива). Крім цього для криволінійних ділянок можна визначити і величину радіуса горизонтальної кривої.

Дані GPS навігатора по дорозі отримують у табличній формі:

№	Відмітки X	Відмітки Y	Відмітки Z	Час	Відстань
25	X=-84.04	Y=-96.84	137.20	11:04:27	128.90
26	X=-87.34	Y=-101.65	137.30	11:04:31	134.73
27	X=-92.62	Y=-109.25	137.30	11:04:33	143.99
28	X=-98.62	Y=-117.58	137.00	11:04:35	154.25
29	X=-104.50	Y=-124.99	137.00	11:04:37	163.71
30	X=-109.67	Y=-132.02	136.50	11:04:39	172.44
31	X=-113.43	Y=-137.58	136.50	11:04:41	179.15
32	X=-114.37	Y=-139.06	136.60	11:04:43	180.90
33	X=-115.08	Y=-140.72	136.60	11:04:45	182.71
34	X=-118.25	Y=-145.91	136.90	11:04:53	188.79
35	X=-122.48	Y=-153.50	135.60	11:04:55	197.48

Визначення радіусів горизонтальних та вертикальних кривих

Однак, як для горизонтальних так і вертикальних кривих виникає задача встановлення їх напрямку або їх опуклості. Для горизонтальних кривих це стосується визначення їх напрямку повороту – направо чи наліво відносно вісі дороги. Для вертикальних кривих необхідно визначитись - чи це опукла чи угнута крива. Таким критерієм для першого випадку може бути зростання чи зменшення відповідних координат X та Y , а для другого - характер зміни

координати Z . Крім цього в процесі аналізу вертикальної кривої можна встановити ділянки з постійним похилом та величину цього похилу а також його характер – спуск чи підйом.

Таким чином використання GPS технологій дозволяє вдосконалити методику проведення польових робіт та отримувати з відповідною дискретністю три координати зі швидкістю руху лабораторії від 20 до 50 км/год в залежності від кількості зафіксованих додатково елементів дороги, що знаходяться в межах придорожньої смуги. Визначення радіусів горизонтальних і вертикальних кривих на автомобільній дорозі дозволяє прискорити ці процеси у 18-25 разів у порівнянні з традиційними.

1. Визначення радіусу кривих за формулою

Визначення радіусу заокруглення кривої по 3 трьом точкам, які знаходяться на однаковій відстані одна від одної.

Три точки знаходяться на кривій з радіусом R , який є шуканою величиною. Відрізок AC – хорда з відомою довжиною l . Посередині кривої знаходиться точка B , радіус R проведений через цю точку ділить хорду на два рівних відрізка AD і DC , з довжиною $l/2$. Перевищення точки B над хордою становить величину Δ .

З цих вихідних даних створимо формулу для обчислення радіусу кривої.

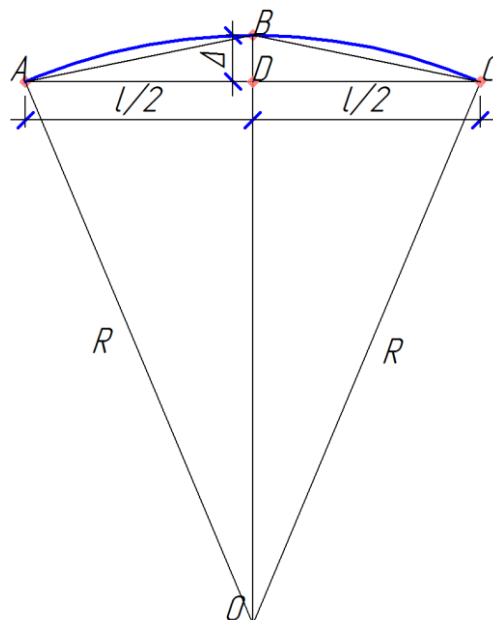


Рисунок 4 - Схема визначення радіусу заокруглення

Нехай сторона DC відноситься до сторони DO , так само як і DC до BD .

$$R = \frac{\frac{l^2}{4} + \Delta^2}{2\Delta}$$

Отримуємо універсальну формулу

$$R = \frac{4\Delta^2 + l^2}{8\Delta}$$

2. Визначення радіусу кривої графічним способом в Auto CAD

Для визначення радіусу кривої графічним способом в AutoCAD використовується додаткова команда, яку необхідно встановити в програмі AutoCAD. Команда називається Геоімпорт та дозволяє завантажити координати точок в AutoCAD та побудувати криву.

В результаті отримуємо полілінію для аналізу. В даному випадку це криві в плані. Використовуючи команду «побудувати коло за трьома точками» визначаємо радіуси заокруглень. Також за допомогою інших інструментів AutoCAD вимірюємо довжини прямих та кривих ділянок.

3. Визначення радіусу горизонтальної кривої методом подовжених хорд

Визначення радіусів горизонтальної кривої методом подовжених хорд.

Враховуючи наявність не тільки колових горизонтальних кривих а і перехідних кривих, для отримання їх радіусів виникла необхідність визначення кривизни усіх точок отриманих за допомогою GPS або супутникових геодезичних карт які характеризуються координатами X,Y,Z.

При розбивці горизонтальних кривих використовують метод хорд. В цьому методі користуються постійною величиною S та d що відповідає радіусу горизонтальної кривої [6].

Розглянемо два трикутники OK₁K₂ та BK₁K₂. Трикутники рівнобедрені.

Із подібності трикутників

$$d/S = S/R \text{ звідки}$$

$$R = S^2 / d$$

В проектуванні доріг цей метод використовується при рівних відрізках S. Так як при роботі з супутниковою геодезичною картою, або даними GPS вони будуть різної довжини і метод потребує уточнення. Для цього необхідно встановити залежність d від довжини S. Розрахункова схема показана на рисунку 3.

Визначається кут PND

$$\operatorname{tg} \angle ANK = \frac{AK}{NK} = \frac{y_A - y_2}{x_A - x_2}$$

$$\operatorname{tg} \angle DNK = \frac{DK}{NK} = \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2}$$

$$\angle ANK = \angle ANK - \angle DNK$$

З прямокутного трикутника PND визначається проміжне переміщення d:

$$\sin \angle PND = \frac{d/2}{S}$$

$$d/2 = S \cdot \sin \angle PND$$

$$d = d/2 \cdot 2$$

5. Знаходиться радіус горизонтальної кривої R

$$R = \frac{S^2}{d}$$

1. Визначення радіуса вертикальної кривої та похилу методом перевищень

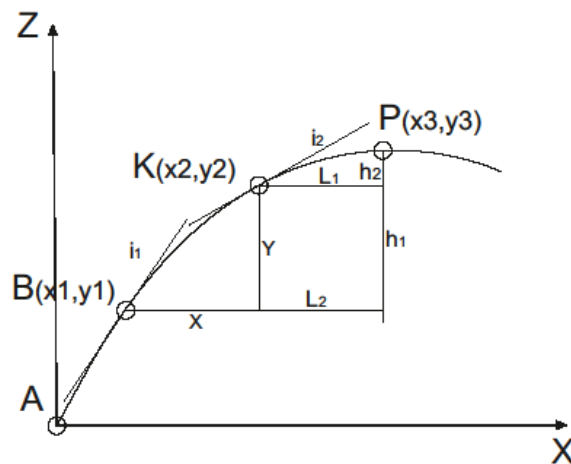


Рисунок 7 - Схема для визначення радіуса кривої

Кривизна в кожній точці знаходиться: $R = L/i$

Виходячи з цього

$$L_1 = i_1 \cdot R \quad (1.1)$$

$$L_2 = i_2 \cdot R \quad (1.2)$$

Перевищення рівні

$$h_1 = \frac{L_1^2}{2R} \quad (2.1)$$

$$h_2 = \frac{L_2^2}{2R} \quad (2.2)$$

Умовно різниця між перевищеннями називається Z

$$h_1 - h_2 = Z \quad (3)$$

Підставляється у вираз (3) вираз (2.1) і (2.2)

$$\frac{L_1^2}{2R} - \frac{L_2^2}{2R} = Z \quad (4)$$

Різницю відстаней умовно має назву X

$$L_2 - L_1 = X \quad (5)$$

Підставляється (5) у вираз (4) і отримується

$$\begin{aligned} \frac{L_1^2}{2R} - \frac{(L_1 - X)^2}{2R} &= Z \\ \frac{(i_1 \cdot R)^2}{2R} - \frac{(i_1 \cdot R - X)^2}{2R} &= Z \end{aligned} \quad (6)$$

Домножується друга частина рівняння на знаменник $2R$ і отримується

$$(i_1 \cdot R)^2 - (i_1 \cdot R - X)^2 = 2RZ \quad (7)$$

$$i_1^2 R^2 - i_1^2 R^2 + 2i_1 RX - X^2 = 2RZ \quad (8)$$

$$2i_1 RX - 2RZ = X^2 \quad (9)$$

$$R(2i_1 X - 2Z) = X^2 \quad (10)$$

Отже отримуємо

$$R = \frac{X^2}{2i_1 X - 2Z} \quad (11)$$

Знаходиться наступний похил

$$L_1 - L_2 = X \quad i_1 \cdot R - i_2 \cdot R = X$$

$$i_2 \cdot R = X + i_1 \cdot R$$

$$i_2 = \frac{X + i_1 \cdot R}{R} \quad (12)$$

На основі координат отриманих з GPS приймачів та команди Геоімпорт, яка дозволяє завантажити координати точок в AutoCAD будуємо просторову модель дороги, що представлена на рис. 8.

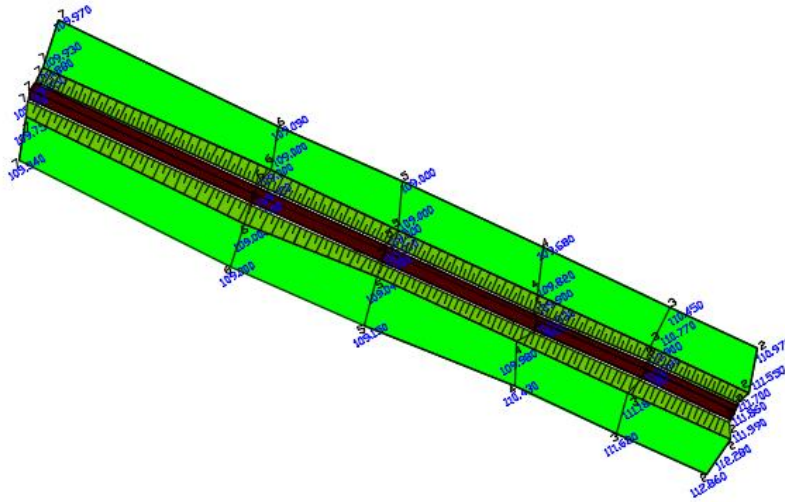


Рисунок 8 - Просторова модель дороги

Висновки

В результаті досліджень можна зробити висновки, що супутникові геодезичні карти та GPS приймачі можна застосовувати при вишукуванні та паспортизації автомобільних доріг. Даних, які отримуються з супутникових геодезичних карт та GPS приймача, достатньо для визначення таких параметрів дороги як: горизонтальні, вертикальні криві та похили. За цими даними можна побудувати просторову модель дороги та розрахувати радіуси кривих і значення похилів.

Використання GPS технологій дозволяє вдосконалити методику проведення польових робіт та отримувати з відповідною дискретністю дані для подальшої їх обробки. Вони також в значній мірі зменшують трудомісткість і час виконання робіт по збору даних для побудови плану і профілю дороги. Розроблені методи для підрахунку радіусів кривих та похилів за координатами отриманими від GPS приймача.

Література

1. URL: <http://3planeta.com/googlemaps/karty-google-maps.html>
2. URL: http://uk.wikipedia.org/wiki/Декартова_система_координат
3. Літнарівич Р.М. Основи космічної геодезії. Лабораторний практикум. – Чернігів, 2002. – 90 с.
4. URL: <http://gis-lab.info/qa/photomod-geocalc.html>
5. Шумаков Ф.Т. Супутникова геодезія. Конспект лекцій. – Харків, 2009. – 87 с.
6. URL: <http://cities-bлаго.ru/uchebnoe-posobie-po-inzhenernoj-geodezii/271-detalnaya-razbivka-krivyyh.html>

ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

УДК 625.731.1

Гамеляк І.П., д-р техн. наук, Журба Г.В., Тітов О.А., Шатило Т.В.

МЕТОД ВИЗНАЧАННЯ ОПОРУ ПРОБИВАННЮ СТЕРЖНЕМ ГЕОСИНТЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Анотація. Пропонується новий експрес-метод визначення стійкості до пробивання стержнем геосинтетичних матеріалів, який моделює ударне навантаження на матеріал при контакті з щебенем (розвантаження матеріалу з кузова автомобіля).

Ключові слова: автомобільна дорога, геосинтетичний матеріал, експрес-метод, щебінь.

Аннотация. Предлагается новый экспресс-метод определения устойчивости к пробиванию стержнем геосинтетических материалов, который моделирует ударную нагрузку на материал при контакте с щебнем (разгрузки материала с кузова автомобиля).

Ключевые слова: автомобильная дорога геосинтетических материалов, экспресс-метод, щебень.

Abstract. A new rapid method for determining the resistance to punching rod geosynthetics, which simulates the impact loading on the material in contact with gravel (unloading material from the body of the car).

Keywords: road, geosynthetics, rapid method rubble.

Вступ

Неткані геотекстильні матеріали (ГМ), виготовлені з термоскріплених штапельних волокон, отримали широке застосування в дорожньому будівництві. Дані матеріали мають високі показники міцності і достатню фільтруючі властивості та виконують функцію розділення шарів і перерозподілу напружень, що дозволяє зберегти первинну товщину засипки, перешкоджає руйнуванню основи, збільшує несучу здатність і забезпечує значну стійкість при сильному вібраційному навантаженні [1].

Для визначення придатності до використання і прогнозування довговічності вибирають методи лабораторних випробувань механічних властивостей ГМ, такі що найкраще моделюють навантаження та дії під час будівництва та експлуатації дорожнього одягу [2-3].

- деформація і руйнування при контакті зернистий матеріал (щебінь) – ГМ під час укочування котком шарів основи;

- одновісне та багатовісне розтягування, циклічне розтягування, незворотні деформації (повзучість) при експлуатації дорожнього одягу при проїзді автомобільного транспорту.

Методи визначення механічних характеристик при різних способах навантаження ГМ регламентовані національними та міжнародними стандартами [3 – 9]. У табл. 1 наведено коротке порівняння діючих методів визначення механічних характеристик ГМ.

Відповідно до нормативної документації для визначення характеристик міцності геотекстильних матеріалів передбачено відбір п'яти зразків за шириною та довжиною з подальшим поширенням отриманих середніх результатів вимірювань на всю партію полотна. Таким чином, оцінка якості проводиться за усередненими показниками результатів вимірювань.

Постановка проблеми

Ще десятиліття тому основним показником, який приймався до уваги при прийнятті проектних рішень була поверхнева густина геосинтетичних матеріалів (ГМ). З часом провідні фірми за рахунок нових технологій добилися значного зменшення розходу матеріалу і відповідно зменшилась поверхнева густина. Зараз до уваги беруться різні показники механічних властивостей.

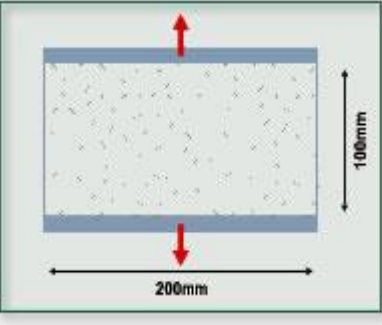
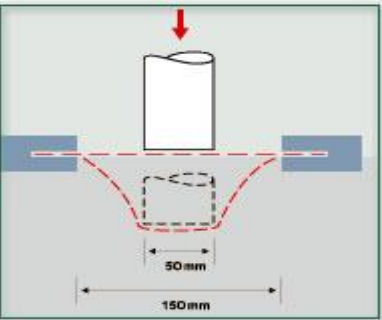
Механічні властивості – характеризують поведінку матеріалу в різних режимах навантаження (розтяг, продавлювання, повзучість, пошкодження при вкладанні). Вказані методи потребують достатньо складного обладнання та трудомісткі. Крім того, кореляція між результатами випробувань за різними методами на сьогоднішній день часто не встановлена.

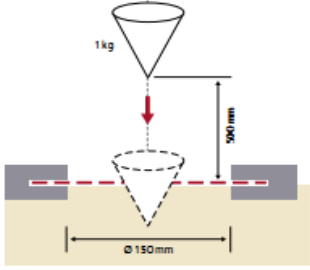
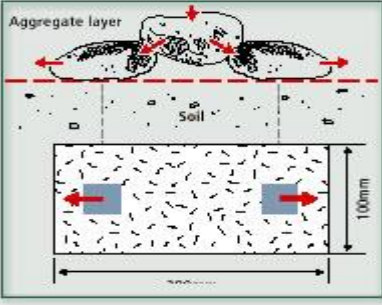
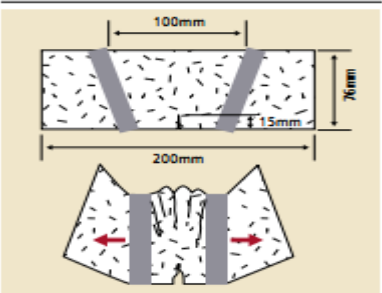
Таким чином, для контролю якості на виробництві необхідна розробка експрес-методу випробувань ГМ, яка дозволить отримати об'єктивну оцінку якості матеріалів.

Мета роботи є розроблення експрес-методу визначання міцності геосинтетичних матеріалів, що застосовуються у дорожньому будівництві, який дозволить скоротити час проведення випробувань та оперативно визначити придатність матеріалів до застосування.

Об'єкт дослідження. Продукція, що випробується: геосинтетичний нетканий термоскріплений матеріал TYPAR різних марок (відповідно ГТ 1-ГТ 5). Виробник компанія «DuPont de Nemours (Luxembourg) S.a.r.l.», Люксембург. Випробуваний матеріал є типовим представником асортименту геотекстильних матеріалів, що використовуються в дорожньому будівництві. У табл. 2 наведено технічні характеристики термоскріпленого геотекстилю за даними виробника.

Таблиця 1 – Порівняння методів визначення механічних властивостей ГМ

	Міцність на розтяг [4-5] характеризує роботу ГМ на розтяг в конструктивних шарах дорожнього одягу при дії навантаження від коліс транспортних засобів. Ці випробування виконуються для всіх типів геосинтетиків і георіток на зразках 200 мм шириною і 100 мм довжиною. Поздовжнє зусилля прикладається до зразка до моменту його розриву. При цьому заміряються видовження зразка.
	Випробування на статичне продавлювання (CBR) [6] характеризує здатність ГМ обмежувати і утримувати крупнозернистий матеріал засипки в шарах основи дорожнього одягу. Стальний плунжер (50 мм в діаметрі) тисне з постійною швидкістю в центр зразка, який зажатий між двома стальними кільцями (150 мм в діаметрі). Заміряються максимальне зусилля тиску і переміщення при максимальному зусиллі.

	Динамічне пробивання конусом [7]. Конус із нержавіючої сталі падає в центр зразка затиснутого між двома стальними кільцями. Висота падіння конуса 500 мм. Ступінь проникнення вимірюється здатністю створювати отвір гострим кінцем конуса.
	Грейферна міцність [8]. Постійно зростаюче навантаження прикладається в поздовжньому напрямку до моменту розриву. Заміряються величина грейферної міцності і видовження зразка. Це випробування моделює напруження розтягу, які виникають в геотекстилю в результаті вертикального тиску внаслідок якого кам'яний матеріал намагається зміститись в бік.
	Міцність на роздирання [9]. Метод використовується для вимірювання сили, необхідної для подовження або роздиру тканого або нетканого геотекстиля у формі трапеції. Метод може використовуватися для контролю якості та приймального контролю, однак не забезпечує всю необхідну інформацію для повного застосування виробу і вимагає використання інших методів випробування.

Таблиця 2 – Технічні характеристики термоскріпленого геотекстилю

ВЛАСТИВОСТІ	Стандарт	Од. вимір.	ГТ 1	ГТ 2	ГТ 3	ГТ 4	ГТ 5
Поверхнева густина	EN 965	г/м ²	68	110	136	190	260
Границя міцності на розтяг	EN ISO 10319	кН/м	3,4	7,3	9	13,1	20
Граничне видовження	EN ISO 10319	%	35	52	52	55	55
Міцність при 5% видовженні	EN ISO 10319	кН/м	1,8	3,3	4	5,7	8,2
Статичне проколювання	EN ISO 12236	Н	500	1100	1375	2000	3000
Занурення конуса, мм	EN 918	мм	50	36	30	23	21
Грейферна міцність	ASTM D4632	Н	300	625	750	1100	1680
Міцність на роздирання	ASTM D4533	Н	150	290	370	475	550

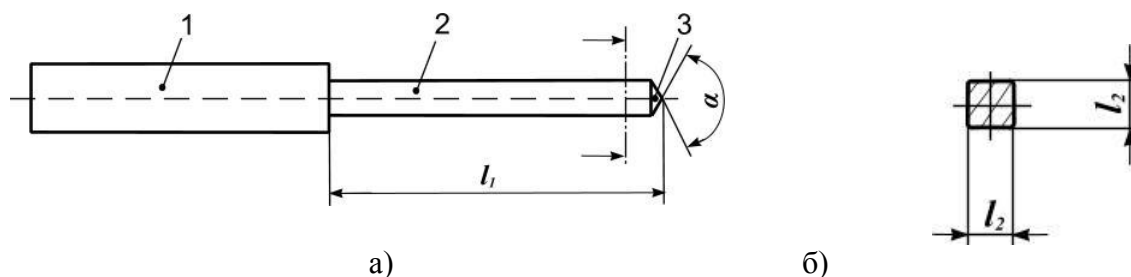
Метод визначення стійкості до пробивання стрижнем ГМ поширюється на геосинтетичні матеріали, які застосовуються у дорожньому будівництві та установлює метод визначання міцності геосинтетичних матеріалів. Міцність визначають величиною максимального зусилля, необхідного для того, щоб пробити стрижнем з певною швидкістю пробу матеріалу.

Відбір проб здійснюють за ГОСТ 18321 [10] методом випадкового відбору. Від партії продукції відбирається не менше трьох точкових проб довжиною не менше 15 см за всією шириною полотна. З відібраних точкових проб рівномірно за всією шириною вирізають по три елементарні проби діаметром (72 ± 1) мм. Підготовлені проби витримують в умовах за ГОСТ 10681 24 години. В тих же умовах проводять випробування.

Метод випробування. Для проведення випробувань використовують машину для випробування на розтяг за ГОСТ 28840 з відносною похибкою вимірювання зусилля $\pm 1 \%$ і абсолютною похибкою показників видовження ± 1 мм.

Машина повинна забезпечувати: можливість вертикальних рухів з амплітудою не менше ніж 150 мм; постійну швидкість руху (700 ± 10) мм/хв.

Стержень повинен бути виготовлений із сталі твердістю не менше ніж 60 HRC. Розміри і форму стрижня зазначено на рис. 1 (розміри в міліметрах).



l_1 – довжина стрижня від $(20 \div 50)$ мм; l_2 – ширина стрижня $(3,1 \pm 0,1)$ мм; r – радіус кутів стрижня $(0,5 \pm 0,05)^\circ$; α – включно кут наконечника $(120 \pm 2)^\circ$;

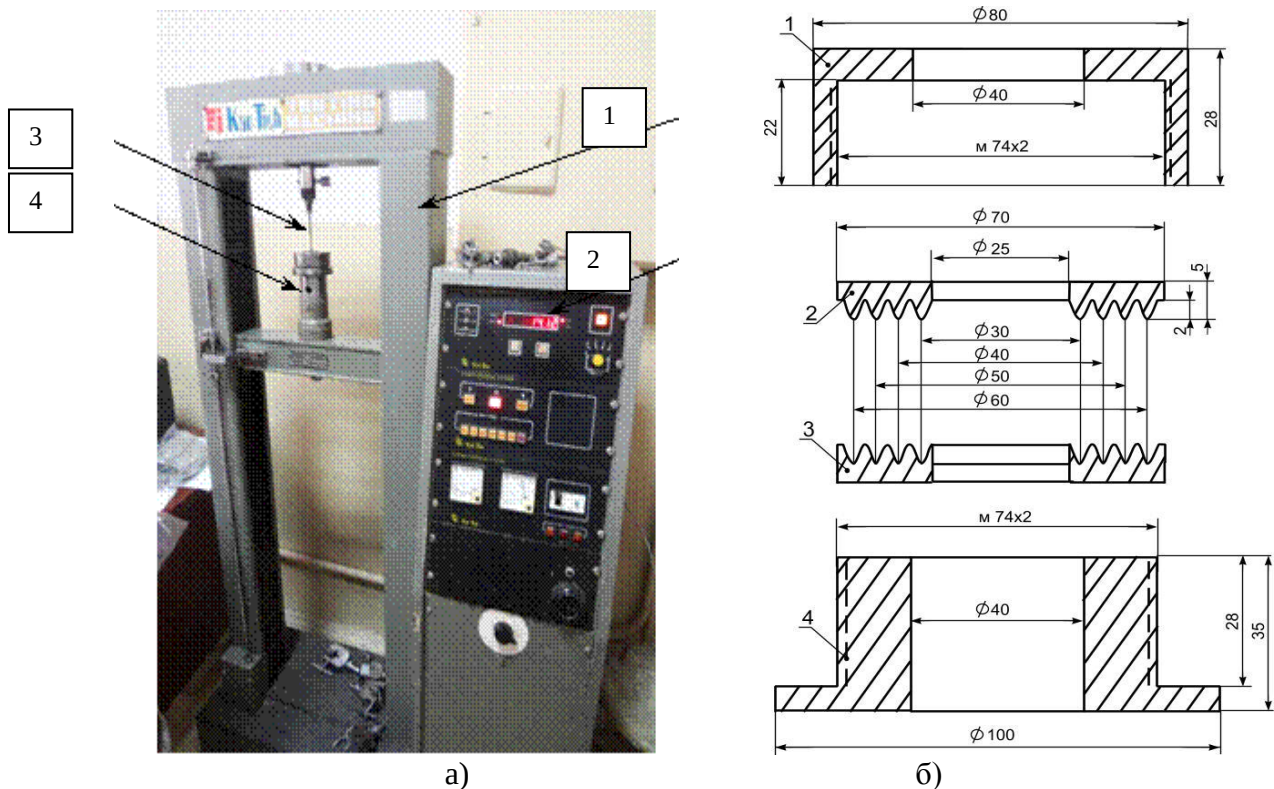
1 – закріплювана частина стрижня; 2 – стрижень квадратного перерізу; 3 – пірамідально заточений наконечник

Рисунок 1 – Стержень: а – вигляд збоку; б – поперечний переріз наконечника

Лінійні розміри стрижня необхідно перевіряти методом оптичного збільшення після здійснення 500 випробувань, але не рідше одного разу на рік. Підчас випробування матеріалів, що сильно зношують стрижень,

перевіряння його лінійних розмірів необхідно проводити частіше. Якщо під час перевіряння виявиться, що розміри стрижня не відповідають зазначеним на рис. 1, стрижень необхідно замінити.

Затискач повинен запобігати зсувові проби та її пошкодженню під час випробування. Він складається з корпусу, затискного кільця з внутрішньою різьбою та двох сталевих пластин із зубчатими надсічками. Товщина кожної пластини становить не менше ніж 4 мм, діаметр отвору для пробивання проби відповідно $(25 \pm 0,5)$ мм (рис. 2).



1 - машина для випробування на розтяг; 2 - шкала навантажень; 3 - затискач з пробою; 4 - стрижень

1 - затискне кільце з внутрішньою різьбою; 2 - верхня затискна пластина із зубчатою надсічкою; 3 - нижня затискна пластина із зубчатою надсічкою; 4 - корпус

Рисунок 2 – Загальний вигляд випробування а) та типовий затискач для закріплення проби б)

Методика проведення випробування. Затискач з пробою, яку закріплюють зовнішньою стороною в напрямі стрижня, розміщують в машині для випробування на розтяг. Включають машину і з швидкістю (700 ± 10) мм/хв пробивають стрижнем пробу матеріалу. Реєструють зусилля в Ньютонах в момент пробивання проби стрижнем. Умови проведення випробувань: ГОСТ

10681-75: температура, 20,8-22,0 °С, відносна вологість - 60%. Випробувальне обладнання - розривна машина КТ-7010AZ (рис. 2а).

Результати випробувань та їх аналіз. Обробляння результатів. Обчислюють середнє арифметичне значення отриманих показників зусилля в Ньютонах момент пробивання проб. Отримане середнє значення округлюють до цілого числа.

Звіт про проведення випробування повинен містити такі дані:

- номер партії геосинтетичного матеріалу;
- дату проведення випробування;
- дані, необхідні для ідентифікації зразків;
- результати випробування кожної проби;
- середнє значення показників зусилля пробивання стрижнем (Н)

зразка геосинтетичного матеріалу. У табл. 3 наведено результати визначення опору пробиванню стрижнем для термоскріпленого геотекстилю.

Таблиця 3 – Результати визначення опору пробиванню стрижнем для термоскріпленого геотекстилю

№ п/п	ГТ 1	ГТ 2	ГТ 3	ГТ 4	ГТ 5
	Опір пробиванню, Н				
1	2,07	8,32	10,31	13,31	15,76
2	4,02	7,4	8,35	13,76	17,26
3	4,41	10,63	9,08	13,10	19,38
4	3,54	7,92	8,94	13,19	19,07
5	4,11	5,96	9,71	13,51	19,05
6	4,1	7,49	8,06	16,33	18,42
7	3,84	6,11	9,76	12,28	20,78
8	3,74	8,68	10,5	13,02	19,57
9	3,64	7,46	10,08	14,88	17,05
10	2,95	8,68	8,95	13,10	17,16
Середнє	3,642	7,865	9,374	13,648	18,35
Стандарт	0,681	1,350	0,826	1,151	1,508
Коефіцієнт варіації	18,69	17,17	8,81	8,44	8,22
Відношення	0,93	0,93	0,96	0,96	1,09

Результати у вигляді залежностей між опором пробиванню стрижнем, поверхневою густиною та механічними характеристиками геотекстилю наведено на рис. 3, 4.

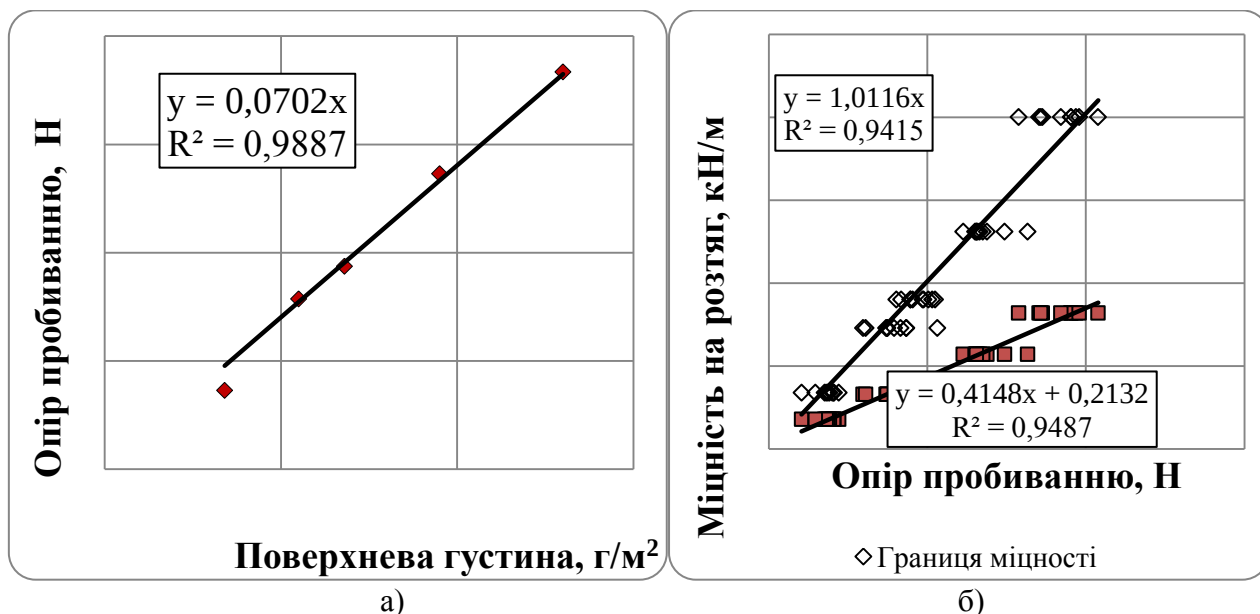


Рисунок 3 - Кореляційна залежність між: а) поверхневою густиною та опором та б) граничною міцністю на розтяг [5] та опором пробиванню стержнем

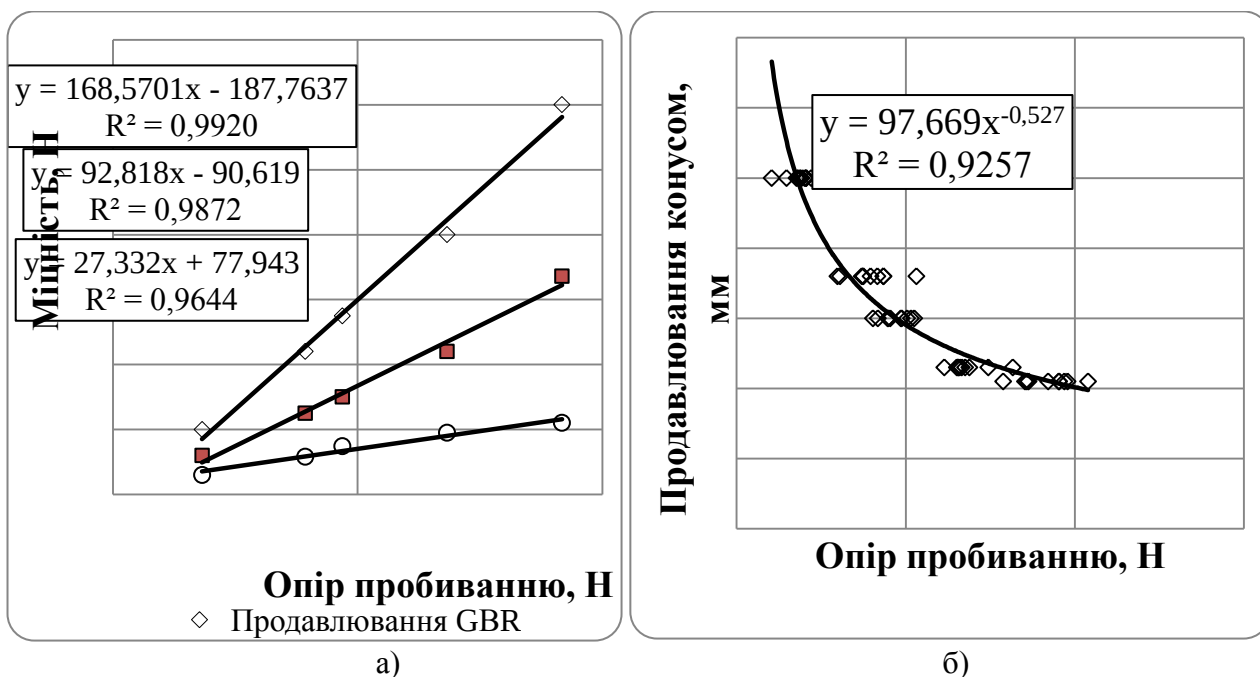


Рисунок 4 - Кореляційна залежність між: а) опором пробиванню стержнем та міцністю на продавлювання (GBR) і грейферною міцністю; б) опором пробиванню стержнем та глибиною занурення конуса

Висновки

У результаті проведених досліджень розроблено новий експрес-метод визначення стійкості до пробивання стержнем ГМ, який моделює ударне навантаження на матеріал при контакті з щебенем (розвантаження матеріалу з кузова автомобіля), укочення, динамічне навантаження при проїзді транспортних засобів по покриттю з нерівностями.

Аналіз результатів порівняльних випробувань вказує на тісний кореляційний зв'язок у вигляді лінійної залежності між пропонованим методом та механічними показниками властивостей геотекстилю (міцністю на розтяг, продавлюванням (CBR), грейферною міцністю та міцністю на роздир). Коефіцієнт кореляції між даними випробувань становить 0,98 – 0,99).

Кореляційна залежність між опором пробиванню та глибиною зануренням конуса за результатами експериментальних досліджень описується степеневою залежністю.

Переваги розробленого методу у порівнянні з стандартними є: моделює міцність ГМ при контакті з щебенем, скорочує час випробувань зразків, дозволяє проводити експрес – оцінку якості ГМ на етапі виробництва, дозволяє обирати матеріал для конкретних умов експлуатації та не потребує спеціального обладнання.

Даний метод, поряд із поверхневою щільністю, може бути рекомендований при статистичному контролі якості випуску продукції та операційному контролі якості поступлення термос кріплених геосинтетичних матеріалів на будівельну ділянку.

Література

1. Koerner R.M. Designing with Geosyntheics. 5th Edition, New Jersey, USA, 2005. – 580 p.
2. Дмитриченко М.Ф., Дмитрієв М.М., Гамеляк І.П., Райковський В.Ф., Якименко Я.М. Надійність конструкцій дорожнього одягу. - Навч. посібник. К.: НТУ. – 2012. – 206 с.
3. ГБН В.2.3-37641918-544: 2014 Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. – К.: Укравтодор, 2014. – 144 с.
4. СОУ 45.2-00018112-025: 2007 Матеріали геосинтетичні. Методи випробувань. Введено вперше. Чинні від 01.03.2008.- К.: Укравтодор, 2007. - 109 с.
5. ДСТУ EN ISO 10319:2007 Геотекстиль. Метод випробування на розтягнення широкою смугою (EN ISO 10319:1996, IDT).
6. ДСТУ EN ISO 12236-2006 Геотекстиль та віднесені до геотекстилю вироби. Статичне випробування на проколювання (CBR-випробування).
7. ISO 13433:2006 Geosynthetics – Dynamic perforation test (cone drop test) (Геосинтетики – Випробування на динамічне пробивання (випробування падаючим конусом)).
8. ASTM D 4632 Standard Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles (Стандартний метод випробувань на грейферну міцність і видовження геотекстилів).
9. ASTM D 4533 Standard Test Method for Trapezoid Tearing Strength of Geotextiles. Стандартний метод визначення міцності на роздирання геотекстильного матеріалу у формі трапеції.
10. ГОСТ 10681–75 Материалы текстильные. Климатические условия для кондиционирования и испытания проб и методы их определения.

Савенко В.Я., Островерхий О.Г., Каськів В.І., Петрович В.В., Каськів С.В.

НОВИЙ СТАНДАРТ ОРГАНІЗАЦІЙ НА СУМІШІ ЛИТІ ЕМУЛЬСІЙНО-МІНЕРАЛЬНІ

Анотація. Наведена нова класифікація і вимоги до сумішей литих емульсійно-мінеральних згідно вимог нового стандарту організації.

Ключові слова: автомобільна дорога, суміш лита емульсійно-мінеральна, покриття, бітумна емульсія.

Аннотация. Приведенная новая классификация и требования к смесям литых эмульсионно-минеральных согласно требованиям нового стандарта организации.

Ключевые слова: автомобильная дорога, смесь литая эмульсионно-минеральная, покрытие, битумная эмульсия,

Abstract. The following new classification and requirements for cast emulsive mixtures and mineral requirements according to new standard organization.

Keywords: road, slurry seal mixture, coatings, bitumen emulsion seizure.

Вступ

На сучасному етапі, для підтримання належних транспортно-експлуатаційних показників покриття автомобільних доріг, одним із перспективних і високопродуктивних способів є – влаштування захисних тонких покриттів – тонкошарових покриттів. Зокрема, покриттів із литих емульсійно-мінеральних сумішей.

Тонкошарове покриття з емульсійно-мінеральної суміші – це верхня частина дорожнього одягу, яка забезпечує сприятливі умови для кочення колеса: рівність, жорсткість поверхні, зчеплення, а також відповідає санітарно-

гігієнічним вимогам (безпильність, зручність механічного прибирання, відведення поверхневої води).

У теперішній час Україна поступово інтегрується в Європейський Союз. Відбувається встановлення міжнародних зв'язків на різних рівнях, зростає частка торгових контактів. У галузі нормування і стандартизації проходять процеси гармонізації української нормативної бази і європейських норм.

Основна частина

На початку нового тисячоліття в практику дорожнього будівництва повернулись емульсійні технології. Все частіше на дорогах державного значення влаштовували тонкошарові покриття із литих емульсійно-мінеральних сумішей (ЛЕМС) замість поверхневих обробок. У європейських країнах і у США ці технології називали Slurry Seal і Microsurfacing. У 2002 році в Україні вперше набули чинності технічні умови на суміші литі емульсійно-мінеральні та холодні асфальтобетонні [1] де була наведена класифікація цих сумішей, їх визначення, основні вимоги до фізико-механічних властивостей і прилади та методи контролю (випробування).

Міжнародна асоціація покриттів із ЛЕМС (International Slurry Surfacing Association), яка функціонує з 1963 року, розрізняє три типи сумішей Slurry, ці типи лягли в основу зернових складів у новому стандарті, також гармонізовано інші положення.

Згідно з Наказом Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) №429 від «30» грудня 2014 р набув чинності з «01» березня 2015 р стандарт організації України СОУ 42.1-37641918-119:2014 «Суміші литі емульсійно-мінеральні. Технічні умови» [2].

Стандарт поширюється на литі емульсійно-мінеральні суміші, які використовують для відновлення або влаштування тонких захисних шарів і шарів зносу (одно- та двошарових) на існуючих асфальтобетонних і цементобетонних покриттях, щебених основах із розклинюванням або просоченням, а також для вирівнювання колії на асфальтобетонному покритті шляхом її заповнення.

Стандарт розроблений Державним підприємством «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ») та Національними транспортним університетом.

Згідно із цим стандартом суміші литі емульсійно-мінеральні (ЛЕМС) – це суміші, які виготовляють шляхом змішування щебеню, піску із відсіву дроблення гірських порід, бітумної або бітумної модифікованої емульсії, води, мінерального наповнювача та регулятора швидкості формування за температури навколишнього середовища у спеціалізованих пересувних змішувачах-укладальниках

ЛЕМС поділяють на:

- види, залежно від в'язучого, яке застосовують;
- типи, залежно від найбільшого розміру мінерального матеріалу, який застосовують;
- класи, залежно від розвитку процесу формування та ущільнення суміші.

За наявністю модифікатора в бітумній емульсії розрізняють суміші двох видів: А і Б.

А – суміші з емульсій на основі бітуму;

Б – суміші з емульсій на основі модифікованого бітуму.

За найбільшим розміром зерен кам'яного матеріалу кожний вид суміші поділяють на типи, які наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Найбільший розмір зерен, мм	Вид А	Вид Б
5	Тип 1	–
10	Тип 2	Тип 2
15	–	Тип 3

За розвитком процесу формування суміші поділяються на класи, які наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Характеристика суміші за класами			
Клас суміші	Назва процесу формування	Час, в хвиликах, до досягнення границі міцності на зсув, МПа	
		0,26	0,43
1	Повільне схоплювання, повільне самоущільнення	більше 30	більше 60
2	Швидке схоплювання, повільне самоущільнення	не більше 30	більше 60
3	Швидке схоплювання, швидке самоущільнення	не більше 30	не більше 60
4	Надшвидке схоплювання, надшвидке самоущільнення	не більше 20	не більше 45
5	Фіктивне схоплювання, повільне самоущільнення	не більше 30	більше 60

Показники фізико-механічних властивостей сумішей повинні відповідати вимогам, які наведені у таблиці 3.

Таблиця 3

Назва показника	Значення для сумішей видів		Метод випробування
	А	Б	
1 Границя міцності на зсув, МПа, через: – 30 хв, не менше – 60 хв, не менше	0,25 0,42	0,25 0,42	згідно з 7.2
2 Поглинання піску, г/м ² , не більше	500	500	згідно з 7.3
3 Зчеплюваність в'язучого з мінеральною частиною, %, не менше	90	90	згідно з п. 5 ДСТУ Б В.2.7-81
4 Втрата матеріалу при вологому абразивному зносі, г/м ² через: – 1 годину замочування, не більше – 6 днів замочування, не більше	800 -	530 800	згідно з 7.4
5 Середня густина після 1 000 циклів навантаження, г/см ³ , не менше	2,10	2,10	згідно з 7.5
6 Розплив конуса, см	2-3	–	згідно з 7.6
7 Час кінця розпаду, с, не менше	180	120	згідно з 7.7

Зерновий склад кам'яного матеріалу сумішей повинен відповідати вимогам, що наведені у таблиці 4.

Таблиця 4

Діаметр отворів сит, мм	Повний прохід через сито, % за масою, для сумішей типу		
	Тип 1	Тип 2	Тип 3
15	100	100	100
10	100	100	80–94
5	100	91–100	71–90
2,5	90–100	65–90	45–70
1,25	67–91	46–71	29–51
0,63	41–66	31–51	20–35
0,315	24–41	17–29	12–24
0,14	14–28	9–20	7–18
0,071	10–20	5–15	5–15

Вміст складових компонентів визначається на основі результатів підбору складу сумішей і повинен відповідати вимогам, наведеним у таблиці 5.

Таблиця 5

Назва компоненту	Вміст компоненту		
	А		Б
	Тип 1	Тип 2	Тип 3
1 Тип емульсії	не модифікована		модифікована
2 Залишкове в'язуче, % за масою	7,5-9,0	6,5-8,0	5,5-7,5
3 Вміст модифікуючої добавки в залишковому в'язучому, % за масою	-		2,5-5,0
4 Мінеральний наповнювач, % за масою	0,5-3,0		
5 Емульгатор, % за масою	2-3		
6 Регулятор швидкості формування суміші, % за масою не більше	0,3		
7 Вода, % за масою	6-11		
Примітка 1. При необхідності, вміст регулятора швидкості формування суміші коригується у відповідності з результатами підбору складу суміші і умовами виконання робіт.			
Примітка 2. При додаванні води менше 6 % суміш стає малорухомою, а при додаванні більше 11 % – не стабілізується.			

Основні показники, які повинні бути відображені у документі про якість (відповідність) це такі фізико-механічні властивості суміші:

- границя міцності на зсув, МПа;
- поглинання піску, г/м^2 ;
- витрата матеріалу при вологому зносі (ВМВЗ), г/м^2 ;
- розплив конуса, см (для сумішей типу 1 і типу 2);
- час кінця розпаду, с.

У стандарті також розроблені розділи: методи контролювання (випробування); правила приймання; транспортування і зберігання тощо.

Висновок

Новий стандарт гармонізований із міжнародними нормами і покликаний покращити якість тонкошарових покриттів, які влаштовують із литих емульсійно-мінеральних сумішей. Набув чинності СОУ 42.1-37641918-119:2014 із 01 березня 2015 року.

Література

1. Суміші литі емульсійно-мінеральні та холодні асфальтобетонні. Технічні умови : ТУ У В.2.7-45.2-00018112-208-2002. – К.: Укравтодор, 2002. – 34 с.

2. Суміші литі емульсійно-мінеральні. Технічні умови : СОУ 42.1-37641918-119:2014. – К.: Укравтодор, 2015. – 28 с.

Державні будівельні норми. Споруди транспорту. Автомобільні дороги: ДБН В.2.3–4:2007. – К.: Держбуд України, 2008. – 91 с.

Мустяца О.Н., канд. хім. наук, Шевченко В.М., канд. хім. наук

ПОШУК ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ НАТРІЙ-СІРКОВОГО АКУМУЛЯТОРА

Анотація. У статті наведено літературний огляд з проблеми підвищення питомої енергоемності натрій-сіркового акумулятора як перспективного хімічного джерела струму для електромобілів. Обґрунтовано напрям і об'єкти дослідження. Досліджено електропровідність, температури топлення матеріалів систем $\text{Na}_2\text{S} - \text{Cu}_2\text{S}$; $\text{Na}_2\text{S} - \text{Tl}_2\text{S}$; $\text{Na}_2\text{S} - \text{PbS}$; $\text{Na}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3$; $\text{Na}_2\text{S} - \text{Bi}_2\text{S}_3$; $\text{Na}_2\text{S} - \text{As}_2\text{S}_3$ і визначено найбільш перспективні домішки для оптимізації роботи натрій-сіркового акумулятора.

Ключові слова: натрій-сірковий акумулятор, катодний матеріал, сульфід металів, полісульфіди натрія, електропровідність.

Анотация. В статье приведен обзор литературы по проблеме, связанной с повышением удельной энергоёмкости натрий-серного аккумулятора – перспективного химического источника тока для электромобилей. Обоснованы направление и объекты исследования. Исследованы электропроводность, температуры плавления материалов систем $\text{Na}_2\text{S} - \text{Cu}_2\text{S}$; $\text{Na}_2\text{S} - \text{Tl}_2\text{S}$; $\text{Na}_2\text{S} - \text{PbS}$; $\text{Na}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3$; $\text{Na}_2\text{S} - \text{Bi}_2\text{S}_3$; $\text{Na}_2\text{S} - \text{As}_2\text{S}_3$ и определены наиболее перспективные добавки для оптимизации работы натрий-серного аккумулятора.

Ключевые слова: натрий-серный аккумулятор, катодный материал, сульфиды металлов, полисульфиды натрия, электропроводность.

Annotation. The article presents the review of literature covering the problems that relate to raising the specific power capacity of the sodium-sulphur accumulator – a promising chemical source of current for electric vehicles. The directions and objects for researches are justified. Electro conductivity, temperature of melting, materials of

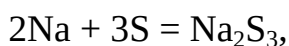
the system are researched: $\text{Na}_2\text{S-Cu}_2\text{S}$; $\text{Na}_2\text{S-Tl}_2\text{S}$; $\text{Na}_2\text{S-PbS}$; $\text{Na}_2\text{S-Sb}_2\text{S}_3$; $\text{Na}_2\text{S-Bi}_2\text{S}_3$; $\text{Na}_2\text{S-As}_2\text{S}_3$ and the most perspective additions for optimizing the sodium-sulphur accumulator are defined.

Key words: sodium-sulphur accumulator; cathodic material; sulphide of metals; polysulphide of sodium; electroconductivity.

Вступ

Натрій-сірковий елемент у простійшому вигляді являє собою комірку, в якій анодом є рідкий натрій, а катодом – розплавлена сірка. Як електроліт застосовується твердий β -глинозем – $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$ – з іонною провідністю по Na^+ .

Як вказувалось раніше [1], розряд натрій-сіркового акумулятора зупиняють на стадії утворення у катодному просторі трисульфід натрія:



температура плавлення якого - 230°C .

Подальший розряд супроводжується утворенням твердого Na_2S_2 , температура плавлення якого 450°C (робоча температура акумулятора – 300°C), і плівка цієї сполуки пасивує поверхню контакту електроліту і окиснюється, що призводить до різкого погіршення електрохімічних характеристик акумулятора.

Як катодні струмопідводи застосовуються графітова повсть або губчасті і перфоровані метали (тантал, ніобій).

Роботи, які відомі на цей час, присвячені, в основному, вдосконаленню конструкції акумулятора [1-22].

Питому енергоємність натрій-сіркового акумулятора можна підвищити, якщо процес розряду його вести до стадії утворення Na_2S_2 , а ще краще до Na_2S . Щоби досягти цього, необхідно вводити у катодну суміш речовини, які б здатні були понизити температури плавлення Na_2S_2 і Na_2S до робочих температур акумулятора. Однак, в цьому напрямку відома лише одна робота [21], з якої

слід, що понизити робочу температуру акумулятора можна введенням сульфідів і полісульфідів алюмінія, галія, індія, вісмута або бору. На жаль, у цій роботі не вказується, до стадії утворення якого конкретно полісульфіду натрія можна проводити розряд акумулятора, а якщо врахувати високі температури плавлення сульфідів алюмінія, галія, індія, то до результатів цього дослідження треба підходити дуже обережно. Скоріше за все дослідниками була отримана гетерогенна суміш.

Другий шлях підвищення питомої енергоємності натрій-сіркового елемента – це отримання активної сірки, яка вміщує катодну домішку, що володіє електронною провідністю, для того, щоби виключити застосування графітової повсті або губчастих металів, які суттєво підвищують масу акумулятора. Роботи такого напрямку невідомі. Пропонується проводити розряд акумулятора до стадії утворення пентасульфіда натрія, або застосовувати суміш пентасульфіду натрія із вільною сіркою, яка у розплаві розшаровується [20]. В тому і іншому випадках значно знижується питома енергоємність акумулятора.

Обґрунтування напрямку роботи. Понизити температуру плавлення Na_2S_2 або Na_2S можна введенням добавок сульфідів металів. Основні вимоги, що висуваються до таких домішок, це їх доступність, нетоксичність, порівняно низька температура плавлення, невисока ціна, здатність утворювати із сульфідом натрію гомогенні системи у робочому температурному інтервалі акумулятора.

Із числа відомих сульфідів краще за всіх цим вимогам можуть відповідати сульфіди міді, талію, свинцю, сурми, вісмуту, миш'яку. Тому в даній роботі були досліджені електропровідність і температури плавлення розплавів систем:

$\text{Na}_2\text{S} - \text{Cu}_2\text{S}$; $\text{Na}_2\text{S} - \text{Tl}_2\text{S}$; $\text{Na}_2\text{S} - \text{PbS}$; $\text{Na}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3$; $\text{Na}_2\text{S} - \text{Bi}_2\text{S}_3$; $\text{Na}_2\text{S} - \text{As}_2\text{S}_3$.

Синтез препаратів

Сульфіди міді, талію, свинцю, сурми, бісмуту і арсену готувались безпосереднім стопленням розрахованих кількостей компонентів у вакуумованих (до 10^{-3} мм. рт. ст.) і запаяних ампулах у відповідності з

методиками [23, 24]. Для усунення вибухонебезпечності ампул, стоплення проводилося у режимі повільного (1 град./хв.) нагрівання до температур, що на 40-50 °С перевищують температури топлення сульфідів. За максимальних температур ампули витримувались біля години при періодичному перемішуванні вструшуванням. Для запобігання окиснення зразків у випадку розтріскування ампул, нагрівання і охолодження останніх здійснювали у кварцових реакторах, які попередньо також вакуумувались і заповнювались сухим очищеним аргоном.

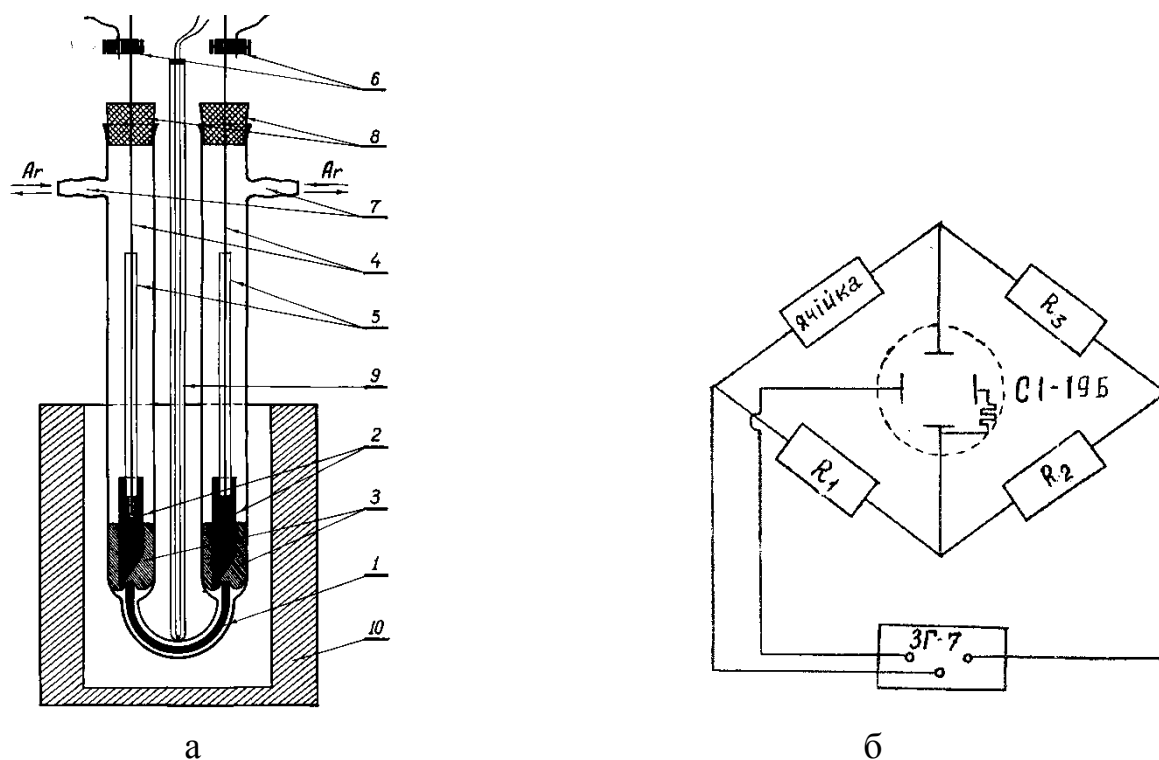
Для виготовлення сульфідів застосовувались препарати наступної кваліфікації: сірка – ОСЧ-14-4; мідь електролітична В-3; свинець – С-000; талій – Тл-III; сурма Су-00; вісмут “ч”; миш’як – ОСЧ-17-4. Сульфід натрію готували ступінчастим зневодненням девятиводного кристалогідрату $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, марки “чда”. Спочатку препарат витримували 9-10 діб в вакуумному ексікаторі над P_2O_5 за кімнатної температури. Потім препарат переносили в алундовий тигель, який розміщували у герметичному кварцовому реакторі з вловлювачем наповненим оксидом фосфору(V). Реактор заповнювався аргоном, після чого препарат (протягом 10-12 годин) підігрівали до 220-250 °С і витримували за цих умов до повної втрати води. Залишки вологи вилучали прожарюванням при 700 °С і наступною переплавою препарата. Отриманий таким чином сульфід натрія мав світло-жовте забарвлення. Всі наступні операції з ним і зберігання відбувались у сухому боксі. Зразки для вимірів готувались безпосереднім сплавленням розрахованих і ретельно зважених кількостей сульфіда натрію і сульфідів металів в корундизових тиглях з кришками в атмосфері аргону. Цим досягалась додаткове очищення матеріалів системи від органічних і летких домішок, а також видалення адсорбованої у порошках вологи. Склад зразків після дослідів уточнювався хімічним аналізом на сірку і метал.

Метод виміру електропровідності

Електропровідність відноситься до структурно-чутливих характеристик і з успіхом застосовується для визначення температур плавлення речовин.

Методика, що застосовувалась в нашому дослідженні, описана в роботі [25] і зводиться до виміру електроопору розплавів у кварцовому капілярі із застосуванням графітових електродів. Для виміру використовується міст Кольрауша (див. рис. 2), що живиться змінним струмом фіксованої частоти (1-5 кГц) від генератора ЗГ-7. Як нуль-інструмент служить осцилограф С1-19Б. Як змінні опори задіяні магазини МСР-63.

Для нагрівання й термостатування застосовувалася електрична піч опору з теплорегулюючим пристроєм. Температура у печі контролюється платина-платинародієвою термопарою (нижче 500°C застосовували ртутно-галієві термометри). Помилка у визначенні температури не перевищувала 0,5%.



а – 1- капіляр; 2 - графітові електроди-зонди; 3 – розплав; 4 - Мо- струмопідводи; 5 - кварцові капілярні чохла; 6 - латунні перехідники; 7 - штуцери; 8 - гумові пробки; 9 - термопара; 10 - термостат з нержавіючої сталі

Рисунок 1 – Кварцова капілярна комірка (а) для дослідження питомої електропровідності та мостова (компенсаційна) електрична блок-схема Кольрауша (б) для виміру опору

Електроопір, що вимірюється мостовою схемою, складається з наступних складових:

$$R_{\text{заг.}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4, \quad (1)$$

де R_1 - опір сполучних проводів, контактів, струмопідводів і самих графітових електродів; R_2 - опір розплаву між першим електродом і капіляром; R_3 - опір розплаву між другим електродом і капіляром; R_4 - опір розплаву, що знаходиться усередині кварцового капіляра. R_1, R_2, R_3 мали дуже малі значення у порівнянні з R_4 ($R_1+R_2+R_3 \ll 10^{-2}$ Ом). Опір розплавів у капілярі, змінювався в межах десятків і десятків тисяч Ом і помилка за рахунок конструкційних особливостей комірок зводилася, таким чином, до мінімуму ($< 2\%$).

Комірка калібрувалась за розплавом хлориду калію, кваліфікації "ХЧ". Для розрахунку константи посудини використовувались дані з електропровідності розплавленого хлориду калію, узяті з довідника (Морачевский А.Г. Справочник по расплавленным солям. Т.1. - Л.: Химия.- 1971.- 168 с.). Константа посудини (K) визначалася для різних температур.

Електропровідність досліджувалась наступним чином: заздалегідь розрахована кількість речовини, переплавлена в середовищі аргону, завантажувалась у прокалібровану посудину, що герметично закривалась, промивалась, заповнювалася інертним газом і містилась у піч. По досягненні потрібної температури розплав термостатувався, і вимірювався електроопір розплаву (R). Перед кожним виміром за допомогою спеціальної системи (див. рис. 2) капіляр промивався досліджуванним розплавом.

Залежність електроопору від температури визначалася як по охолодженню, так і по нагріванню. Після досліду електроди піднімалися, сплав видавлювався з капіляра й розливався по стінках посудини. Електропровідність розраховувалася за рівнянням:

$$\alpha = K/R, \quad (2)$$

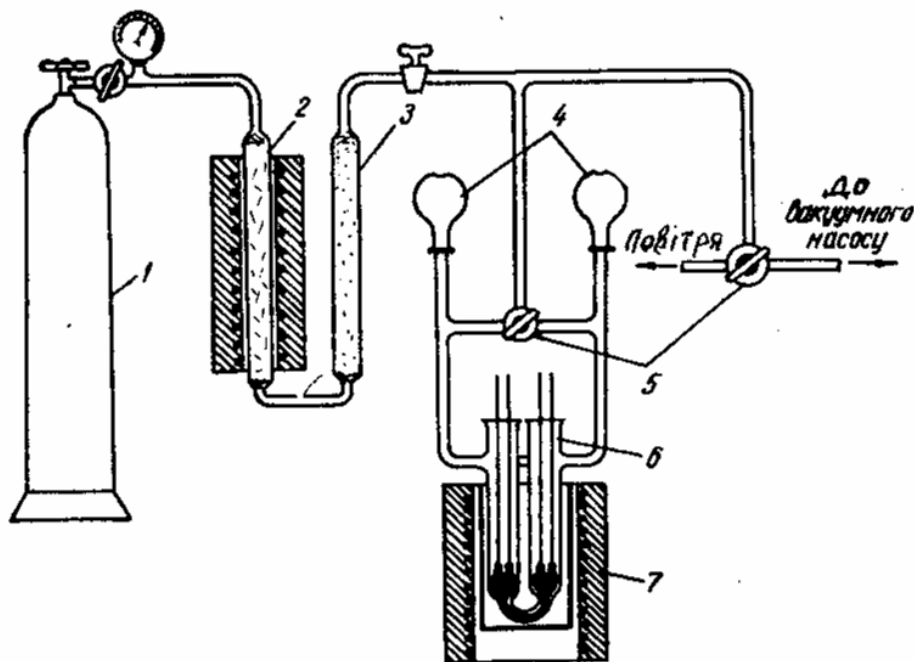
де α - питома електропровідність, K - константа посудини, R - опір розплаву (зразка).

Вплив сульфідів металів на електропровідність і температуру топлення сульфіда натрія

Система $\text{Na}_2\text{S} - \text{Cu}_2\text{S}$. Для дослідження електропровідності було виготовлено 12 зразків, що містили 10, 15, 25, 30, 33, 35, 40, 45, 50, 55 і 60 мас.% Na_2S .

Провідність всіх зразків зростає з підвищенням температури і знижується з підвищенням вмісту Na_2S в розплаві.

На рис. 3, а наведено ізотерми електропровідності розплавів системи Na_2S – Cu_2S (А) у співставленні з діаграмою стану (Б).



1 - балон з аргоном; 2 – колонка з мідними стружками; 3 - колонка з хлористим кальцієм; 4 - гумові груші; 5 - трьохходовий кран; 6 - посудина для виміру електропровідності; 7 - піч нагріву

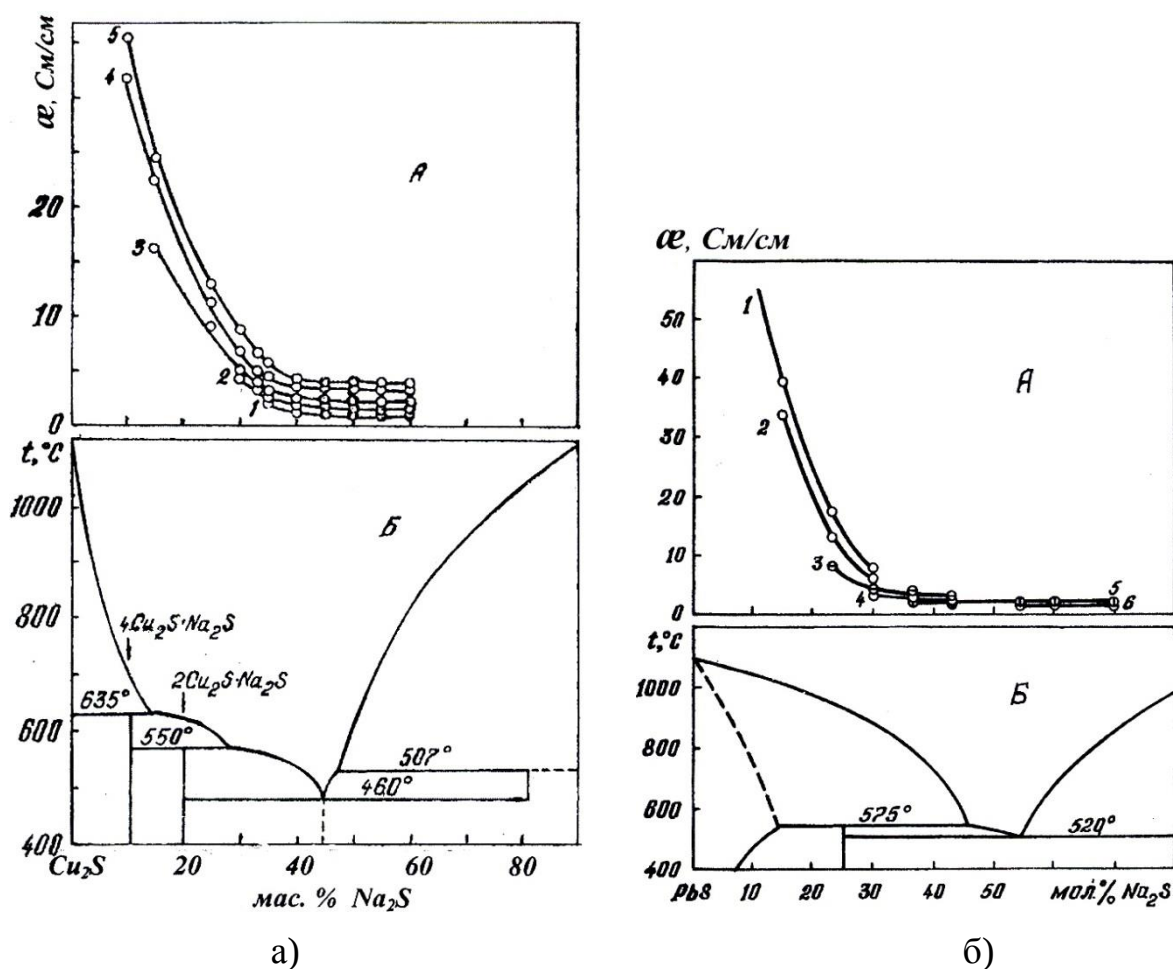
Рисунок 2 - Система очищення аргону, вакуумування й промивки капіляра.

Як видно з рисунку, найбільш низьку температуру плавлення ($460\text{ }^{\circ}\text{C}$) має евтектичний склад, що вміщує 44 мас.% (62,5 мол.%) Na_2S . Провідність його в інтервалі $460\text{--}950\text{ }^{\circ}\text{C}$ змінюється від 1,0 до 3,5 См/см. При температурі $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ розплави є гомогенними в межах концентрацій 30-48 мас.% Na_2S , при $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ – в межах 25-50 мас.% Na_2S .

Система Na_2S – PbS . Результати дослідження електропровідності розплавів цієї системи в межах концентрацій від 15 до 60 мол.% Na_2S у співставленні з діаграмою стану [28, 29] наведено на рис. 3, б. Підвищення концентрації Na_2S призводить до пониження електропровідності в зразках

системи до одиниць См/см. Найбільш низькою температурою плавлення (520 °С) володіє склад, що вміщує 54,4 мол.% (28 мас.%) Na_2S .

Система $\text{Na}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3$. Електропровідність розплавів даної системи досліджена в інтервалі концентрацій від Sb_2S_3 до 100 мол.% Na_2S . Зразки, що вміщують більше за 50 мол.% Na_2S , мають величини електропровідності від 1 до 7 См/см в межах температур 550-1100 °С. Ізотерми електропровідності у співставленні з діаграмою складу [30] представлено на рис. 4,а.

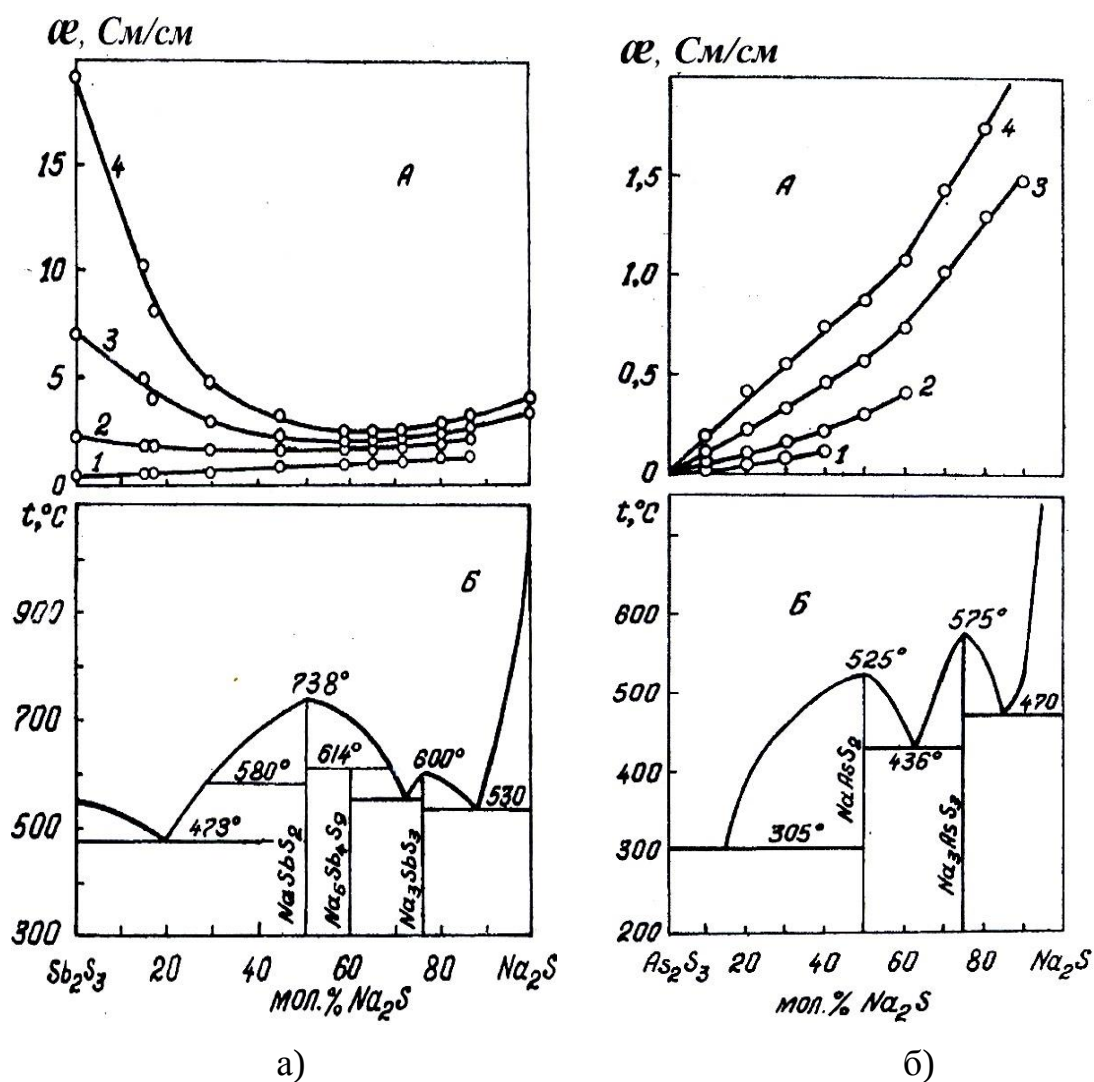


а) 1 – для 550; 2 – 600; 3 – 650; 4 – 750; 5 – 850 °С; б) 1 – для 1110; 2 – 1050; 3 – 960; 4 – 900; 5 – 800; 6 – 700 °С

Рисунок 3 - Ізотерми електропровідності розплавів (а) системи $\text{Na}_2\text{S}-\text{Cu}_2\text{S}$ (А) і (б) системи $\text{Na}_2\text{S}-\text{PbS}$ (А) у співставленні з діаграмами стану (Б)

З рисунку 4, а видно, що добавка 12 мол.% Na_2S (37,25 мас.%) понижує температуру плавлення сульфиду натрія до 530 °С.

Система $\text{Na}_2\text{S}-\text{As}_2\text{S}_3$. У протилежність розплавам попередніх систем, електропровідність даної системи із збільшенням вмісту As_2S_3 не зростає, а зменшується, що пояснюється низькою провідністю As_2S_3 (соті См/см). Електропровідність же кожного зразка зростає з підвищенням температури і складає величини від 10^{-3} до одиниць См/см . В межах концентрацій Na_2S до 85 мол.% при 600 °С розплави є гомогенними. Добавка 15 мол. % (35,8 мас. %) As_2S_3 знижують температуру плавлення Na_2S до 470 °С. Ізотерми електропровідності розплавів даної системи у співставленні з діаграмою стану [31] представлено на рис. 4, б.



а) 1 – для 650; 2 – 850; 3 – 950; 4 - 1020 °С; б) 1 – для 450; 2 – 500; 3 – 600; 4 - 700 °С

Рисунок 4 - Ізотерми електропровідності розплавів (а) системи $\text{Na}_2\text{S}-\text{Sb}_2\text{S}_3$ (А) і (б) системи $\text{Na}_2\text{S}-\text{As}_2\text{S}_3$ (А) у співставленні з діаграмами стану (Б)

Система Na_2S – Bi_2S_3 . Розплави даної системи за своїми властивостями нагадують розплави системи Na_2S – Sb_2S_3 . Електропровідність їх складає одиниці См/см . Добавка 10 мол.% (42,3 мас.%) Bi_2S_3 утворює з Na_2S евтектику, що плавиться при 600 °С.

Система Na_2S – Tl_2S . Ця система детально описана в роботі [26]. Перевірка підтвердила результати цього дослідження. Електропровідність розплавів даної системи складають одиниці См/см – дивись таблицю 1. При температурі 600 °С розплави залишаються гомогенними аж до вмісту Na_2S в системі, які відповідають 75 мол.% (34,7 мас.% Na_2S).

Таблиця 1 - Електропровідність розплавів системи Na_2S – Tl_2S (указано мольні проценти)

10 % Na_2S		20 % Na_2S		30 % Na_2S		40 % Na_2S	
t,°C	κ , См/см	t,°C	κ , См/см	t,°C	κ , См/см	t,°C	κ , См/см
900	17,73	929	18,47	928	13,25	933	11,75
885	17,31	916	17,73	900	12,23	923	11,48
866	16,16	880	15,81	885	11,53	902	10,49
831	14,04	860	14,61	859	10,53	890	10,06
810	12,80	849	13,99	835	9,51	853	8,74
792	11,90	836	13,23	801	8,30	833	8,09
782	11,26	810	11,90	788	7,91	810	7,22
759	10,22	791	10,99	767	7,04	783	6,41
735	9,19	760	9,63	750	6,52	759	5,73
704	7,76	734	8,48	732	5,98	746	5,42
680	6,95	708	7,43	716	5,51	719	4,78
669	6,51	680	6,34	692	4,88	703	4,56
639	5,33	668	5,98	679	4,52	681	3,93
623	4,89	644	5,14	652	3,83	662	3,48
599	4,14	626	4,63	623	3,23	650	3,26
576	3,54	600	3,89	600	2,82	623	2,88
557	3,05	584	3,45	586	2,58	616	2,69
529	2,47	568	2,98	561	2,18	600	2,42
500	1,90	540	2,54	542	1,88	585	2,23
479	1,60	518	2,10	518	1,57	571	2,04
465	1,40	490	1,68	489	1,35	559	1,86
449	1,20	462	1,25	460	1,13	543	1,76
420	0,90	435	0,96	430	0,76	533	1,62
397	0,70	420	0,73	406	0,72	526	1,48

Кінець табл.1

50 % Na ₂ S		60 % Na ₂ S		70 % Na ₂ S		80 % Na ₂ S	
t,°C	α,См/см	t,°C	α,См/см	t,°C	α,См/см	t,°C	α,См/см
919	8,68	905	6,57	963	5,01	906	3,13
911	8,55	888	6,33	945	4,79	895	3,06
876	7,68	841	5,43	915	4,29	883	2,98
848	6,86	825	5,06	902	4,12	866	2,87
826	6,32	800	4,60	889	3,94	849	2,73
799	5,59	778	4,17	868	3,66	818	2,52
777	5,07	754	3,69	851	3,44	799	2,37
760	4,70	735	3,40	833	3,27	779	2,12
747	4,43	716	3,10	820	3,03	770	1,96
732	4,10	690	2,72	800	2,82	761	1,89
720	3,88	653	2,30	787	2,67	759	1,89
711	3,66	628	1,99	760	2,38	757	1,86
684	3,25	603	1,78	748	2,23	756	1,88
677	3,11	576	1,51	735	2,03	750	1,84
657	2,79	544	1,26	705	1,82	748	1,82
634	2,42	538	1,20	691	1,70	736	1,75
609	2,13	530	1,15	677	1,61	728	1,68
597	1,98	522	1,08	652	1,45	720	1,64
585	1,84	518	1,04	632	1,31	718	1,58
567	1,62			600	1,13	716	1,55
544	1,43			583	1,03	708	1,54
527	1,25			567	0,94	707	1,51
514	1,13			548	0,86	704	1,50
502	1,04			531	0,79		

Висновки

Досліджена електропровідність і температури топлення розплавів систем Na₂S – Cu₂S; Na₂S – Tl₂S; Na₂S – PbS; Na₂S – Sb₂S₃; Na₂S - Bi₂S₃; Na₂S - As₂S₃. Електропровідність розплавів вищеперелічених систем з підвищенням вмісту сульфиду натрія складає одиниці См/см, що співрозмірно з провідністю самого сульфиду натрія. Добавки сульфідів металів понижують температуру топлення Na₂S. Так, сульфід міді утворює з сульфідом натрія евтектику, що відповідає складу 44 мас.% (62,5 мол.%) Na₂S, і яка плавиться при температурі 460 °С. У випадку системи Na₂S – Tl₂S розплави залишаються гомогенними при температурі 600 °С аж до вмісту сульфиду натрія, який відповідає 75 мол.% (34,7 мас.%). Сульфід свинцю утворює з Na₂S евтектику при 520 °С і вмісті

сульфіду натрія 54,4 мол.% (28 мас.%); сульфід сурми – при 530 °С і 88 мол.% (62,75 мас.%) Na_2S ; сульфід бісмуту – при 600 °С і 90 мол.% (57,7 мас.%) Na_2S ; сульфід миш'яку – при 470 °С і вмісті Na_2S , який відповідає 85 мол.% (64,2 мас.%). Найбільш перспективними уявляються добавки сульфідів сурми і миш'яку.

Отримати катодні композиції на основі сульфідів натрія і сульфідів інших елементів, означених в даному дослідженні, які б плавилася в інтервалі 250-350 °С, виявилось неможливим.

Література

1. Weber Neill. "Proc. 21 st. Annual Power Sources Conf."/ Weber Neill, Kummer J.T.- Red Bank, New York, s.a., 37, 1967. "Advances Energy Convers. Eng.", New York, 913, 1967.
2. Gratch Serge. "7th Intersoc. Energy Convers. Eng. Conf. / Gratch Serge, Petrocelli J.V., Tischer R.P., Minck R.W., Whabn T.J. - San Diego, Calif., 1972", Waschington, D.C., 38,1972.
3. Levine C.A. "7th Intersoc. Energy Convers. Eng. Conf./ Levine C.A., Hetz R.G., Brown W.E. - San Diego, Calif., 1972", Waschington, D.C., 50, 1972.
4. Cairns Elton J. "Progr. High. Temp. Phys. and Chem./ Cairns Elton J., Steunenber Robert K. - Vol. 5", Oxford e.a., 63, 1973.
5. Кимура Сюдзи. Пат. Японии/ Кимура Сюдзи, Фурусэ Такэси.- Кл. 57CO (H 01m) № 47-25776, № 47-25777, № 47-25778, 1972.
6. Нинания Киёси. Пат. Японии/ Нинания Киёси. - Кл. 57АО (H 01m 29/00), № 47-50412, 1972.
7. Нисимура Киёси. Пат. Японии/ Нисимура Киёси, Хасэтава Хикару, Такаги Масатака. - Кл. 57АО (H 01m 29/00), № 47-48685, 1972.
8. Тэрадзаки Масанао. Пат. Японии/ Тэрадзаки Масанао. - Кл. 57АО (H 01m 29/00), № 48-6728, № 48-14807, 1973.
9. Кимура Сюдзи. Пат. Японии/ Кимура Сюдзи, Мисимура Йоситака. - Кл. 57АО (H 01m 29/00), № 48-6729, 1973.
10. Кимура Сюдзи. Пат. Японии/ Кимура Сюдзи, Аояма Сюдзи. - Кл. 57АО (H 01m), № 48-8409, 1973.
11. Аояма Сюдзи. Пат. Японии/ Аояма Сюдзи. - Кл. 57АО (H 01m), № 48-8410, 1973.
12. Аояма Сюдзи. Пат. Японии / Аояма Сюдзи, Хиран Тосіо. - Кл. 57АО (H 01m), № 48-14808, № 48-14809, 1973.

13. Томинэ Кадзуо. Пат. Японии/ Томинэ Кадзуо. - Кл. 57АО (H 01m), № 48-15057, № 48-15058, 1973.
14. Икэда Хироносукэ. "Ом. Дэнки дзасси"/ Икэда Хироносукэ. - 60, № 1, 89, 1973.
15. Fally Jacques. Пат. Франции/ Fally Jacques, Lasennec Yvon, Gouteron Bernard.- Кл. H 01m 13/00, № 2093105, 1972.
16. Sudworth J.L. "Sulphur Inst. J."/ Sudworth J.L.- 8, № 4, 12, 1972.
17. Пат. США, кл. 136-6, (H 01m 29/00, 35/00), № 3672994, 1972.
18. Levine Charles A. Пат. США/ Levine Charles A., Fujioka George S.. - Кл. 136-6, (H 01m 35/02), № 3663294, 1972.
19. Fally Jacques. Пат. Франции / Fally Jacques, Lasennec Yvon, Lasne Claude. - Кл. H 01m 3/00, № 2110813, 1972.
20. Пат. Франции, кл. H 01m 43/00, № 2116459, № 2119117, 1972.
21. Werth John J. Пат. США, кл. 136-6 (H 01m 35/00), № 3718505, 1973.
22. Feher F. Z. anorg. und allg. Chem./ Feher F., Heider R., Barnert D., Luts H.D.- 399, № 1, 77, 1973.
23. Чижигов Д.М. Селен и селениды/ Чижигов Д.М., Счастливый В.П. Изд-во "Наука", М., 1964.
24. Чижигов Д.М. Теллур и теллуриды / Чижигов Д.М., Счастливый В.П. - Изд-во "Наука", М., 1966.
25. Великанов А.А. Известия ВУЗов. Цветная металлургия/ Великанов А.А., Мустьяца О.Н. - № 2, 61, 1972.
26. Великанов А.А. Отчет по НИР "Исследование возможности увеличения электрической ёмкости натрий-серного аккумулятора и электронной проводимости активных материалов, содержащих серу"/ Великанов А.А., Шевчук П.П. и др. Киевский госуниверситет, Киев, 1973.
27. Новоселов С.С. Сб. "Труды Всесоюзного института горной металлургии"/ Новоселов С.С., Копылов Н.И. -№ 7, 56, 1962.
28. Смирнов М.П. Известия ВУЗов. Цветная металлургия/ Смирнов М.П., Кудряшов Л.Н. - № 12, 36, 1956.
29. Хансен М. Структуры двойных сплавов / Хансен М., Андерко А. - М., 2, 1232, 1960.
30. Кузнецов В.Г. Ж. неорган. химии / Кузнецов В.Г., Канищева А.С., Салов А.В. - 17, № 1, 247, 1972.
- Чаус И.С. Укр. хим. журнал / Чаус И.С., Демченко Л.Е., Сухенко В.Д. - 40, № 5, 473, 1974.

Онищенко А.М. канд. техн. наук, Гаркуша М.В.,
Лапченко А.С., канд. техн. наук.

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ КОЛІЄСТІЙКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ З УРАХУВАННЯМ УКРІПЛЕННЯ ОСНОВИ

Анотація. В статті наведена методика визначення загальної глибини колії, яка залежати від накопичення залишкових деформацій в покритті, шарах дорожнього одягу та земляному полотні.

В рамках проблеми підвищення довговічності асфальтобетонного покриття нежорстких дорожніх одягів однією з найважливіших задач вважають збереження рівності покриття у часі. Аналіз дослідження стану асфальтобетонного покриття показує, що утворення колії небезпечної глибини складає від 20 до 35 % всіх причин зниження транспортно-експлуатаційної якості автомобільних доріг. Тому попередження утворення колії є надзвичайно важливою задачею, яка постає перед науковцями-дорожниками. Істотним недоліком українських нормативних документів з проектування дорожнього одягу, є відсутність розділів з прогнозування стану дорожнього одягу в процесі її служби.

В методиці розрахунку колієстійкості враховується: величина навантаження, швидкість дії навантаження, розрахункові характеристики кожного з шарів і їхня товщина, кількість прикладених навантажень. Аналізується можливість утворення випорів разом з колією.

Результати статті розрахунку колії дозволяють спрогнозувати глибину колії з урахуванням накопичення залишкової деформації у всіх шарах дорожнього одягу.

Запропонована методика дозволяє спрогнозувати вертикальні зміщення будь-якої точки поверхні покриття в поперечному перерізі та визначити максимальну ширину, яку займає одна колія.

Ключові слова: колієстійкість, асфальтобетонне покриття, залишкові деформації, функція релаксації

Аннотация. В статье приведена методика определения общей глубина колеи, которая зависит от накопления остаточных деформаций в покрытии, слоях дорожной одежды и земляного полотна.

В рамках проблемы повышения долговечности асфальтобетонного покрытия нежестких дорожных одежд одной из важнейших задач считают сохранение ровности покрытия во времени. Анализ исследования состояния асфальтобетонного покрытия показывает, что образование колеи опасной глубины составляет от 20 до 35% всех причин снижения транспортно-эксплуатационного качества автомобильных дорог. Поэтому предупреждения образования колеи является чрезвычайно важной задачей, которая стоит перед учеными-дорожниками. Существенным недостатком украинских нормативных документов по проектированию дорожной одежды, является отсутствие разделов по прогнозированию состояния дорожной одежды в процессе ее службы.

В методике расчета колеестойкости учитывается: величина нагрузки, скорость действия нагрузки, расчетные характеристики каждого из слоев и их толщина, количество прилагаемых нагрузок. Анализируется возможность образования выпоров вместе с колеей.

Результаты статьи расчета колеи позволяют спрогнозировать глубину колеи с учетом накопления остаточной деформации во всех слоях дорожной одежды.

Предложенная методика позволяет спрогнозировать вертикальные смещения любой точки поверхности покрытия в поперечном сечении и позволяет определить максимальную ширину, которую занимает одна колея.

Ключевые слова: колеестойкость, асфальтобетонное покрытие, остаточные деформации, функция релаксации

Annotation. The article describes a method of determining the total depth gauge, which depend on the accumulation of residual strain in the coating layers of pavement and roadbed.

As part of the problem of increasing the durability of asphalt pavement non rigid pavements one of the most important tasks of preserving equality believe coverage at the time. Analysis of the asphalt pavement shows that the rutting dangerous depths ranging from 20 to 35% of all causes reduction of transport and operational quality roads. Therefore prevent rutting is an extremely important task faced by scientists-road. A major shortcoming of Ukrainian regulations for the design of pavement are no sections of forecasting of the pavement during its service.

As a method of calculating stability rutting taken into account: the load, the speed of the load, calculated characteristics of each of the layers and their thickness, the amount of applied loads. The possibility of formation uplift asphalt with the track.

The results of calculation article track to predict the depth gauge based on the accumulation of permanent deformation in all layers of the pavement.

The technique allows to predict the vertical displacement of any point of the surface coating in cross section and determine the maximum width occupied by one rut.

Keywords: stability rutting, asphalt pavement, residual deformation, function of relaxation

Вступ

В рамках проблеми підвищення довговічності асфальтобетонного покриття нежорстких дорожніх одягів однією з найважливіших задач вважають збереження рівності покриття у часі. Аналіз дослідження стану асфальтобетонного покриття показує, що утворення колії небезпечної глибини складає від 20 до 35 % всіх причин зниження транспортно-експлуатаційної якості автомобільних доріг. Тому попередження утворення колії є надзвичайно важливою задачею, яка постає перед науковцями-дорожниками.

Основна частина

Істотним недоліком українських нормативних документів з проектування дорожнього одягу, зокрема ВБН В.2.3-218-186-2004 [1], є відсутність розділів з прогнозування стану дорожнього одягу в процесі її служби. Кінець розрахункового терміну служби ніяк не пов'язується з обсягом руйнувань. Простіше кажучи, невідомо, яка буде середня глибина колії. Тому в даній статті

зроблена спроба змодельовати накопичення пластичних деформацій в конструкції дорожнього одягу, які проявляються у вигляді колії на асфальтобетонному покритті.

Основною характеристикою колії є її глибина, залишкова деформація конструкції дорожнього одягу ω_k . На основі проведеного літературного аналізу, загальна глибина колії буде залежати від накопичення залишкових деформацій в покритті, шарах дорожнього одягу та земляному полотні. Крім того, в загальну глибину колії може бути включена середня висота випорів, які утворюються з правої та лівої сторін по відношенню до осі проходження колеса автомобіля. На основі вище викладеного можна записати:

$$\omega_e(t, T(t)) = \omega_r + \omega_\Delta + \omega_{a/d}(t, T(t)) + \omega_{o/a}(t) + \omega_{o/6\text{e}\ddot{o}}(t) + \omega_{q\Gamma}(t) + \omega_{\ddot{a}} \leq [\omega_r], \quad (1)$$

де ω_r – знос покриття від шипованих шин у відповідності з рис. 1 [2];

ω_Δ – пластичні деформації (глибина колії) внаслідок доущільнення шарів нежорсткого дорожнього одягу, і становить 2 мм для I, II категорій автомобільної дороги та 3 мм для III, IV, V категорій автомобільної дороги;

$\omega_{a/b}(t, T(t))$ – пластичні деформації (глибина колії) в асфальтобетонних та чорно-щебених шарах, які містять органічне в'язуче;

$\omega_{u/d}(t)$ – пластичні деформації (глибина колії) в шарах дорожнього одягу з дискретних матеріалів;

$\omega_{u/ykp}(t)$ – пластичні деформації (глибина колії) в шарах дорожнього одягу з матеріалів, укріплених неорганічним в'язучим;

$\omega_{z/n}(t)$ – пластичні деформації (глибина колії) в земляному полотні;

ω_e – середня висота випорів колії;

$[\omega_n]$ – гранично допустима глибина колії (табл.1).

Рекомендується у зв'язку з небезпекою утворення глибокої колії встановити обмеження для дорожніх покриттів по параметру допустимої глибини колії, що наведено в таблиці 1 у відповідності з Р В.2.3-218-21476215-795:2011 [3]. Ділянки доріг з глибиною колії більше гранично допустимих значень відносяться до небезпечних для руху автомобілів і вимагають негайного проведення робіт по усуненню колії та підсиленню конструкції.

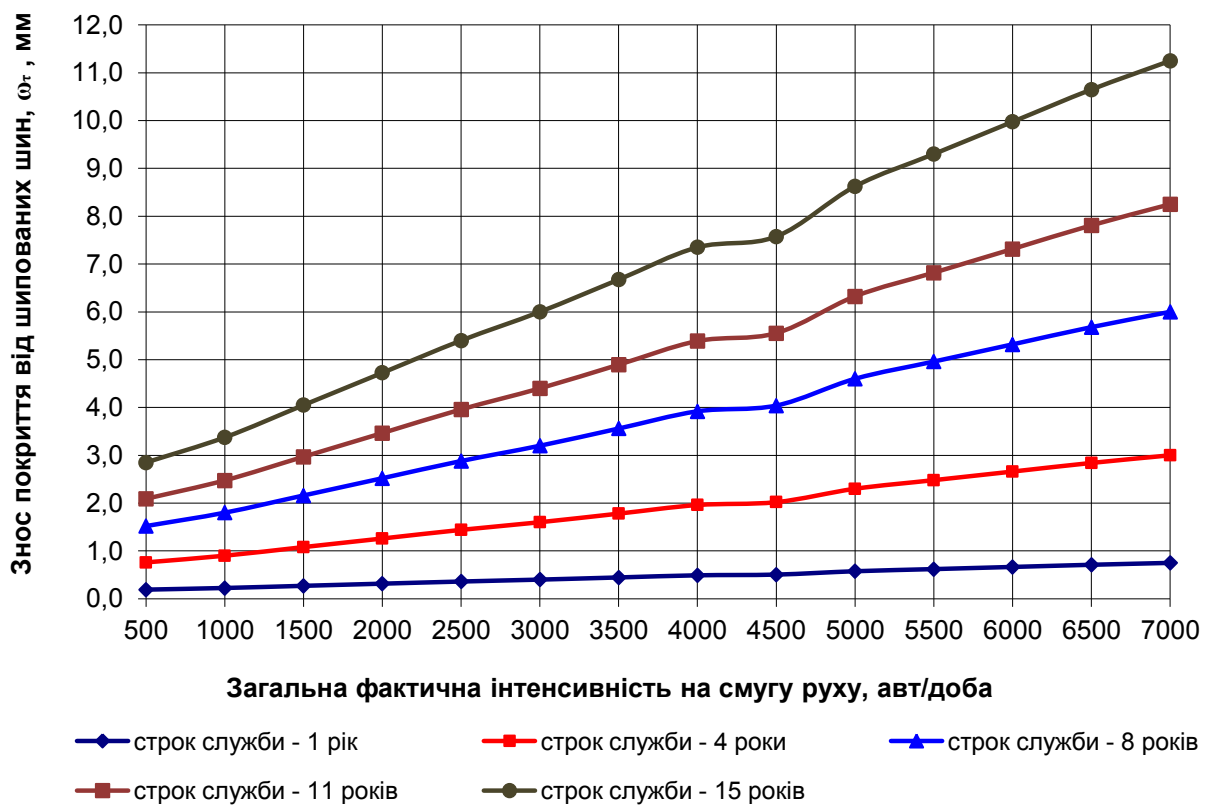


Рисунок 1 – Знос асфальтобетонного покриття від шипованих шин [2]

Розрахункова схема для визначення залишкових деформацій конструкції дорожнього одягу наведена на рис.2.

Таблиця 1 – Допустима глибина колії, ω_n , згідно з Р В.2.3-218-21476215-795:2011 [3]

Шифр району	Глибина колії на різних категоріях дороги, мм/ розрахункова швидкість руху, км/год			
	I/>120	II/100	III/80	IV-V/60
A-1; A-2	5/20	12/27	20/35	27/45
A-3; A-4	5/20	12/27	20/35	27/45
A-5; A-6	10/25	15/30	25/40	30/50
A-7	10/25	15/30	25/40	30/50

Примітка: Вимоги до глибини колії у чисельнику допустима колія, у знаменнику гранично допустима глибина колії

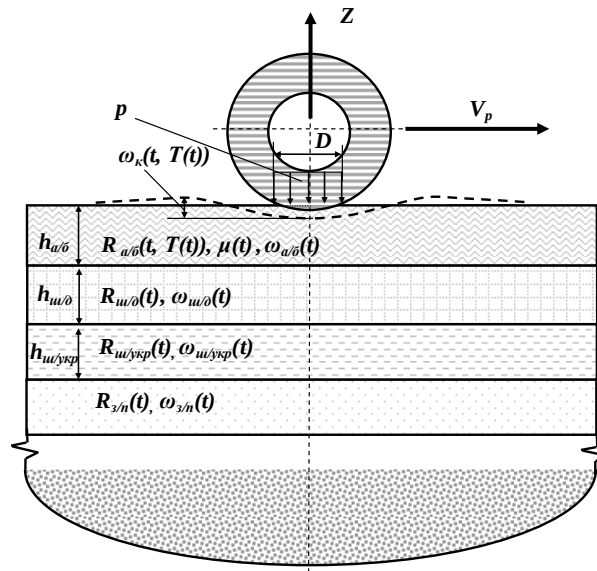


Рисунок 2 - Розрахункова схема нежорсткого дорожнього одягу з урахуванням укріплення основи: p - на поверхні якої прикладений рівномірний нормальний тиск, розподілений на площі круга діаметром D ; V_p - швидкість транспортного засобу 0-60 (80) км/год; $\mu(t)$ - коефіцієнт Пуассона, який залежить від часу дії навантаження; $T(t)$ - температура, яка залежить від часу, $R_{a/b}(t, T(t))$, $R_{ш/д}(t)$, $R_{ш/укр}(t)$, $R_{з/п}(t)$ - функція релаксації відповідно асфальтобетону, дискретного шару, укріпленого шару та земляного полотна; $h_{a/b}$, $h_{ш/д}$, $h_{ш/укр}$ - товщина шарів конструкції відповідно асфальтобетонного, дискретного шару, укріпленого шару; $\omega_k(t, T(t))$ - залишкова деформація.

Для моделювання накопичення пластичних (залишкових) деформацій в шарах дорожнього одягу, які містять органічне в'язуче скористаємося наступною залежністю [4]:

$$\omega_{a/b}(t) = T \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{i, \bar{n}\bar{d}}^2 \cdot (1 - \mu^2(t)) \cdot h \cdot \lg n}{R_{a/b}(t, T(t)) \cdot R_{i, \bar{n}\bar{d}} \cdot \lg N} \cdot (e^{\frac{D}{V \cdot t_p}} - 1), \quad (2)$$

де $\sigma_{i, cp}$ - середнє напруження в пакеті з шарів, які містять органічне в'язуче за i -тий місяць;

$\mu(t)$ - коефіцієнта Пуассона;

$h_{a/b}$ - товщина пакету з шарів, які містять органічне в'язуче;

T - строк служби дорожньої конструкції, роки;

$R_{a/b}(t, T(t))$ - функція релаксації асфальтобетону;

$R_{i, cp}$ - середнє значення міцності при стиску;

t_p - час релаксації;

V - швидкість транспортного потоку, приймається як середнє між швидкістю на початку експлуатації дорожньої конструкції та в кінці строку її служби;

D – діаметр кругового сліду колеса розрахункового автомобіля;

n та N – інтенсивність руху розрахункових автомобілів на полосу руху відповідно в місяць і за строк служби;

i – число місяців в році з характерною середньою температурою.

Залежність (2) дозволяє врахувати число і час навантажень, прикладених до пружньо-в'язко-пластичного напівпростору в умовах опору боковому розширенню.

$$\sigma_{i,cp} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D^2} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 + 1,85 \cdot \left(\frac{h_e}{D} \right)^2} \right), \quad (3)$$

де h_e – еквівалентна товщина шару;

P – навантаження від колеса за ВБН В.2.3-218-186-2004 «Нежорсткий дорожній одяг».

Середню швидкість транспортного потоку можна визначити за методикою проф. Васільєва О.П., використовуючи залежність [5]:

$$V_{cp} = V_p \cdot K_{pc} - t \cdot v_{от} - \alpha \cdot \beta \cdot N_r, \quad (4)$$

де V_p – розрахункова швидкість руху автомобіля;

K_{pc} – значення експлуатаційного коефіцієнту забезпеченості розрахункової швидкості на певній ділянці дороги;

t – гарантійний коефіцієнт довірчої імовірності при 85 %-вій забезпеченості;

$v_{от}$ – середньо квадратичне відхилення швидкості вільного транспортного потоку;

α – коефіцієнт впливу інтенсивності руху;

β – частка вантажних автомобілів та автобусів, які рухаються по полосі;

N_r – годинна інтенсивність руху.

Розрахункове значення функції релаксації асфальтобетонів в залежності від часу дії навантаження розрахункового автомобіля визначається за формулою[6]:

$$R_{a/d}(t, \dot{O}(t)) = R_\infty + (R_0 - R_\infty) \cdot \left(1 + \frac{t}{\tau_0} \right)^{-m}, \quad (5)$$

де $R_{a/b}(t, T(t))$ – функція релаксації асфальтобетону;

R_0, R_∞ – відповідно миттєве та довготривале значення функції релаксації;

m, τ_0 – параметри апроксимації

Процес накопичення залишкових деформацій в шарах основи з дискретних матеріалів або цих же матеріалів, укріплених неорганічними в'язучими може бути ув'язаний з їх функцією релаксації і товщиною, що знайшло своє підтвердження в роботах [7, 8]:

$$\omega_{a/b}(t) = \omega_{c/i}(t) \cdot \left[\frac{R_{a/b}(t)}{R_{c/i}(t)} \right]^{(0,657 \ln(h_{a/b}) - 0,296)}, \quad (6)$$

де $h_{ш/д}$ – товщина шару з дискретного матеріалу, м;

$R_{ш/д}(t)$ – функція релаксації шару дорожнього одягу з дискретного матеріалу, МПа;

$R_{з/п}(t)$ – функція релаксації ґрунту земляного полотна, МПа;

$\omega_{з/п}(t)$ – накоплені пластичні деформації в ґрунті земляного полотна, мм;

$\omega_{ш/д}(t)$ – накоплені пластичні деформації в шарі з дискретного матеріалу, мм.

$$\omega_{a/b}(t) = \omega_{c/i}(t) \cdot \left[\frac{R_{a/b}(t)}{R_{c/i}(t)} \right]^{(0,894 \ln(h_{a/b}) + 0,732)}, \quad (7)$$

де $h_{ш/укр}$ – товщина шару з дискретного матеріалу, укріпленого неорганічним в'язучим, м;

$R_{ш/укр}(t)$ – функція релаксації шару дорожнього одягу з дискретного матеріалу, укріпленого цементом, МПа;

$R_e(t)$ – функція релаксації підстиляючого шару, МПа;

$\omega_{з/п}(t)$ – накоплені пластичні деформації в ґрунті земляного полотна, мм;

$\omega_{ш/укр}(t)$ – накоплені пластичні деформації в шарі з дискретного матеріалу, який укріплено неорганічним в'язучим, мм.

Якщо підстиляючим шаром є шар ґрунту, то $R_e(t)$ дорівнює $R_{з/п}(t)$.

Розрахункове значення функції релаксації дискретних матеріалів і ґрунтів земляного полотна при короточасному навантаженні визначається за залежністю[5]:

$$R_{\zeta/i}(t) = E_0 \left(1 + \frac{E_0}{E_\infty \hat{\alpha} \chi} \ln \frac{1 + \chi t}{1 + \alpha \chi t} \right)^{-1}, \quad (8)$$

де A_0, A_∞ – відповідно миттєве та довготривале значення модуля пружності;

α, χ – параметри апроксимації

Розрахункове значення α визначається за виразом:

$$\alpha = \exp \left[- \left(1 - \frac{E_\infty}{E_0} \hat{\alpha} \chi \right) \right], \quad (9)$$

Пластичні деформації в ґрунті земляного полотна можна розрахувати за формулою [9]:

$$\omega_{\zeta/i}(t) = \exp^{(15\tau+1,38B-3,0) \cdot (N \cdot t_0)^{0,3}}, \quad (10)$$

де τ – активні дотичні напруження зсуву в ґрунті земляного полотна;

B – коефіцієнт консистенції ґрунту, доля одиниці;

N – сумарна кількість прикладеного розрахункового навантаження;

t_0 – тривалість дії одного прикладення автомобільного навантаження.

Для визначення максимального активного напруження зсуву в ґрунті на поверхні земляного полотна використовуємо формулу за ВБН В.2.3-218-186-2004 [1].

Для оцінки висоти випорів була розроблена наступна схема, основана на порівнянні об'ємів матеріалу, заключеного в випорах та загального обсягу, вижатого матеріалу з шарів дорожнього одягу в яких міститься органічне в'язуче. Обсяг вижатого матеріалу з шарів дорожнього одягу в яких міститься органічне в'язуче визначається як різниця між об'ємом залишкової деформації накопиченої в шарах дорожнього одягу які містять органічне в'язуче, з одного боку, та сумарним об'ємом залишкової деформації шарів основи (без

врахування шарів, які містять органічне в'язуче) і ґрунту земляного полотна, з іншого. Таким чином висоту випорів визначаємо за наступною залежністю:

$$\omega_a = \frac{\omega_{\dot{a}/\dot{a}}(t(T(t)) - (\omega_r + \omega_{\theta/\dot{a}}(t) + \omega_{\theta/\dot{\theta}\dot{e}\dot{\theta}}(t) + \omega_{\zeta/\dot{i}}(t) + \omega_{\Delta}))}{2}. \quad (11)$$

Отримане від'ємне значення висоти випорів свідчить про їх відсутність.

Після сумування всіх часткових складових колії за формулою 1 отримуємо загальну глибину колії. Необхідно підкреслити, що ця глибина є максимальною і проходить по вертикальній осі через центр дії колеса в поперечному розрізі. Для визначення вертикальних зміщень будь-якої поверхні покриття, яка розташована на відстані r від осі діючих навантажень скористаємось формулою [10]:

$$\omega_r = \frac{\omega_k(t, T(t))}{1 + 0,67 \cdot \left(\frac{r}{R} \cdot \arctg \frac{D}{h_e}\right)}, \quad (12)$$

$\omega_k(t, T(t))$ – вертикальне зміщення будь-якої точки покриття, розташованої на відстані r , см;

r – відстань від осі діючого навантаження, см;

R – радіус кола рівновеликого відбитку колеса, см;

D – діаметр кола рівновеликого відбитку колеса, см;

h_e – товщина еквівалентного шару покриття, см.

Для визначення тангенсу кута нахилу дотичної до кривої ($tg\beta$), яка характеризується рівнянням 12 необхідно продиференціювати це рівняння по r :

$$\frac{d\omega_r}{dr} = tg\beta \quad (13)$$

Горизонтальна відстань r від осі колії до точки, в якій дотична до кривої нахилена під найбільшим кутом $\beta_{\max}$ визначається з рівняння:

$$\frac{d^2\omega_r}{dr^2} = 0 \quad (14)$$

Після підстановки в формулу 13 значення r , знайденого з рівняння 14, і проведення відповідних перетворень в роботі [9] отримано:

$$\operatorname{tg} \beta_{\max} \cong 1,06 \cdot \frac{\omega_k(t, T(t)) \cdot \operatorname{arctg} \frac{D}{h_a}}{D}. \quad (15)$$

Визначивши тангенс кута нахилу дотичної до кривої ($\operatorname{tg} \beta$) знаходимо відстані r_1 та r_2 (рис. 2), які разом з глибиною колії слугують вихідними даними для визначення всіх точок колії в поперечному перерізі:

$$r_1 = \frac{\omega_{\text{ш}}}{\operatorname{tg} \beta_{\max}}, \quad (16)$$

де $\omega_{\text{ш}}$ – глибина колії утворена за рахунок всіх шарів дорожнього одягу без включення висоти випорів ($\omega_{\text{ш}} = \omega_{\tau} + \omega_{\Delta} + \omega_{a/6}(tT(t)) + \omega_{\text{ш}/\partial}(t) + \omega_{\text{ш}/\text{укр}}(t) + \omega_{3/n}$);

r_1 – горизонтальна відстань від осі діючого навантаження до точки перетину колії з початковою поверхнею покриття.

$$r_2 = \frac{\omega_a}{\operatorname{tg} \beta_{\max}}, \quad (17)$$

де ω_a – середня висота випорів (лівого та правого);

r_2 – горизонтальна відстань від осі лівого чи правого випору до точки перетину колії з початковою поверхнею покриття.

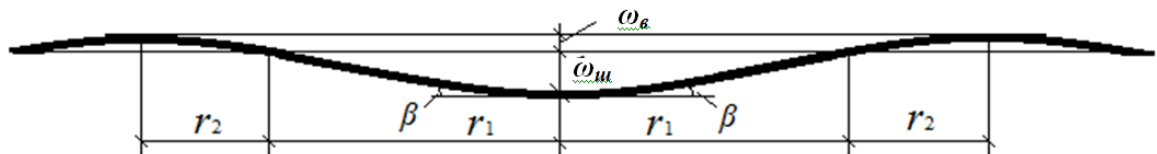


Рисунок 3 - Поперечний переріз колії з зазначенням всіх її геометричних параметрів

Максимальна ширина, яка зайнята однією колією визначається за формулою:

$$B_{\max} = 4 \cdot r_2 + 2 \cdot r_1 \quad (18)$$

Висновок

Дана методика розрахунку колії дає можливість спрогнозувати її глибину з врахуванням накопичення залишкової деформації у всіх шарах дорожнього одягу нежорсткого типу. Аналізується можливість утворення випорів разом з колією. В методиці розрахунку враховується: величина навантаження, швидкість дії навантаження, розрахункові характеристики кожного з шарів і їх товщина, кількість прикладених навантажень. Крім того, дана методика дозволяє спрогнозувати вертикальні зміщення будь-якої точки поверхні покриття в поперечному перерізі і дозволяє визначити максимальну ширину, яку займає одна колія.

Література

1. ВБН В.2.3-218-186-2004. Дорожній одяг нежорсткого типу. Відомчі будівельні норми України. Київ: Державна служба автомобільних доріг України «Укравтодор», 2004. – 71 с.
2. Рекомендации по выявлению и устранению колеи на нежестких дорожных одеждах (утверждены распоряжением Росавтодора № ОС-556-р от 24.06.2002 г). М.:2002, -179с.
3. Р В.2.3-218-21476215-795:2011 Рекомендації щодо підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття
4. Смирнов А.В., Малышев А.А., Агалаков Ю.А. Механика устойчивости и разрушений дорожных конструкций. Изд-во СиБАДИ, Омск, 1997, 92 с.
5. Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог: в 2 т. – Т. 1 / ученик для студ. высш. учеб. заведений / А.П. Васильев. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 320 с.
6. Радовский Б.С. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей / Б.С. Радовский, А.С. Супрун, И.И. Козаков. – Киев: Будівельник, 1989. – 166 с.
7. Мевлидинов З.А. Обоснование основных показателей, учитывающих влияние остаточных деформаций при расчете дорожных одежд нежесткого типа: Дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей» / Мевлидинов З.А. – Москва, 1997. – 192 с.
8. Лугов С.В. Основные положения методики расчета глубины колеи на дорожных одеждах с асфальтобетонным покрытием: автореф. дис. на получение науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей» / Лугов С.В. – Москва, 2004. – 25 с.
9. Сиденко В.М., Михович С.Г. Эксплуатация автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1976. – 228 с.
10. Проектирование дорожных одежд / [Иванов Н.Н., Зацепин А.Н., Корсунский М.Б. и др.]. – М.: Автотрансиздат, 1955. – 250 с.

Процюк В.О.

АНАЛІЗ І УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЦІЛІСНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ У ВЕСНЯНИЙ ПЕРІОД

Анотація. В статті проаналізовані основні фактори, що впливають на руйнування конструкції дорожнього одягу в різні періоди експлуатації автомобільної дороги. Зроблений аналіз існуючих методів щодо запобігання несприятливих факторів та збереження конструкції автомобільної дороги. За результатами теоретичних розрахунків розроблена номограма визначення допустимої інтенсивності руху в період весняного відтавання ґрунтів земляного полотна.

Ключові слова: автомобільна дорога, конструкція дорожнього одягу, вологість, важковаговий транспортний засіб, інтенсивність.

Аннотация. В статье проанализированные основные факторы, влияющие на разрушение конструкции дорожной одежды в разные сроки эксплуатации автомобильных дорог. Сделан анализ существующих методов по предотвращению неблагоприятных факторов и сохранения конструкции автомобильной дороги. По результатам теоретических расчетов разработана номограмма определения допустимой интенсивности движения в период весеннего оттаивания грунтов земляного полотна.

Ключевые слова: автомобильная дорога, конструкция дорожной одежды, влажность, тяжеловесный транспортное средство, интенсивность.

Annotation. The article analyzes the main factors influencing the destruction of pavement structures at different periods of the road exploitation. The analysis of existing methods to prevent of unfavorable factors and saving road structures. According to theoretical calculations was developed nomogram determination of permissible traffic during the spring thawing soil subgrade.

Keywords: highway, pavement structure, moisture, overweight vehicle, intensity.

Постановка проблеми. Збереження конструкції дорожнього одягу і земляного полотна автомобільної дороги забезпечує необхідні її техніко-економічні характеристики.

Серед цих характеристик найважливішими, з точки зору для споживача, являються:

- безперебійний рух транспортних засобів протягом всього року;
- міцність дорожнього одягу;
- показник рівності (подовжня і поперечна) покриття;
- шорсткість і зчіпні якості покриття.

Недотримання вимог належної експлуатації автомобільної дороги призводить до передчасного руйнування дорожнього одягу і зменшення термінів його експлуатації.

Процесам збереженню конструкції дорожнього одягу і продовження терміну експлуатації присвячені наукові роботи Апестіна, Біруля, Васильєва, Гамеляка, Міховича, Павлюка, Сіденка та багато інших авторів.

Проаналізувавши процес експлуатації та утримання автомобільної дороги протягом терміну служби, було встановлено, що найбільш негативний вплив на конструкції дорожнього одягу спричиняють такі фактори як:

- 1) рух важковагових транспортних засобів;
- 2) кліматичні умови місцевості;
- 3) ґрунтово-гідрологічні умови експлуатації земляного полотна.

Якщо негативну дію спричинену кліматичними умовами місцевості ми не можемо попередити або з нею боротися, то зменшення негативної дії від несприятливих ґрунтово-гідрологічних умов потребує значних капіталовкладень, необхідних для влаштування дренажних систем або перебудови конструкції земляного полотна ділянки автомобільної дороги.

Дорожні експлуатаційні і проектні організації можуть лише зменшити негативну дію від транспортних засобів, що досягається за рахунок обмеження руху транспортних засобів, в яких навантаження на вісь перевищує граничне допустиме для даної конструкції дорожнього одягу, або повна заборона руху в несприятливий період експлуатації дороги.

Слід зазначити, що заборона руху важких транспортних засобів має також негативний фактор для населення, адже призводить до збільшення термінів доставки товарів і відповідно здороження товар для кінцевого

споживача. Хоча його можна запобігти, коли заздалегідь спланувати доставку товарів до початку обмеження руху, для цього необхідно визначити дату заборони руху. Тому постає проблема – **точно встановити початок і кінець обмеження руху важких транспортних засобів.**

Згідно з дослідженнями вчених [1, 2, 3], за несприятливий для територій України приймають періоди:

- період з високими температурами повітря, коли утворюються деформації покриття від важковагових транспортних засобів;
- період осіннього вологонакопичення ґрунтів земляного полотна відбувається за рахунок атмосферних опадів (спостерігається переважно на ділянках з третім типом за характером зволоження), що призводить до зниження міцнісних і деформаційних характеристик ґрунтів і матеріалів шарів основи дорожнього одягу;
- період весняного вологонакопичення ґрунтів земляного полотна відбувається за рахунок відтавання ґрунтів земляного полотна і атмосферних опадів, що може призводити навіть до пучення дорожнього одягу. (спостерігається в У-I і У-II дорожно-кліматичних зонах). Цей період являється найбільш несприятливим для збереження автомобільної дороги, так як вологість ґрунтів може перевищувати значення максимальної вологості [2, 3], що призводить до суттєвого зниження модуля пружності, питомого зчеплення і кута внутрішнього тертя [2] ґрунтів земляного полотна.

Аналіз останніх досліджень. Для запобігання передчасному руйнування ділянок з недостатньою міцністю дорожнього одягу у весняний період проводять комплекс технічних і адміністративних заходів щодо обмеження руху важковагових транспортних засобів. До великовагових транспортних засобів (ТЗ) відносять будь-який ТЗ, осьові навантаження (або загальна вага) яких перевищують встановлені допустимі значення (нормативні), і спричиняють попереднє руйнування дорожніх конструкцій і зменшення їх міжремонтних термінів служби [4]. Рішення про тимчасове (сезонне) обмеження руху вантажних транспортних засобів із зазначенням терміну дії обмеження, допустимого осьового навантаження і регламенту організації руху в цей період приймається Державним агентством автомобільних доріг України та органами місцевого самоврядування [5, 6].

Однак, досі відсутні науково-обґрунтовані рекомендації щодо встановлення термінів та величини обмеження транспортного навантаження у весняний період, що призводить до неоднозначного закриття в один і той же час мережі державних, національних і регіональних доріг без урахування різних кліматичних умов регіону та фактичного стану окремо взятих ділянок доріг. В результаті, в момент офіційного введення обмежень, або дорогам вже завдано серйозної шкоди, або невиправдано раннє закриття призводить до незручностей і незапланованим збитків автомобілістів.

В Україні практика тимчасового обмеження руху великовагових ТЗ регламентується наказом Державної агенції автомобільних доріг на основі оцінки транспортно-експлуатаційних показників дорожнього одягу. Алгоритм введення обмежень руху наступний.

1. Відповідно до СОУ 45.2-00018112-042:2009 [1] для кожної області України встановлені початок та тривалість розрахункового періоду року.

2. В розрахунковий період на кожній характерній ділянці проводять не менше ніж на трьох поперечних на кілометрі визначення модуля пружності дорожнього одягу.

3. Зведеним показником відповідності модуля пружності вимогам існуючого руху є коефіцієнт запасу міцності $K_{мц}$:

$$K_{мц} = E_{\phi} / E_n, \quad (1)$$

де E_{ϕ} – фактичний модуль пружності дорожнього одягу отриманий при вимірюванні пружного прогину покриття;

E_n – мінімально допустимий модуль пружності дорожнього одягу який встановлюється в залежності від існуючої інтенсивності руху.

4. Відповідно до методики ОДН 218.1.052-2002 [7], встановлюємо допустиму інтенсивність і склад руху транспортних засобів, при виконанні умови (1). По методиці забираємо із складу транспортного потоку автомобілі із максимальним навантаженням на вісь.

5. Розраховуємо нормативний модуль пружності ДО без врахування даних ТЗ. За результатами розрахунків може встановити допустимий пропуск автомобілів на добу.

Недоліки даної практики тимчасового обмеження полягають у тому, що встановлюються директивні терміни обмеження руху – тобто середньостатистичні терміни, які визначені за багаторічними середньостатистичними кліматичними характеристиками [8].

Відповідно до пункту №3 вимірюють фактичний прогин конструкції дорожнього одягу і за цим критерієм встановлюють чи ділянка дороги має необхідну міцність чи ні. Але при цьому не враховуються міцнісні характеристики підстильних ґрунтів. Навіть на ділянках із задовільними прогинами, де конструкція дорожнього одягу капітального типу, виникають пластичні деформації через зниження міцнісних характеристик ґрунтів [9].

Для точнішого встановлення початку періоду обмеження руху необхідно доповнити дану методику значеннями вологості ґрунтів земляного полотна і розрахунками коефіцієнтів запасу міцності конструкції за критерієм зсуву у підстильних ґрунтах і у шарах із малозв'язних матеріалів.

Відповідно до [1] визначення вологості в контрольних точках рекомендують проводити протягом всього періоду весняного бездоріжжя через 3-5 днів. Проте визначення вологості на контрольних точках являється недостатнім для встановлення сумарної вологості. Адже, як показують результати дослідження [9], вологість підстильного ґрунту значно міняється навіть на коротких ділянках. Тому, для удосконалення методики пропонуємо, паралельно із стандартними методами визначення вологості під час діагностики, проводити оцінку вологості земляного полотна із застосуванням георадарного обладнання користуючись методичними вказівками [10].

На ділянках, де $E_{\phi} < E_n$ розроблені номограми (рис. 1) для встановлення сумарної добової інтенсивності руху важких транспортних засобів. Номограма розрахована для доріг загального користування Іа, Іб, ІІ, ІІІ, ІV технічних категорій із підстильним ґрунтом – супіском піщаним. При вологості більше 0,8 W_{gp} необхідно однозначно забороняти рух важких ТЗ.

Обмеження руху необхідно знімати, коли $E_{\phi} > E_n$.

Порядок розрахунку по номограмі. Крок №1. На верхній горизонтальній осі номограми відкладаємо значення еквівалентного модуля пружності конструкції $E_{екв.}$:

$$E_{екв.} = \sum_{i=1}^n E_i \cdot h_i, \quad (2)$$

де E_i – модуль пружності i -го шару дорожнього одягу;

h_i – товщина i -го шару дорожнього одягу;

n – кількість шарів конструкції.

Крок №2. З горизонтальної осі вертикально прокладаємо проекцію на криву, що відображає вологість підстильного ґрунту.

Крок №3. В точці пересічення горизонтально прокладаємо проекцію на криву необхідного нам коефіцієнту міцності за пружним прогином.

Крок №4. В точці пересічення відкладаємо проекцію на нижню горизонтальну вісь і способом інтерполяцію визначаємо максимальну добову інтенсивність руху приведену до автомобіля з розрахунковим навантаженням.

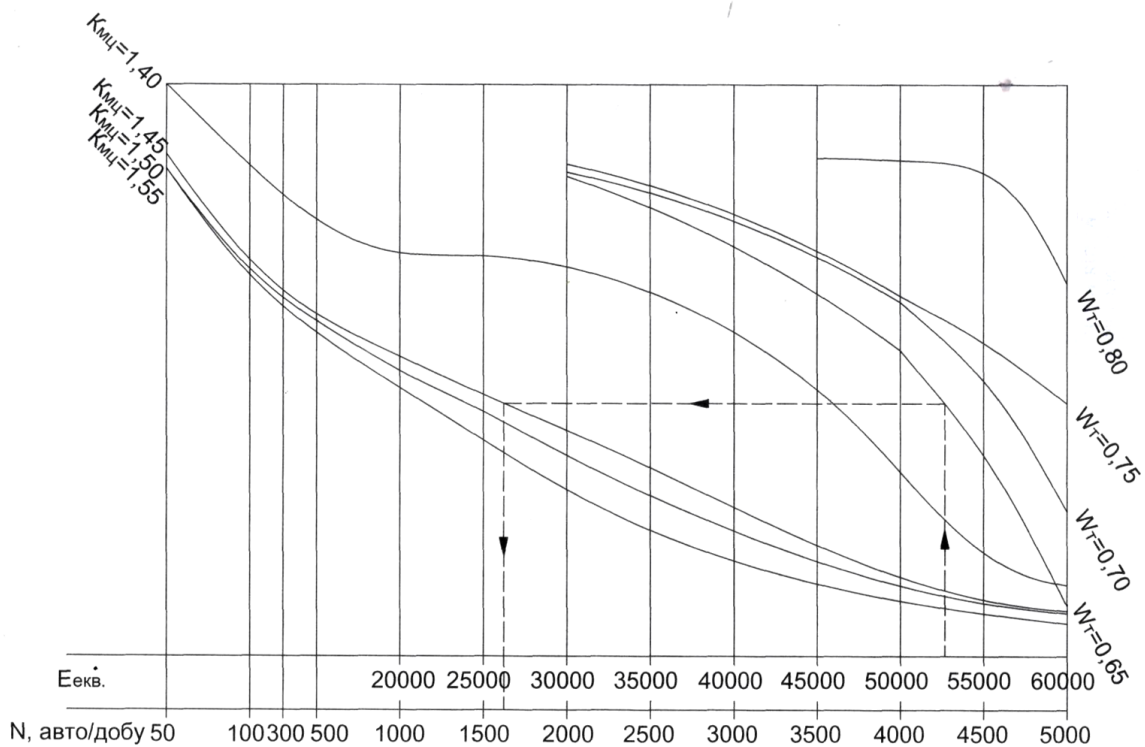


Рисунок 1 – Номограма для розрахунку допустимої інтенсивності

Висновки

Моніторинг автомобільних доріг в період відтавання ґрунтів земляного полотна повинен передбачати вимірювання пружного прогину покриття і оцінку вологості ґрунту по всій довжині ділянки. Використання георадарних технологій при моніторингу автомобільних доріг, в порівнянні із традиційними методами, дозволяє оцінювати вологість підстильних ґрунтів в безперервному режимі по всій ділянці автомобільної дороги і встановлювати геометричні

характеристики конструкції дорожнього одягу. При цьому, необхідно зробити лише один керн для калібрування налаштувань георадару. Це значно скорочує час на діагностику дорожнього одягу.

В залежності від капітальності конструкції дорожнього одягу і необхідного коефіцієнту запасу міцності, по запропонованій номограмі для існуючої вологості ґрунту можемо встановити допустиму добову інтенсивність руху транспортних засобів. При цьому, в залежності від зміни вологості – розраховуємо «нову» інтенсивність.

Завдяки заходам щодо тимчасового обмеження руху важковагових транспортних засобів і встановленню чітких термінів ослаблення конструкції у весняний період, є можливість попередити процеси передчасного руйнування конструкції і підтримання допустимих транспортно-експлуатаційних характеристик автомобільної дороги.

Література

1. Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх одягів : СОУ 45.2-00018112-042:2009. – Офіц. вид. – К.: Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2009. – 32 с. – (Стандарт Укравтодору).
2. Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог. Учебник для студентов вузов по специальности «Автомобильные дороги» / В.М. Сиденко, С.И. Михович. – М.: Транспорт, 1976. – 288 с.
3. Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог: в 2 т. – Т. 1: учебник для студ. высш. учеб. заведений / А.П. Васильев. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 320 с.
4. Апестин В.К. Сохранность нежестких дорожных одежд в весенний период / В.К. Апестин // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2009. – Вып. 4. – С. 28-30.
5. Про автомобільні дороги : закон України : офіц. текст станом на 8 вересня 2005 р. – К.: Парламентське вид-во, 2005 р.
6. Про дорожній рух : закон України : офіц. текст станом на 30 червня 1993р. – К.: Парламентське вид-во, 2005 р.
7. Оценка прочности нежестких дорожных одежд : ОДН 218.1.052-2002. – М. : Министерство транспорта Российской Федерации. Государственная служба дорожного хозяйства России (РОСАВТОДОР), 2002. – 95 с. – (Отраслевые дорожные нормы).
8. Стандарт организации. Руководство по определению оптимальных сроков ограничения осевых нагрузок на региональных или межмуниципальных дорогах Хабаровского края : СТО 03-2012. – Хабаровск:, 2012. – 23 с.
9. Кулижников А.М. Георадары в дорожном строительстве / А.М. Кулижников, М.Л. Шабашева // Автомобильные дороги: Обзорная информация. М. –: Информавтодор, 2000, 51 с.
10. Методические рекомендации по применению георадаров при обследовании дорожных конструкций. Министерство транспорта Российской Федерации. Государственная служба дорожного хозяйства Российской Федерации (РОСАВТОДОР). – М.: – 2003. – 37 с.

РУХ ЗЕРЕН БІЛЬШОЇ ФРАКЦІЇ ЩЕБЕНЮ СУХОЇ СУМІШІ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНИХ КОЛИВАННЯХ

Анотація. Представлено порівняння фракції гранулометричного складу сит з круглими та квадратними отворами; розглянуто рух більшої фракції зерен щебеню при вертикальних коливаннях в суміші .

Ключові слова. Литя емульсійно-мінеральна суміш, гранулометричний склад, вертикальні коливання, сегрегація, кам'яний матеріал, тонкошарове покриття.

Аннотация. Представлено сравнение фракции гранулометрического состава сит с круглыми и квадратными отверстиями; рассмотрено движение большей фракции зерен щебня при вертикальных колебаниях в смеси.

Ключевые слова. Литая эмульсионно-минеральная смесь, гранулометрический состав, вертикальные колебания, сегрегация, каменный материал, тонкослойное покрытие.

Abstract. The article describes the comparison of grain size fractions sieves with round and square holes; considered movement greater fraction of grains of gravel in vertical vibrations in the mixture.

Keywords. Cast emulsion-mineral mixture, grain size, vertical oscillations, segregation, stone material, thin-layer coating.

Вступ

На теперішній час з недостатнім фінансуванням коштів в Україні проводяться переважно роботи з ремонту та утриманню автомобільних доріг. Вибір методу ремонту є комплексною проблемою, рішення якої досягається на різних стадіях проектування конструкції або матеріалу для будівництва та експлуатації покриття.

Як свідчить світова практика, влаштування тонкошарових покриттів з литих емульсійно-мінеральних сумішей (ЛЕМС) типу Сларрі Сіл (Slurry Seal) є одним із найекономічніших і найефективніших заходів. Цей матеріал покращує шорсткість, рівність, попереджує та запобігає руйнуванню дорожнього покриття, усуває дефекти поверхні, продовжуючи її термін служби.

Кам'яна суміш для ЛЕМС при транспортуванні піддається вертикальним і горизонтальним коливанням. Під дією вібрації з невеликою амплітудою менша фракція щебеню просіюється крізь більшу, в результаті чого нижня частина суміші буде складати більшу частку мілкішої фракції ніж верхня. Результатом сегрегації в даному випадку пояснюється тим, що зернова система намагається перейти в стан з найменшою потенційною енергією в поле земного тяжіння [1]. Для запобігання, або хоча б послаблення впливу сегрегації на структуру суміші, необхідно розуміти фізичну природу процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Запропоноване Радовським Б.С. сучасне наукове бачення теорії сегрегації сипучих матеріалів та практичні заходи по зменшенню її впливу на асфальтобенну суміш в цілому [1]. Також ним представлена оптимізація складу асфальтобетонної суміші за допомогою моделі безладної упаковки частинок [2]. Островерхий О.Г. розробив метод розрахунку ЛЕМС нежорсткого одягу за двома критеріями – вирівнювання основи та міцності на зсув, що дало можливість встановити характеристики напружено-деформованого стану тонкошарових покриттів [3].

Мета дослідження – детально провести порівняння мінеральної частини ЛЕМС за розсівом на ситах з круглими та квадратними отворами на переміщення зерен більшої фракції в суміші при вертикальних коливаннях.

Матеріали та методи розрахунків. Вихідними даними є використання відсоткового співвідношення кам'яного матеріалу відповідно до рекомендацій [4, 5].

Для порівняння використовують мінеральну частину ЛЕМС на ситах з круглими отворами [4, 5] (табл. 1), та на ситах з квадратними отворами (табл. 2) [4, 5].

Таблиця 1 – Гранулометричний склад мінеральної частини ЛЕМС за розсівом на ситах з круглими отворами.

Тип	Граничні розміри частинок	Вміст частинок менше даного розміру в мм, % по масі							
		10	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.14	0.071
I	0-5	100	100-90	90-65	70-45	50-30	30-18	21-10	10-5

Таблиця 2 – Гранулометричний склад мінеральної частини ЛЕМС за розсівом на ситах з квадратними отворами.

Тип	Граничні розміри частинок	Вміст частинок менше даного розміру в мм, % по масі								
		8	6	4	2	1	0.5	0.25	0.125	0.09
I	0-4	100	100-80	85-60	60-33	48-24	38-16	30-10	20-6	14-6

Проведено розрахунок окремими блоками між суміжними фракціями даного складу та їхнім відсотковим співвідношенням по масі, що дасть можливість приблизно оцінити, при яких співвідношеннях діаметру та маси більша фракція буде підійматися чи опускатися в суміші. Введемо наступні позначення, більша фракція зерна по діаметру «dБ», а менша фракція «dМ». Граничні значення по масі більшої фракції «mБ» і меншої маси «mМ». Також прийнято в розрахунок і те, що зерна більшої фракції розташовані по середині суміші (рис. 1 а), тому їх переміщення залежить від співвідношення(1):

$$k = (dБ/dМ)^2 \times (mБ/mМ), \quad (1)$$

k – коефіцієнт руху більшої фракції щебеню в блоці;

dБ, dМ - відповідно діаметр більшої і меншої фракції щебеню в блоці;

mБ, mМ – відповідно маса більшої і меншої фракції щебеню в блоці.

При $k \approx 1$ – більша фракція залишається в стані спокою (рис. 1 а), $k < 1$ – більша фракція буде опускатись (рис. 1 б) та $k > 1$ – більша підійматиметься вгору (рис. 1 в), [6].

Розрахунок проводився за двома випадками. Випадок №1: в розрахунок приймаємо лише максимальне та мінімальне граничне значення відсоткового співвідношення по масі суміжних фракцій блоку. Випадок №2 : розрахунок ведеться окремо по максимальним та окремо мінімальним граничним значенням суміжних фракцій блоку.

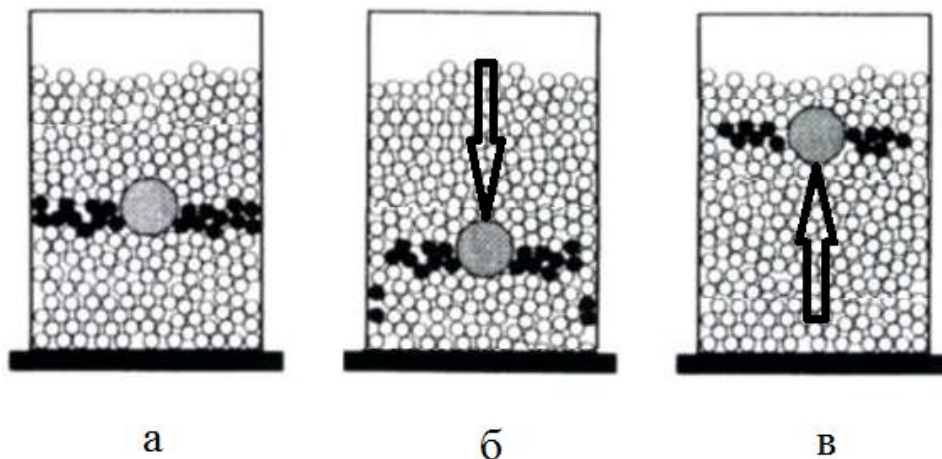


Рисунок 1 – Рух більшої фракції щебеню в блоці а - $k \approx 1$, б - $k < 1$, в - $k > 1$.

Результати за розсівом на ситах з круглими отворами (рис. 2) мають значну нестабільність руху більшої фракції щебеню при вертикальних коливаннях у випадку №1 (табл. 3) та для випадку №2 (табл. 4).

Таблиця 3 – Рух більшої фракцій в блоці для випадку №1

Тип	Граничні розміри частинок	Коефіцієнт руху	Розмір суміжних фракцій в блоці з круглими отворами, мм						
			10-5	5-2.5	2.5-1.25	1.25-0.63	0.63-0.315	0.315-0.14	0.14-0.071
I	0-5	κ_1	3.60	2.60	2	1.72	1.43	0.75	0.92

Таблиця 4 – Рух більшої фракцій в блоці для випадку №2

Тип	Граничні розміри частинок	Коефіцієнт руху	Розмір суміжних фракцій в блоці з круглими отворами, мм						
			10-5	5-2.5	2.5-1.25	1.25-0.63	0.63-0.315	0.315-0.14	0.14-0.071
I	0-5	κ_1	4	3.60	3.10	2.81	2.4	3.54	1.85
		κ_2	3.60	2.90	2.78	2.62	2.4	3,54	1,85

При розсіву на ситах з квадратними отворами суміш є більш стійкою (рис. 3) при вертикальних коливаннях у випадку №1(таб. 5) та для випадку №2 (таб.6).

Таблиця 5 – Рух більшої фракцій в блоці для випадку №1

Тип	Граничні розміри частинок	Коефіцієнт руху	Розмір суміжних фракцій в блоці з квадратними отворами, мм						
			8-6	6-4	4-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,125
I	0-4	κ_1	1,42	0,90	1,55	1,60	1,33	1,05	0,80

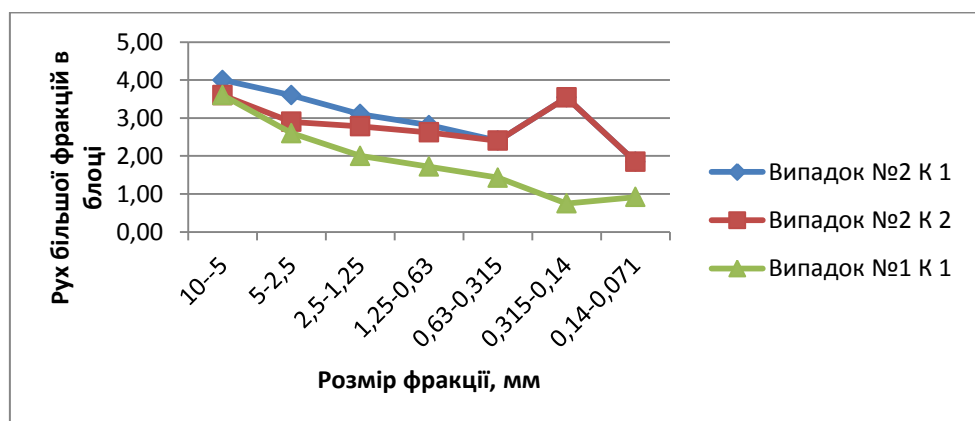


Рисунок 2 – Стан блоків суміжних фракцій на ситах з круглими отворами.

Таблиця 6 – Рух більшої фракцій в блоці для випадку №2

Тип	Граничні розміри частинок	Коефіцієнт руху	Розмір суміжних фракцій в блоці з квадратними отворами, мм						
			8-6	6-4	4-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,125
I	0-4	κ_1	1,77	1,91	2,81	3,20	3,17	3,15	2,67
		κ_2	1,42	1,63	2,20	2,92	2,67	2,5	2,4

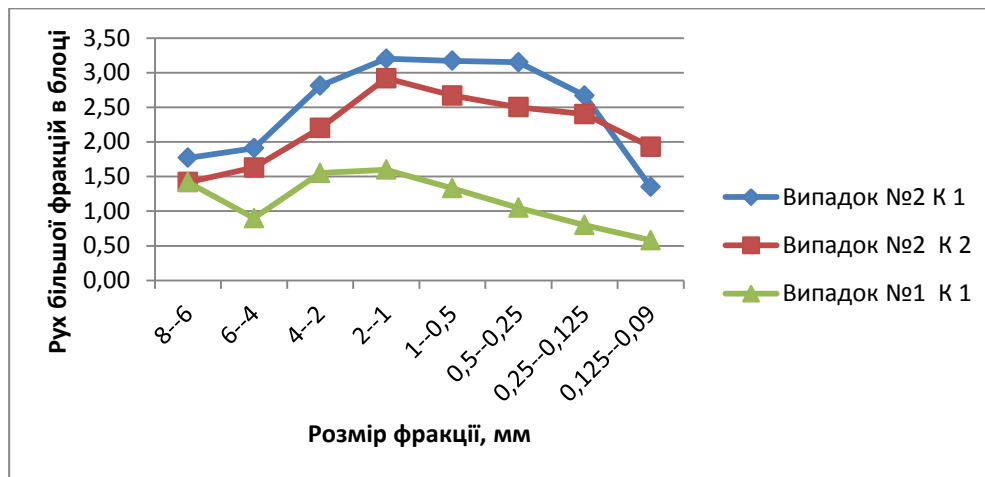


Рисунок 3 – Стан блоків суміжних фракцій на ситах з квадратними отворами.

Висновок

Представлений розрахунок руху зерен більшої фракції щебеню при вертикальних коливаннях дає можливість оцінити явища сегрегації при підборі гранулометричного складу мінеральної частини литої емульсійно-мінеральної суміші. Але залежність від частоти та амплітуди коливань, знаходження початкової висоти більшої фракції щебеню від дна посудини та тертя між частинками дає нам лише орієнтовні теоретичні значення. Сегрегація спостерігається навіть при невеликих розходженнях частинок в розмірі, формі, пружності, щільності та шорсткості.

Література

1. Радовський Б.С. Сегрегация асфальтобетонных смесей и методы борьбы с ней в США. Дорожная техника, 2007. – С. 26-40.
 2. Радовський Б.С. Проблемы механики дорожно-строительных материалов и дорожних одежд. –К.: ООО «Полиграф Консалтинг», 2003. – 240 с.
 3. Островерхий О.Г. Проектування тонкошарових емульсійно-мінеральних покриттів дорожніх одягів / автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.11 / О.Г. Островерхий / Нац. транспорт. ун-т. – К., 2002. – 16 с.
 4. ТУ У В.2.7-45.2-00018112-208-2002. «Суміші литі емульсійно-мінеральні та холодні асфальто- бетонні». – К.: Укравтодор, 2002.
 5. Тимчасові рекомендації по підборі компонентів, визначенню складів литих емульсійно-мінеральних сумішей (ЛЕМС) типу «Сларрі Сіл» та влаштуванню з них тонкошарових покриттів. – К.: Укравтодор, 2003.
- Hong D.C., P.V. Quinn, S Luding. Reverse Brazil Nut Problem: Competition between Percolation and Condensation. Physical Review Letters, Vol. 86 (2001), 3423-3426.

Толмачов С.М., д-р техн. наук.

ОСОБЛИВОСТІ ПІДБОРУ СКЛАДІВ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ І ТЕХНОЛОГІЇ УЛАШТУВАННЯ ЖОРСТКИХ ШАРІВ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ

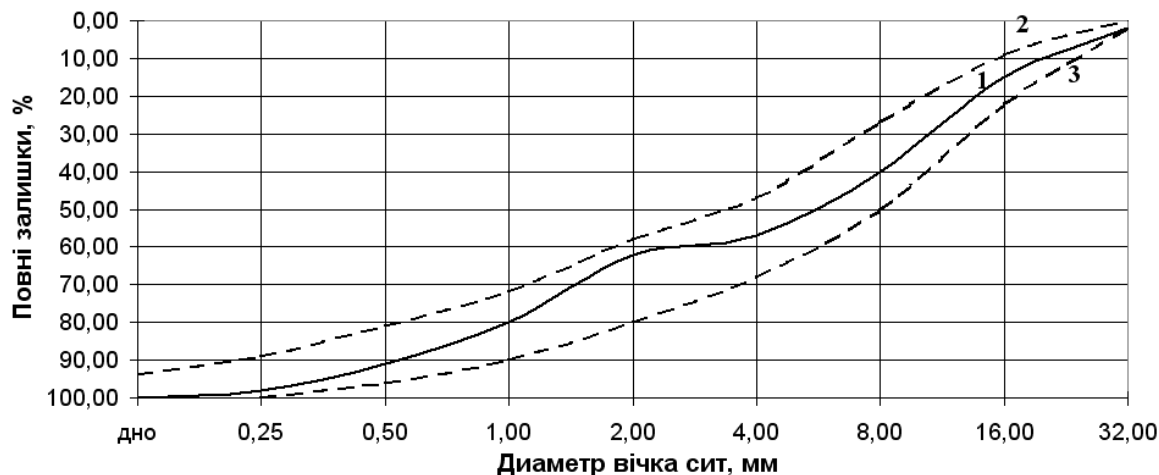
Основною метою всіх методик підбору складу цементного бетону є створення такої упаковки частинок заповнювача, яка приводить до максимальної для кожного конкретного випадку щільності бетону на всіх рівнях його структури, і зменшенню пористості. Це дозволить підвищити не тільки характеристики міцності бетону, але, в першу чергу, його довговічність в агресивних середовищах. Це особливо важливо для дорожнього бетону, який постійно працює в умовах одночасної дії механічних навантажень від транспорту, кліматичних факторів і рідких сольових середовищ. Особливу роль для підвищення щільності бетону відіграє співвідношення великого та дрібного заповнювача.

Традиційний підхід до підбору складу бетону, заснований на використанні вихідної формули БолOMEЯ-Скрамтаєва (1):

$$R_6 = AR_{\text{ц}} (Ц/В - 0,5). \quad (1)$$

Метод придатний в ідеальному випадку (кубовидний заповнювач без пилу, який вкладається в граничні криві). Цей метод можна застосовувати для сумішей з легкоукладальністю Ж1...Р1, але все одно вимагає експериментальної перевірки і подальшого коректування складу. Існуючі методики враховують коефіцієнти розсунення, різні емпіричні коефіцієнти і т.д., але в жодному разі не дають гарантії створення максимально щільної для даних заповнювачів структури. Практично всі методики розраховані на застосуванні однорідних заповнювачів, оскільки вони надходять з одних кар'єрів. За фактом кожна партія заповнювачів відрізняється від іншої, особливо по гранулометрії та вмістом тонких фракцій. Тому більшість методик не дозволяє отримати важкі бетони з високою середньою щільністю. Більш ефективна методика підбору

складів сумішей по кривих розсіювання всіх заповнювачів, наприклад, методика, що прийнята в Німеччині (рис. 1).



1) фактична крива повних залишків; 2), 3) нормативні криві

Рисунок 1 - Криві розсіювання при вдалому співвідношенні інертних заповнювачів

У ХНАДУ (ХАДІ) на кафедрі технології дорожньо-будівельних матеріалів (ТДБМ) нами була розроблена своя методика підбору складів бетонів, згідно з якою відношення масових частин кожної наступної фракції має бути 1:1, а відношення діаметрів частинок сусідніх фракцій 1:4...6. В цілому підбори складів по цим двом методиками збігаються. Але необхідно враховувати те, що майже в усіх методиках прийнято те, що форма зерен заповнювачів округла або кубовидна. Значить структура бетону розглядається як система з упакованих округлих або кубовидних частинок.

Насправді форма частинок заповнювача різноманітна, що вносить істотну поправку до складу бетонної суміші та бетону. Тому підбір реального складу бетонної суміші повинен спиратися на деякі загальні моменти, пов'язані з призначенням бетону і рухливістю бетонних сумішей. Більш, ніж 30-річний досвід роботи по підборам складів бетонних сумішей для будівництва шарів дорожніх і аеродромних одягів та науковий супровід будівництва в різних регіонах, дозволяє сформулювати деякі основні принципи технології та підбору складу бетонів транспортного призначення.

1. Бетони для дорожнього і аеродромного будівництва. Суміші укладаються в стаціонарних або пересувних опалубках за допомогою комплекту бетоноукладальних машин з легкоукладальністю Ж1...П1.

- максимальна крупність заповнювачів повинна бути не більше 16...20 мм;
- при підборі обов'язкове застосування двох фракцій щебеню;
- обов'язкове застосування пісків середньої крупності або пісків різної крупності, що забезпечують безперервну гранулометрію;
- у складі заповнювачів бажано наявність частинок розміром 0,16 мм і менше;
- обов'язкове застосування суперпластифікаторів і повітроутягуючих добавок, що забезпечують збереження проектних показників бетонної суміші протягом технологічного періоду;
- можливе застосування мінеральних добавок і фібри різного походження;
- суміш укладають на капіляропрериваючий шар або фільтруючий шар геотекстилю (залежно від гідрогеології району укладання та ін. факторів);
- при двошаровому бетонуванні металеві стрижні для армування поздовжнього і поперечних швів занурюють в нижній шар бетонного покриття;
- при одношаровому бетонуванні армуючі стрижні занурюють в середину шару покриття;
- при неможливості занурення армуючих стрижнів за допомогою бетоноукладача, їх встановлюють і закріплюють на основі окремо. Відстань між стрижнями повинна відповідати відстані між глибинними вібраторами;
- замість армуючих стрижнів можливе застосування арматурних сіток або каркасів за технологією безперервного армування;
- при бетонуванні за допомогою ковзної опалубки нанесення плівкоутворюючого складу для захисту від випаровування вологи роблять на верхню і бічні поверхні бетонного покриття, що укладається;
- догляд за бетоном за допомогою плівкоутворюючих матеріалів та інших технологічних прийомів рекомендується проводити не менше 7...10 діб;

Сьогодні покупку дорогих комплектів бетоноукладацьких машин можуть дозволити собі лише великі дорожньо-будівельні організації, які мають великі обсяги будівництва. Дрібні і середні організації не мають таких можливостей, але часто стикаються з необхідністю будівництва майданчиків або ділянок доріг із цементобетону. Хорошим виходом у цьому випадку є використання засобів малої механізації - глибинних вібраторів і віброрейок. У

80-х - початку 90-х років в організаціях «Агродорстрою» дорожні цементобетони ущільнювали саме такими механізмами. На кафедрі ТДБМ є багаторічний досвід підбору складів бетонів в тому числі на місцевих матеріалах: вапняках, шлаках, кварцитах, гравійних матеріалах і ін. Були розроблені технології укладання і ущільнення високорухомих бетонних сумішей практично для всіх дорожньо-кліматичних зон України з урахуванням їх ущільнення віброрейками і глибинними вібраторами. Ці особливості можна сформулювати наступним чином.

2. Бетони для дорожнього і аеродромного будівництва. Високорухомі і литі суміші, що транспортуються в автобетонозмішувачах, які укладаються в стаціонарні опалубки і ущільнюються за допомогою засобів малої механізації легкоукладальністю П2...П4.

- максимальна крупність заповнювачів повинна бути не більше 16...20 мм;

- рекомендується застосування двох фракцій щебеню, але при використанні відсіву дроблення гірських порід можливе застосування суміші фракцій щебеню 5-20 мм. Особливу увагу при цьому необхідно приділяти такому співвідношенню між заповнювачами, яке дозволяє забезпечити їх максимальну щільність.

- в суміші дрібного і великого заповнювачів має бути збільшено вміст піску в порівнянні з його вмістом в малорухомих бетонних сумішах;

- по модулю крупності піски, що використовуються можуть відноситись до категорії дуже дрібних, дрібних або середніх пісків з обов'язковим вмістом фракцій менше 0,16 мм;

- обов'язкове застосування суперпластифікаторів і повітроутягуючих добавок, що забезпечують збереження проектних показників бетонної суміші протягом технологічного періоду;

- рекомендується застосування мінеральних добавок і (або) фібри різного походження;

- суміш укладають на капіляропрериваючий шар;

- догляд за бетоном, що твердіє із застосуванням плівкоутворюючого матеріалу здійснюють не менше 10...14 діб.

У середині 80-х - початку 90 - х років у Криму при науковому супроводі будівництва сільських і внутрішньогосподарських доріг з цементобетонним

покриттям за допомогою засобів малої механізації співробітниками кафедри ТДБМ ХНАДУ були побудовані десятки кілометрів таких доріг з використанням місцевих матеріалів. За результатами цього будівництва нами спільно із ДерждорНДІ було видано низку нормативних документів, у тому числі і ДСТУ на цементобетонні суміші і цементобетони на вапнякових заповнювачах. Відповідно до цих рекомендацій в період до 2014 року були побудовані ділянки доріг в багатьох регіонах України. Розроблені склади та технології знайшли застосування при будівництві аеропортів у м. Донецьку, м. Львові, м. Харків.

Враховуючи те, що в дорожніх організаціях України сьогодні досить великий парк техніки для влаштування асфальтобетонних покриттів, нами була вдосконалена відома технологія будівництва покриттів і основ з цементного бетону, що ущільнюється методом укочування. Це досить швидкий і ефективний спосіб будівництва. Причому його перевагою є можливість улаштування не тільки основ під асфальтобетон, але і верхніх шарів покриттів. Це можуть бути покриття так званого перехідного типу, які через певний час перекривають асфальто- або цементобетоном. Міцність основ і таких покриттів залежно від складу і витрати цементу знаходиться в межах 5...20 МПа. Це можуть бути цементобетони для верхнього шару покриття міцністю до 50...60 МПа. Особливе значення має те, що при правильно підібраному складі бетону його морозосолестійкість перевищує цей показник для віброущільненого бетону на 1-2 марки. Передусім високі експлуатаційні характеристики бетонів, ущільнених укоченням пояснюються мінімальною витратою води у складі сумішей. Перевагою є і те, що напівсухі суміші можна транспортувати автосамоскидами (як показав наш досвід час транспортування до 1,5...2 годин), укладають асфальтоукладальниками і ущільнюють катками.

Досвід будівництва основ, ущільнених укочуванням з пісного бетону в Курській області показав, що максимальна крупність заповнювачів у складі суміші повинна бути збільшена до 40, а можливо і 80 мм. При правильному підборі складу суміші це дозволяє створити несучий каркас.

3. Бетони для дорожнього і аеродромного будівництва. Напівсухі суміші, транспортуються в автосамоскидах, що укладаються без опалубки і ущільнюються укочуванням з легкоукладальністю Ж2...Ж4.

- максимальна крупність заповнювача повинна бути збільшена до 40...80 мм;

- рекомендується застосування щебеню двох – трьох фракцій, можливе використання суміші фракцій 5-20 мм або 5-40 мм;
- вміст піску в напівсухих сумішах має бути збільшено у порівнянні з сумішами, що ущільнюються вібрацією;
- залежно від призначення бетону можливе застосування дуже дрібних, дрібних або середніх пісків в суміші з відсівами каменеподрібнення;
- вміст цементу у порівнянні з бетонами основ і покриттів, що ущільнюються вібрацією може бути зменшено від 1,2 до 2,0 разів;
- рекомендується застосування пластифікуючих добавок;
- залежно від призначення бетону можливе застосування мінеральних добавок;
- догляд за бетоном, що твердіє здійснюють не менше 1...3 діб.

В Україні склалася і діє досить широка мережа кар'єрів кам'яних матеріалів, в тому числі щебеню і піску. Крім того, існують кар'єри супутніх матеріалів, наприклад, шлакових і кварцитових щебеню і піску. Всі ці кар'єри випускають різну за якістю продукцію, яка вимагає класифікації та паспортизації. Вже давно стало звичкою у більшості виробників використовувати місцеві, часто некондиційні, заповнювачі, цементі непридатного складу для даного шару покриття або основи. Про хімічні або мінеральних добавках і говорити не доводиться - застосовують ті, які подешевше, часто на відповідають призначенню шару дорожнього одягу. Це приводить до того, що бетонні суміші, а значить і бетони, не відповідають необхідним показникам якості. Тому крім дотримання зазначених рекомендацій остаточне доведення складу бетонних сумішей необхідно проводити на будівельному об'єкті. Як показує практика, дуже часто потрібна корекція окремих технологічних параметрів, пов'язана не тільки зі змінами у складах бетонів, але й змінами кліматичних факторів, поточними зупинками та ін. Тому найважливішу роль при будівництві доріг і майданчиків, а, особливо, основ і покриттів в аеропортах, грає науковий супровід будівництва. Досвід нашої роботи показав, що найкращі результати дає спільна робота виробничої лабораторії, що здійснює поточний контроль якості матеріалів і технологій, і незалежної лабораторії, яка веде науковий супровід і вирішує постійно виникаючі нестандартні питання будівництва.

Усиченко О.Ю., канд.техн. наук, Харін П.Л.

ОГЛЯД ВИКОРИСТАННЯ ГЕОСИНТЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ TENSAR В ТРАНСПОРТНОМУ БУДІВНИЦТВІ

Анотація. Представлено огляд геосинтетичних матеріалів в транспортному будівництві, розглянуті різновиди геосинтетичних матеріалів основні фізико механічні властивості, технологія виробництва та їх сфери застосування.

Ключові слова: геосинтетичні матеріали, слабка основа, ефект армування, транспортне будівництво, жорстка тривісна георешітка, армогрунтова конструкція.

Аннотация. Представлен обзор геосинтетических материалов в транспортном строительстве, рассмотрены разновидности геосинтетических материалов основные физико-механические свойства, технология производства и их сферы применения.

Ключевые слова: геосинтетические материалы, слабая основа, эффект армирования, транспортное строительство, жесткая трехосная георешетка, армогрунтова конструкция.

Abstract. Presents an overview of geosynthetic materials in road building, considered varieties of geosynthetics basic physical and mechanical properties, production technology and their scope.

Keywords: geosynthetics, weak basis, the effect of reinforcement, transport construction, triaxial rigid geogrid, almogrote design.

Вступ

Територію України можна віднести до території яка характеризується складними інженерно-геологічними та гідрологічними умовами (надмірне зволоження, наявність слабких глинистих, заторфованих, просадних ґрунтів,

залягання близько до поверхні ґрунтових вод тощо). Більш того, багато регіонів країни відчувають дефіцит інертних матеріалів, які відповідають тим чи іншим характеристикам транспортного і промислово - цивільного будівництва. У зв'язку з цим вирішення завдань щодо поліпшення властивостей основ для різних будівель і споруд з мінімальним використанням привозних інертних матеріалів (щебінь, пісок, піщано-гравійна суміш тощо) є актуальним завданням. Крім того, в умовах щільної забудови (обмежені умови як в плані, так і по висоті), особливих вимог екології, високої вартості відчужуваних земель для зведення тих чи інших будівель і споруд необхідно вишукувати нові перспективні технології, які в певних умовах можуть виявитися найбільш доцільними, а в ряді випадків і єдино можливими. В даний час у зв'язку з появою на будівельному ринку геоматеріалів (геосинтетичних і геотехнічних матеріалів), перераховані вище завдання можуть бути успішно вирішені.

Сфери застосування

Геосинтетичні матеріали – це загальна термінологія для усіх видів синтетичних матеріалів, які включають у себе геотекстилі, геосітки, геомембрани, геокомпозити та георешітки, що використовуються в різних сферах будівництва. Характеристики Г.М. визначають його компонентами, їх призначенням, сировиною, типом, кріпленням або з'єднанням волокон, а також розташуванням вузлових точок перетину георешіток.

Сучасні Г.М. мають великі можливості для вирішення багатьох проблем у транспортній сфері: при будівництві, реконструкції та в період експлуатації об'єктів. Основні сфери застосування геосинтетиків: розділення, фільтрування, дренажування, армування, захищення, ізолювання, протиерозійний захист.

Згідно класифікації наведеної у ВБН В.2.3-218-544-2008 геосинтетичні матеріали поділяються наступним чином:

класи (за сировиною): природні, хімічні і штучні;

групи (за водопроникністю): водопроникні і водонепроникні;

типи (за структурою): геотекстилі, віднесені до геотекстилю вироби, геосинтетичні бар'єри і геокомпозити;

підтипи: геотканини, геонетканини, геотрикотаж, геограти, ґратки, геосітки, геокомірки, геомати, геопрошарки, геопінопласти, геотруби,

геосинтетичні бар'єри полімерні, бітумні (геомембрани) та геосинтетичні глиномати;

види (за способом виготовлення): нетканинні, тканинні, трикотажні (в'язані), кріплені і екструдовані;

підвиди (за способом кріплення): кріплені по механічній, фізико-хімічній або комбінованій технологіям.

У світі випускається близько 380-400 різних видів геоматеріалів, причому поява нових матеріалів відбувається настільки стрімко, що в значній мірі випереджає інформацію про них.

Широке застосування геосинтетичних матеріалів у будівництві обумовлено їх високими фізико – механічними властивостями: міцністю, стійкістю до впливу кліматичних і гідрогеологічних факторів, довговічністю і головним чином екологічною безпекою. Довговічність застосовуваних геоматеріалів складає 40 - 120 років, якщо матеріали не отримали серйозні пошкодження в процесі будівництва і були своєчасно захищені від впливу сонячної радіації.

У практиці для виготовлення геосинтетичних матеріалів використовують в основному поліамід, поліефір, поліпропілен, поліетилен, скловолокно, поліестер, полівінілалкоголь, поліолефіни (суміші поліетилену і поліпропілену). Для додання спеціальних властивостей в сировині вводяться добавки, наприклад, технічний вуглець (сажа) в якості стабілізатора від сонячної радіації; пігменти для фарбування матеріалу і т. п. На поверхню розглянутих матеріалів можуть бути нанесені спеціальні покриття (обволікаючі та захисні шари), надають або збільшують адгезійні властивості, необхідні для швидкого і, що найголовніше, надійного контакту з робочими поверхнями контактної середовища конструкцій і споруд.

Основними характеристиками, які враховуються при проектуванні споруд з геосинтетичними матеріалами, є наступні показники їх фізико-механічних властивостей:

- структура;
- вага одиниці площі;
- ширина і довжина рулону;

- межа міцності при розтягуванні;
- межа плинності при подовженні;
- відносне подовження при розриві;
- модуль пружності і модуль деформації;
- міцність на продавлювання;
- міцність на прокол;
- міцність на роздирання зразків;
- водопроникність;
- хімічна і біологічна стійкість.

Геосинтетика у транспортному будівництві

Геосинтетичні матеріали є перспективними матеріалами у транспортному будівництві, і їх використання дозволяє:

- збільшити (або) надійність і довговічність дорожніх конструкцій;
- підвищити технологічність і якість виробництва робіт;
- прискорити виробництво земляних робіт в складних гідрогеологічних умовах;
- зменшити величини деформацій від морозного пучіння;
- підвищити стійкість укосів земляного полотна;
- зменшити обсяги земляних робіт;
- зменшити товщину конструктивних шарів дорожніх одягів;
- виключити «копіювання» тріщин і швів у верхніх шарах при посиленні покриттів
- поліпшити водно-тепловий режим насипу;
- знизити нерівномірність осідання насипу;
- зменшити колійність;
- прискорити консолідацію насипу;
- підвищити однорідність матеріалів дорожніх конструкцій;
- використовувати місцеві будівельні матеріали, що не задовольняють певні-рим характеристиками дорожнього будівництва.

Відомості про технології виробництва геосинтетичних матеріалів

Виробництво тканих синтетичних матеріалів включає: отримання волокна з полімеру, прядіння і переплетення ниток на ткацьких машинах.

Фізико-механічні властивості синтетичних матеріалів визначаються міцністю ниток, типом їх переплетення і можуть мати досить високі характеристики. Відносне подовження при розриві незначно.

Неткані синтетичні матеріали отримують без застосування прядильних і ткацьких машин. Вони складаються з хаотично розподілених волокон, з'єднаних механічними, фізичними, хімічними методами або їх поєднанням.

Технологія виробництва жорстких синтетичних георешіток

Виробничий процес починається з виготовлення суцільного листа поліетилену або поліпропілену, перфорованого набором отворів через рівні проміжки у поздовжньому і поперечному напрямках. Відразу ж після нагріву лист розтягують таким чином, щоб хаотично орієнтовані молекули витягувалися в упорядковане і орієнтоване стан. Цей процес підвищує міцність і жорсткість сітки при розтягуванні.

Поліетилен і поліпропілен високої міцності, використовуваний для виробництва георешіток, забезпечує:

- стійкість до впливу водних розчинів кислот, лугів і солей, а також дизельного палива і бензину;
- несприйнятливості до розтріскування та біологічному руйнуванню під впливом навколишнього середовища.

Одними із перших в світі жорсткі георешітки почали виготовляти у Великобританії та США компанія Tensar International. Георешітки Tensar виготовляються з листів поліетилену високої щільності або поліпропілену за унікальною, запатентованою технологією. Кінцевий продукт являє собою монолітну полімерну георешітку з впорядкованою молекулярною структурою. Георешітки Tensar є одним з довговічних армуючих синтетичних матеріалів, застосовуваних у будівництві. Їх розрахунковий термін служби складає до 120 років. За даними компанія Tensar International матеріали георешітки не сприйнятливі до гідролізу, розтріскування під впливом навколишнього середовища і ультрафіолетових променів. Широкий спектр георешіток Tensar з різними фізико-механічними характеристиками можна поділити на декілька основних типів: одноосні, двоосні та тривісні георешітки.

Одноосні георешітки Tensar (Рис. 1) представляють собою поліетиленові решітки з довгими і вузькими отворами, такі матеріали слугують для вирішення проблем, які пов'язані з будівництвом ґрунтових насипів, можуть використовуватися для створення армоґрунтових підпірних стін. Технологія влаштування таких споруд не потребує додаткових механізмів та спеціально навчених робітників, завдяки пошаровому ущільненню ґрунту засипки, який працює спільно з георешіткою прискорюється процес консолідації (Рис. 2).

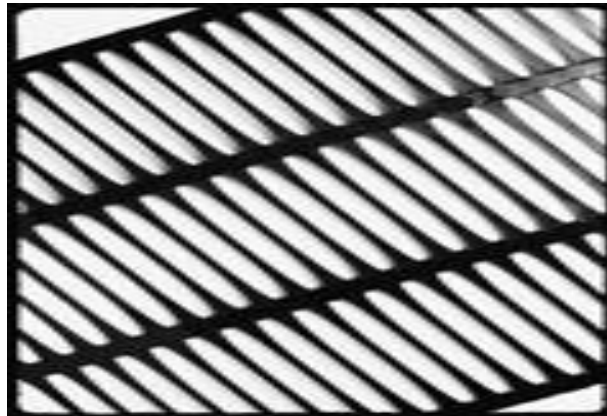


Рисунок 1 – Одноосна георешітка Tensar

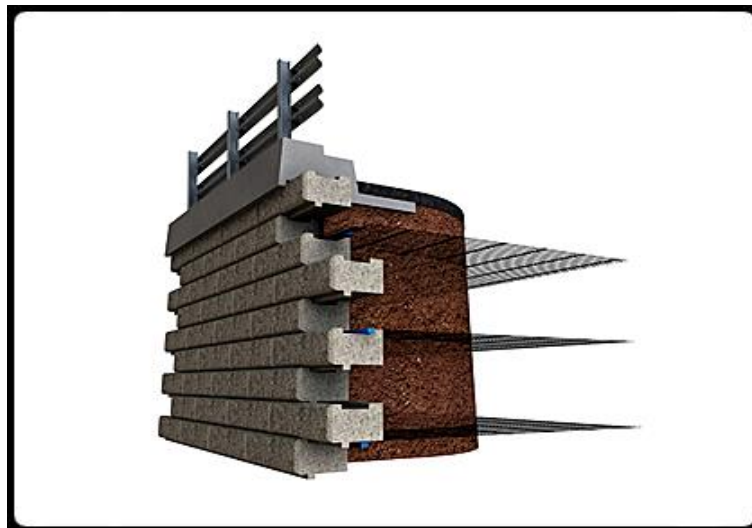


Рисунок 2 – Характерний переріз армоґрунтової конструкції за технологією Тенсар із застосуванням облицювальних модульних блоків

Двоосні георешітки Tensar (Рис. 3) мають квадратні отвори і мають однакову міцністю в поздовжньому і поперечному напрямку. Такі матеріали

використовуються при будівництві на слабких ґрунтах, при необхідності посилити несучу здатність слабких ґрунтів і створити жорстку основу, здатну сприймати високі статичні та динамічні навантаження. При ущільненні інертного матеріалу над георешіткою він частково проникає крізь отвори, та забезпечує додаткове зчеплення. Заклинювання дозволяє георешітці чинити опір горизонтального зсуву насипу і тим самим збільшити несучу здатність слабого шару ґрунту



Рисунок 3 – Двоосна георешітка Tensar

Впродовж багатьох років проблеми слабких ґрунтів вирішувалися завдяки двоосним георешіткам, але на початку 2000-х років компанія Tensar International розробила новий вдосконалений матеріал. Форма отворів представляє собою шестикутник, в якому зусилля розподіляється на 360° рівномірно.

Георешітка Tensar TriAx™ - це високотехнологічні, ефективні, тривісні георешітки (Рис. 4). Їх робота набагато перевершує за своїми експлуатаційними характеристиками двоосні георешітки попереднього покоління, випущені за даною технологією. Георешітки Tensar TriAx™ не мають аналогів. За їх допомогою вирішуються наступні проблемами:

- Збільшення несучої здатності;
- Високі транспортні навантаження;
- Зменшення товщини конструктивних шарів;
- Нерівномірна осадка;
- Ділянки змінної жорсткості;

- Рекультивація звалищ;
- Перекриття потенційних зон карстових.

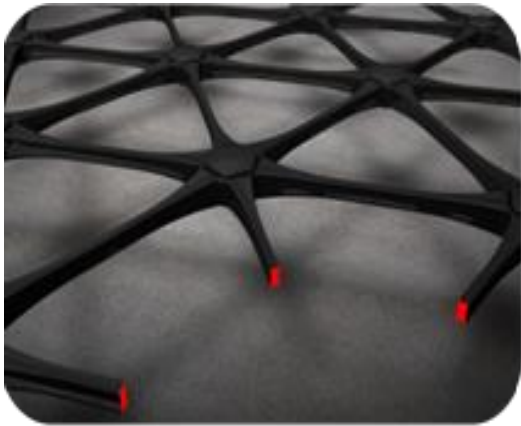


Рисунок 4 – Тривісна георешітка Tensar TriAx™

При механічній стабілізації ґрунту частинки зернистого наповнювача, утримуються георешіткою, та взаємодіють між собою і створюють інший, більш досконалий матеріал з поліпшеними міцністними характеристиками (Рис. 5).

Структурні властивості армованого шару залежать від величини навантаження і гранулометричного складу інертного матеріалу. Завдяки правильному співвідношенню різних фракцій ефект заклинювання підсилюється, запобігаючи горизонтальному руху частинок в основі конструкції. При динамічному впливі це перешкоджає переміщенню вгору дрібних частинок і підвищує зсувостійкість нижнього шару.

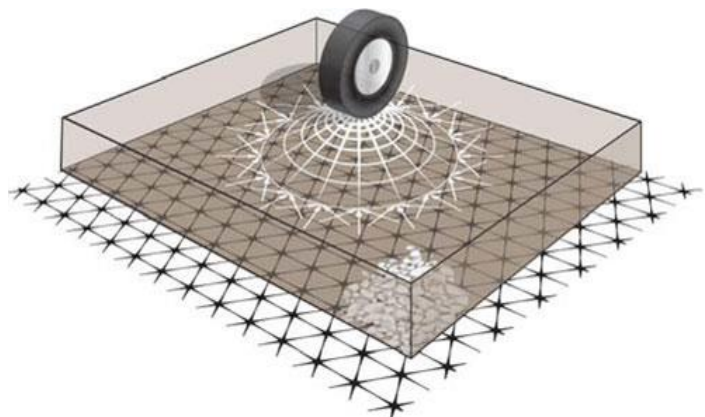


Рисунок 5 – Принцип розподілу навантажень тривісною георешіткою

Висновки

Світовий досвід доводить ефективність застосування сучасних синтетичних матеріалів. Рівень споживання геосинтетики в 2008 році в США перевищував 500 млн кв. м в рік, в Західній Європі - 400 млн кв. м.

Головна мета застосування геосинтетичного матеріалу підвищити міцність і надійність конструкції, разом з тим знизивши або принаймні залишивши на тому ж рівні вартісні та експлуатаційні показники.

При вирішенні інженерних задач необхідно чітко розуміти як змінюються характеристики конструкцій від введення в неї різних конструктивних елементів.

Не можна розглядати геосинтетичний матеріал як окремий, відособлений елемент зі своїми фізико-механічними і міцнісними характеристиками який працює в конструкції сам по собі. Перш ніж застосувати той чи інший матеріал необхідно ретельно вивчити його поведінку і роботу в конструкції, починаючи з укладання матеріалу (перевірка на пошкоджуваність) і закінчуючи економічними (вартісними) і експлуатаційними (строк служби) показниками.

Література

1. Павлюк Д.А. Совершенствование методики проектирования армированных насыпей на основе использования математических моделей взаимодействия геотекстильной прослойки с грунтом. – Киев: КАДИ, 1993.
 2. Геосинтетические и геопластиковые материалы в дорожном строительстве. "Обзорная информация. Вып. 5", - М., 1998.
 3. Рекомендации по повышению качества земляного полотна путем его армирования синтетическими материалами (для опытного применения), - М.: 1979.
- ГБН В.2.3-37641918-544:2014 Автомобільні дороги. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги, - Київ, 2014.

УДК625. 717.02 (045)

Беятинський А.О., д-р техн. наук, Першаков В.М., д-р техн. наук,
Близнюк Т.В.

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВЕРТОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ

Анотація. В статті наведено основні типи покриттів вертодромів. Розглянуто традиційні типи покриттів (цементобетонне покриття збірне, монолітне та асфальтобетонне). Окрім цього розглянуто використання специфічних типів покриттів з металевих плит. Запропонована конструкція вертолїтного майданчика у вигляді балочної кліти.

Ключові слова: вертодром, вертолїтний майданчик, цементобетонне покриття, балочна кліть, збірно-розбірні покриття.

Аннотация. В статье приведены основные типы вертодромных покрытий. Рассмотрены традиционные типы покрытий (цементобетонное сборное, монолитное или асфальтобетонное). Кроме этого рассмотрено использование специфических типов покрытий из металлических плит. Предложена конструкция вертолётной площадки в виде балочной клетки.

Ключевые слова: вертодром, вертолётная площадка, цементобетонное покрытие, балочная клетка, сборно-разборные покрытия.

Annotation. The article gives most common types of helipad pavements. Traditional pavements (such as concrete or flexible pavements) are discussed. Issues related to the use of specific pavement of metal slabs are also given. Design of rooftop helipad in the form of beam cage is proposed.

Keywords: heliport, helipad, concrete pavement, beam cage, dismountable pavement.

Вступ

З кожним роком вертолітна тематика стає дедалі перспективнішою. На противагу літакам, вертольоти дешевші в обслуговуванні та не потребують особливих умов для експлуатації. На відміну від бізнес-авіації, їм не потрібні великі обладнані аеродроми, достатньо невеликого майданчика.

Ці та інші привабливі особливості вертольотів стали причиною постійного розширення спектра їх використання. І якщо раніше вертольоти мали військову або спеціальну «прописку», то нині вони впевнено опановують цивільний сектор використання [1].

Наведені тенденції яскраво проявилися під час масштабного вертолітного форуму, який відбувся в 2012 році у Москві. V Міжнародна виставка вертолітної індустрії HeliRussia-2012 представила весь спектр продукції та послуг вертолітної індустрії не тільки Росії, але й СНД, дальнього зарубіжжя. У виставці HeliRussia-2012 взяла участь 201 компанія: 150 російських і 51 компанія з 17 країн світу: України, Білорусі, США, Великобританії, Франції, Німеччини, Канади, Швейцарії, Швеції, Італії, Іспанії, Індії, Фінляндії, Польщі, Колумбії, Чехії, Литви. Нагадаємо: на першій виставці свої експозиції представляли 129 компаній з 10 країн світу, тобто зростання інтересу, а відповідно, і обсягів вертолітної індустрії відчутне навіть за кількістю учасників цього міжнародного вертолітного форуму.

Розміри сучасних літаків продовжують збільшуватись, ціни на них зростають, відповідно зростає і вартість їх технічного обслуговування на землі. У зв'язку із цим зростає використання вертольотів, особливо в корпоративній авіації, медицині (для швидкого транспортування пацієнтів), для евакуації людей та ін.

Постановка завдання

Розвиток сучасної держави неможливий без розвитку та постійного удосконалення транспортної системи. Завдяки можливості вертикального зльоту та посадки, а також можливості посадки на обмежені за розмірами площадки вертольоти в останній час набувають все більше значення в цивільній авіації. Вертольоти більш універсальні ніж літаки, тому можуть бути використані при виконанні найрізноманітніших видів робіт: в сільському

господарстві, при будівництві, евакуації населення, для розвідки, при проведенні інженерних вишукувань, для транспортних перевезень та ін.[2].

На даний момент, у всьому світі вертолітні перевезення є невід'ємною частиною ділової авіації, особливо це стосується мегаполісів. На даний момент вертолітний транспорт в Україні ще недостатньо розвинений, однак об'єм перевезень вертольотами постійно збільшується, тому можна очікувати, що він займе своє місце в системі міського транспорту. Основна перевага вертольотів як засобів транспорту полягає у високій швидкості пересування, що досягає 200-300 км/год, незалежності напрямку руху від системи вулиць, а також великій маневреності, простоті і відносно невеликій вартості будівництва посадочних майданчиків. Недоліки вертолітного транспорту пов'язані з високою вартістю проїзду, малою провізною здатністю (до 500 - 600 пас/год), утворенням значного шуму й істотною залежністю від погодних умов [3].

Універсальність і маневреність вертольотів дозволяють використовувати їх в умовах забудови. Так, згідно із статистикою Київської асоціації аеронавтики на даний момент в Україні експлуатується лише декілька сотень вертольотів. В той же час в країнах ЄС загальна кількість приватних та корпоративних вертольотів становить близько 300 тис., в США – до 600 тис. вертольотів, в Нью-Йорку збудовано близько 300 вертолітних майданчиків. Що ж стосується України, то навіть у Києві існує лише декілька вертолітних майданчиків – на даху будинку «Центра Серця» та вертодром «Дніпро-1» (президентський вертодром). Ці факти свідчать про те, що обраний напрямок дослідження є актуальним для нашої країни. Однак, унікальний потенціал вертольотів не може бути повністю використаний до тих пір, поки не буде створена мережа вертодромів. Однак в Україні цьому перешкоджає відсутність нормативної літератури яка б в повній мірі враховувала всі фактори, які впливають на роботу вертодрому. Зокрема відсутні рекомендації по проектуванню та розрахунку різних типів покриттів під конкретні вагові категорії вертольотів.

Покриття вертодромів

В загальному випадку, при проектуванні вертодрому повинні бути проаналізовані наступні фактори [3]:

1. Клас та розташування вертодрому.

2. Зручність для користувачів.
3. Повітряні перешкоди.
4. Узгодження з рухом інших повітряних суден.
5. Напрямок переважаючих вітрів.
6. Шумове забруднення навколишнього середовища та вплив на оточуючих.
7. Турбулентність.
8. Видимість.

Особливістю вертодрому є те, що для улаштування його покриття можуть бути використані найрізноманітніші матеріали, а також те, що він вимагає набагато меншої площі. Для цілорічної експлуатації вертольотів при недостатній несучій здатності ґрунту або його сильній пилюватості посадочні майданчики повинні мати штучні покриття, розраховані на навантаження від заданого типу вертольота. До конструкцій штучних покриттів пред'являються наступні основні вимоги: міцність і довговічність при експлуатації розрахунковими типами вертольотів, рівність, зносостійкість і шорсткість поверхні, що створює хороше зчеплення пневматика з покриттям; стійкість при впливі експлуатаційних і кліматичних факторів, водонепроникність і відсутність пилюватості; ерозійна та хімічна стійкість проти механічного впливу повітряних струменів від несучих гвинтів, а також впливу пролитого палива, авіаційних масел та інших спеціальних рідин. Штучні покриття зазвичай складаються з декількох конструктивних шарів: несуче покриття, штучна і природна основа. Штучна основа забезпечує передачу навантажень на природний ґрунт і виконує морозозахисну, дренажну та інші функції.

Штучні покриття класифікують за характером опору несучого шару дії навантажень від ваги вертольотів, а також по терміну служби та капітальності. У випадку вертодромних покриттів окрім традиційних жорстких та нежорстких типів можуть бути використані металеві плити, дерев'яні настили та ін.

Нежорсткі покриття включають несучий шар з різних матеріалів (переважно щебених і гравійних), зазвичай оброблених в'язучими, і захисний шар, що сприймає зусилля від коліс і атмосферних чинників. Нежорсткі покриття слабо чинять опір вигину, працюють в основному на стиск. У нежорстких покриттях матеріали для улаштування конструктивних шарів можуть бути малої міцності і значною деформованості, тому експлуатаційним

показником таких покриттів служить гранично допустимий прогин (деформація) під навантаженням.

Капітальні покриття розраховані на тривалий термін служби. Їх доцільно застосовувати при експлуатації важких вертольотів. Такі покриття влаштовують з бетону, залізо-і асфальтобетону. Враховуючи незначні розміри посадочних майданчиків, доцільно використовувати збірні покриття з попередньо напруженого і звичайного ненапруженого залізобетону.

Перехідні покриття. Типовими представниками полегшених і перехідних штучних покриттів майданчиків є конструкції, які реалізуються шляхом використання щебеневих і гравійних матеріалів, а також гравійно-піщаної суміші, оброблених органічними в'язучими (бітумами, дьогтями, бітумними емульсіями і т.д.). Обробку мінеральних матеріалів в'язучими рекомендується виконувати способами глибокого або полегшеного просочення, а також у пересувній установці. Цей тип покриттів може бути використаний для вертолітних майданчиків призначених для нерегулярних перевезень. До переваг цього типу покриття слід віднести відсутність запилення при виконанні злітно-посадочних операцій вертольотом.

Обробку в'язучим гравію або ґрунтів для штучної основи виконують перемішуванням складових у спеціальних машинах з подальшим пошаровим ущільненням котками. Перемішування може бути безпосередньо на місці зведення покриття або в стаціонарних (пересувних) змішувальних установках. Такими способами можна приготувати матеріал для будь-яких нежорстких покриттів ті їхніх штучних основ, включаючи штучні основи жорстких покриттів. Мінімальну товщину конструктивного шару (після ущільнення) приймають рівною 8-15 см, але не менше 1,5 см від розміру найкрупнішої фракції інертної частинки.

Тимчасові збірні і збірно-розбірні покриття влаштовують для короткострокової роботи авіації в періоди бездоріжжя. Улаштування таких покриттів слід передбачати, як правило, на майданчиках, призначених для короткочасного базування вертольотів. Вони застосовуються в тих випадках, коли будівництво покриттів інших типів неможливо через брак часу, обмежені строки використання майданчика, а також за відсутності необхідних будівельних матеріалів або належних погодних та природних умов. Тимчасові збірні і збірно-розбірні покриття можуть бути зібрані в короткі терміни, в будь-

яких погодних умовах і при будь-якому стані верхніх шарів попередньо підготовленої ґрунтової основи. В якості тимчасових покриттів, в першу чергу, можуть застосовуватися металеві покриття, а також дерев'яні настили й щити. В даний час для забезпечення базування авіації на польових аеродромах під час бездоріжжя застосовують сталеві штамповані плити типу К-1 і К-1Д. На відміну від застосовуваних раніше перфорованих аеродромних плит плита К-1Д відрізняється підвищеною жорсткістю профілю, відсутністю перфорації, простотою і надійністю стику. Такі конструкції неперфорованих металевих плит можуть бути застосовані для збірно-розбірних покриттів площадок під середні і легкі вертольоти. Металеві покриття збирають з окремих плит, які з'єднують за допомогою стикових з'єднань різної конструкції. Металеві плити укладають, як правило, на сплановане і ретельно ущільнену ґрунтову основу. Кращими є основи з супіщаних і суглинистих ґрунтів з дерновим покривом. Способи укладання металевих плит залежать від їх конструкції, розмірів і типів з'єднання між собою.

Покриття з дерев'яних щитів або колод. Покриття з дерев'яних щитів заводського виготовлення доцільно застосовувати в районах, багатих лісом, з розвиненою лісопереробною промисловістю, а також в районах, куди доставка інших матеріалів утруднена. Дерев'яне покриття являє собою суцільний настил, що укладається на природню ґрунтову або штучну основу з шару піску 5-10 см. Щити настилу влаштовують з дощок 5х10 (12) см на ребро, що з'єднуються між собою цвяхами. Розміри щита застосовуються уніфікованими 1х2 або 1х3 м з вагою в межах до 100-150 кгс. Щити при укладанні розташовують в плані зі зміщенням на півплити і скріплюють між собою нагелями чи іншими засобами, які передбачені проектом. Для підвищення опору деревини шкідливим впливам атмосфери та ґрунтових факторів її обробляють антисептиком, наприклад, просочують креозотом. Для виготовлення щитів використовується деревина різних порід, яка відповідає технічним вимогам. Покриття з дерев'яних щитів рекомендуються під середні та легкі вертольоти.

У випадках влаштування тимчасових посадкових площадок на ділянках зі слабкими ґрунтами можна влаштовувати настил із колод діаметром не менше 18 см, міцно скріплених між собою, причому колоди верхнього накату повинні укладатися впоперек поздовжньої осі вертольота. Настил для важких

вертольотів влаштовується не менш ніж у два накати, а для середніх вертольотів – в один накат.

Льодове покриття. не виключена можливість використання в зимовий час в якості тимчасових посадкових майданчиків крижаного покриву озер і річок. Для цих цілей підбирають ділянки замерзлої водної акваторії з льодом достатньої товщини, що забезпечує необхідну несучу здатність крижаного покриття, а також з рівною поверхнею без тріщин, ополонки і тріщин. Потрібну товщину льоду для прісноводного водоймища слід розраховувати в залежності від температури навколишнього середовища:

1) при середній температурі повітря нижче - 10°C

$H = 16\sqrt{G}$ — для вертольотів на колесах;

$H = 12\sqrt{G}$ — для вертольотів на полозах;

2) при середній температурі повітря від -10 до 0°C

$H = 22\sqrt{G}$ — для вертольотів на колесах;

$H = 17\sqrt{G}$ — для вертольотів на полозах,

де H – потрібна товщина льоду, см; G – максимальна злітна вага вертольота, т.

Можливе посилення існуючого льодяного покриву шляхом пошарового замороження льоду водою, при цьому товщина нарощуваного шару не повинна перевищувати половини товщини природного льоду.

Покриття з металевих плит. Металеві покриття відносяться до типу збірно-розбірних покриттів, вони збираються з окремих металевих плит, які скріплюються між собою спеціальними замковими з'єднаннями. Тимчасові збірно-розбірні покриття споруджуються збиранням окремих елементів, які були попередньо заготовлені на стороні. Беззаперечною перевагою цих покриттів є можливість спорудження в короткі строки ЗПС, РД, МС з міцною поверхнею і достатньо малим опором руху коліс літака. Завдяки невеликій вазі плити, вони легко збираються, легко упаковуються в зв'язки і пачки, що забезпечує їх добру транспортабельність. Простота укладання і збирання плит дозволяє проводити роботу по улаштуванню покриття цілодобово, використовуючи найпростіші інструменти[4, 5]. В будівництві застосовуються металеві плити ПМП-1-53 та К-1Д. Крім того, іноді використовуються плити АСП-4. Характеристики плит наведені в табл. 1

Позитивними якостями сталевих плит є:

- практично достатня несуча здатність для експлуатації різних типів воєнних літаків;

- мала вага (в порівнянні з вагою матеріалів, потрібних для будівництва інших покриттів ЗПС);

- швидкість укладання ЗПС (2-3 доби) і її розбирання (1-2 доби);

- забезпечення швидкого висихання основи.

Однак металеві збірно-розбірні покриття мають і низку недоліків:

- необхідність проведення рекогносцировки району напередодні розгортання ЗПС з подальшою

- вертикальним плануванням ґрунтової ділянки значної площі і, отже, залучення відповідної інженерної техніки;

- недостатня надійність і безпека зльоту та посадки літальних апаратів (ЛА) в період бездоріжжя: утворюються просідання основи під покриттям, заповнені водою, викликають фонтани бруду при наїзді на них пневматика, тим самим створюючи небезпеку засмоктування її в двигун ЛА. Крім того, в таких місцях на плитах можлива поява залишкових деформацій, що виключає їх повторне використання;

- недовговічність і одноразове використання покриття. Деформування замків кріплення і самих плит ускладнює або зовсім виключає можливість демонтажу плит з наступним їх використанням;

- велика вартість у зв'язку з великою витратою металу;

- велика вага повного комплексу, для перевезення якої потрібно більше 300 залізничних платформ;

- залучення декількох видів транспорту для доставки комплектів покриття;

- час і термін розгортання ЗПС знаходиться в прямій залежності від: стану автомобільних доріг та під'їздів до майданчика будівництва; від кліматичних показників і пори року. Виключається можливість зведення ЗПС із збірно-розбірних металевих плит у зимовий період осінньої (весняної) бездоріжжя. Відсутність торцевих закріплень і ненадійність фіксації плит.

Вищенаведені типи покриттів підходять для улаштування вертодрому на рівні земної поверхні. Однак при створенні мережі вертодромів в містах проектувальники неодмінно зіткнуться із проблемою браку вільного місця, особливо в центральній частині мегаполісу. Це питання вирішується шляхом улаштування вертодрому на даху будівлі. При такому інженерному рішенні

окрім забезпечення вимог безпеки, акустичного забруднення та ін. важливих питань, необхідно передбачити сприйняття значного додаткового навантаження несучими елементами будівлі. На етапі проектування цей факт легко передбачити шляхом посилення несучих елементів, однак при будівництві на даху вже існуючої споруди, проект якої не передбачував значного додаткового навантаження, використання традиційного типу покриття стає неможливим. Постає питання вибору найбільш економічного варіанту конструкції майданчика, оскільки традиційний варіант (бетонне покриття товщиною більше 20 см) призведе до значного збільшення навантаження на несучі елементи будівлі. Виходячи з цього основні вимоги до вертолїтного майданчика на даху наступні: порівняно невелика власна вага, достатня жорсткість та міцність, технологічність та високий рівень механізації будівельних робіт.

Таблиця 1 - Характеристика металевих покриттів

Характеристика плит	Тип плит		
	ПМП-1-3	К-1Д	АСП-4
Габаритні розміри, м довжина ширина	3042	3080	2000
	411	482	408
Укладочні розміри, м довжина ширина	3048	3000	2000
	381	420	380
Висота профілю, мм	21	31	56
Корисна площа однієї плити, м ²	1,2	1,26	0,76
Вага плити, кг	28	43	60
Кількість плит в пачці, шт	30	20	12
Вага пачки плит, кг	850	866	725
Кількість плит в комплекті, тис. шт	152	148	229,8
Маса комплекту в упаковці, т	4500	7012	1379
Кількість напівплит в комплекті, тис. шт.	24	16	26

Вищенаведеним вимогам в повній мірі відповідає конструкція вертолїтного майданчика у вигляді балочної кліті [6] (рис. 1).

Це інженерне рішення має наступні переваги: металеві елементи можуть сприймати значні навантаження при відносно невеликих площах поперечного перетину за рахунок великої міцності металів, за рахунок виготовлення окремих елементів конструкції на заводах досягається високий рівень

технологічності та механізації виконання будівельних робіт, при розрахунках метали розглядаються як однорідні, ізотропні та суцільні матеріали, це дозволяє дуже точно описати їх роботу. В роботі представлено конструкцію покриття вертолітного майданчика у вигляді залізобетонної ребристої плити з використанням опалубки, що не знімається.

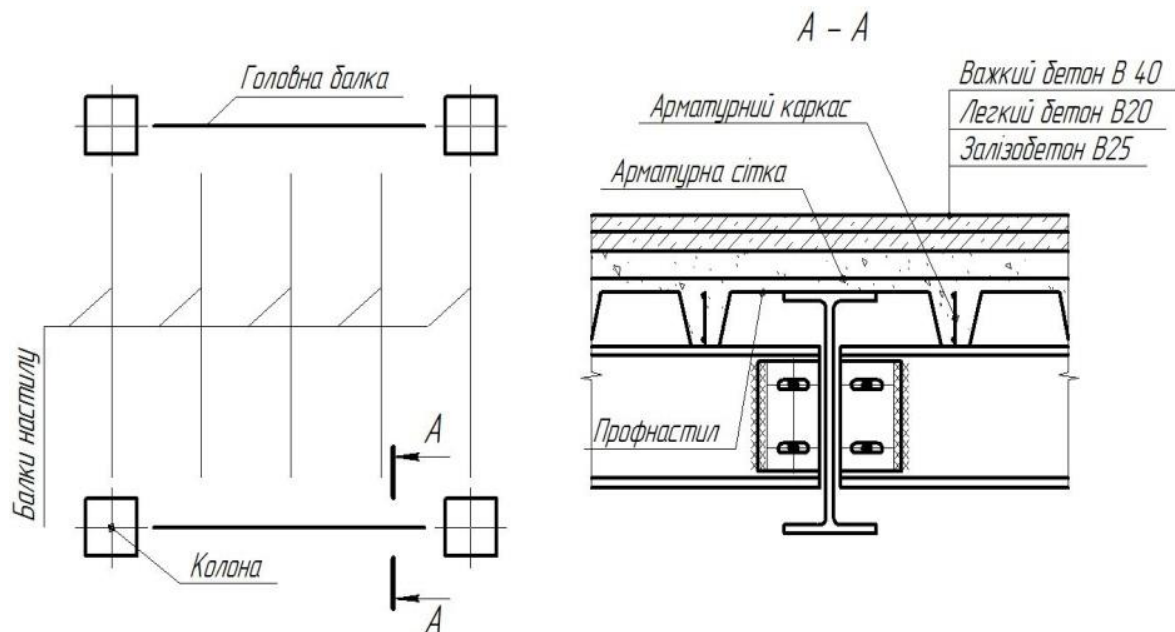


Рисунок 1 - Схема балочної кліті

В конструкцію верхніх шарів покриття вмонтовано систему електрообігріву по типу «тепле покриття». Дана система антизледеніння представляє собою змійовик, який рівномірно розміщений по поверхні плити та підключений до системи електроживлення. Така конструкція, окрім необхідної міцності та жорсткості, не створює значного додаткового навантаження та пришвидшує будівництво за рахунок механізації виконання робіт.

Висновки

В цілому ж аналізуючи особливості проектування вертодромних покриттів слід відзначити наступне:

1. На відміну від аеродромів при проектуванні вертодрому можуть бути використані найрізноманітніші покриття – починаючи від традиційних (збірні чи монолітні цементобетонні покриття) і закінчуючи льодовими або покриттями у вигляді дерев'яних настилів.

2. Як правило, в центрі великих міст відсутня вільна площа під будівництво, це питання можна вирішити розміщуючи вертодроми на дахах

високих будівель. Але при розташуванні вертодрому на даху будівлі зазвичай не вистачає вільного місця для здійснення зльоту «по типу літака» (із набором швидкості в зоні дії повітряної подушки). Тому ще на стадії вибору місця розташування вертодрому та при його проектуванні необхідно враховувати потужність вертольотів, які будуть використовуватися.

3. На даний момент в Україні розробляються сучасні норми, які будуть враховувати всі тонкощі проектування та розрахунку вертодромних покриттів. Старі норми, які були прийняті ще за часів СРСР втратили чинність. До моменту набуття чинності нових норм в Україні діють документи ІКАО[7].

4. Існуючі нормативні документи обмежуються розглядом традиційних типів покриттів, тобто жорстких (збірних, монолітних цементобетонних) та нежорстких (асфальтобетонних). Відсутні рекомендації, порядок розрахунку, розрахункові залежності за якими можна було б визначити параметри покриттів наприклад із металевих плит.

5. В подальшому, для вирішення вищенаведених недоліків необхідно приділити увагу в першу чергу новим типам покриттів вертодромів, розглянути можливість використання блочних конструкцій. Розробити концепцію «типового покриття», тобто для кожної вагової категорії вертольоту запропонувати конкретні типи покриттів. Такий підхід сприятиме широкому впровадженню вертолітного транспорту в майбутньому.

Література

1. VijayAgalar. ModernHeliport Design. A design guide complies to international standards for every engineer. / Vijay Agalar. – Lambert Academic Publishing. 2012 – 72 p.
2. Эксплуатация и ремонт вертолетов за рубежом / [Кручинский Г. А., Павловский Н.И., Суриков Н.Ф., Серебряков А.В.]. – М.: Транспорт, 1977. –136 с.
3. Airport engineering: planning, design and development of 21st century airports / Norman J. Ashford, SalehMumayiz, Paul H. Wright. – 4th edition. 2011. – 769 p.
4. Першаков В.М. Військові аеродроми. Металеві аеродромні покриття. / В.М. Першаков, О. К. Луценко, Б. О. Плужніков, І. В. Чекед. – Київ, 2004 р. – 58 с.
5. United States. Federal Aviation Administration. Airports Service. Heliport Design Guide. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Airports Service, 1969. – 76 p.
6. Евдокимцев О.В. Проектирование и расчет стальных балочных клеток: учеб.пособие / О.В. Евдокимцев, О.В. Умнова. Тамбов : Изд-воТамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 136 с.
7. Приложение 14 к Конвенции о международной авиации. Аэродромы. Том II Вертодромы // Рекомендации международной организации гражданской авиации. (ИКАО), 2009. – 110 с.

Федоренко Л.І., канд. техн. наук

ОСНОВНІ ФАКТОРИ ВПЛИВУ РУХОМИХ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА СТАН ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ.

Анотація. Наведені основні оцінки руйнуючої дії автотранспортних засобів на дорожній одяг автомобільних доріг, отримані вітчизняними та зарубіжними вченими, такі як: величини навантаження на вісь автомобіля і конструкцію дорожнього одягу; тиск повітря в шині колеса автомобіля; кількість коліс на осі автомобіля та відстань між ними; особливості впливу на дорожній одяг багатовісних, багатоколісних великовантажних автотранспортних засобів.

Ключові слова: автотранспортні засоби, навантаження, вісь автомобіля, дорожній одяг, автомобільні дороги.

Аннотация. Представлены основные оценки разрушающего действия автотранспортных средств на дорожную одежду автомобильных дорог, полученные нашими и зарубежными учеными, такие как: величины нагрузки на ось автомобиля и конструкцию дорожной одежды, давление воздуха в шине колеса автомобиля, количество колес на оси автомобиля и расстояние между ними, особенности влияния на дорожную одежду многоосных, многоколесных, большегрузных автотранспортных средств

Ключевые слова: автотранспортные средства, нагрузка, ось автомобиля, дорожная одежда, автомобильные дороги.

Annotation. This article examines load norms to the auto road pavements by moving vehicles in two sectors: the automotive industry and public road.

The main estimates of destructive influence of motor vehicles on auto road pavements, received by our and foreign scientists are submitted. Among the estimates: load volume on car axle, construction of road pavement, the air pressure in the tire of the car, number of wheels on the axle and distance between them, peculiarity of influence by multiaxial, multiwheel, and heavy vehicles.

Keywords: vehicles, axle load, road pavement

Постановка проблеми. У теперішній час Україна знаходиться в умовах фінансової кризи, тому актуальними є питання продовження строку служби автомобільних доріг, в тому числі за рахунок урахування основних факторів негативного впливу від рухомих автотранспортних засобів на стан покриттів дорожніх одягів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Удосконаленням методики розрахунку дорожніх одягів на міцність з урахуванням основних факторів впливу рухомих автотранспортних засобів, таких як: величина навантаження на вісь автомобіля, тиск повітря в шинах коліс, кількості коліс і відстані між ними а також особливості впливу на дорожній одяг багатовісних, багатоколісних великовантажних автотранспортних засобів займалися такі вчені: Радовський Б.С., Супрун А.С., Ковальчик Я.П., Колганов А.П., Гогелія Т.І., Коновалов В.С., Коганзон М.С., Козаков І.І., Сиденко В.М. та інші.

Мета статті. Подовження строку служби автомобільних доріг України.

Виклад основного матеріалу. Відомо, що величина руйнуючої дії рухомих автотранспортних засобів на дорожній одяг автомобільних доріг залежить від величини навантаження на вісь або колесо, міжосьової відстані, числа коліс в осі та відстані між ними, тиску повітря в шині і її типу, типу підвіски, швидкості руху, конструкції дорожнього одягу, властивості і стану шарів дорожнього одягу та ґрунту, ступеня нерівності і шорсткості покриття, кількості проїздів автотранспортних засобів по дорожньому одягу, вплив цих факторів часто накладається. Так, динамічне навантаження на покриття дорожнього одягу зростає із збільшенням швидкості руху і ступеня нерівності, а точніше навантаження може зростати при збільшенні шорсткості поверхні покриття дорожнього одягу.

Розглянемо основні оцінки руйнуючої дії автотранспортних засобів на дорожні одяги, отримані вітчизняними та зарубіжними вченими.

Вплив величини навантаження

При розробці більшості зарубіжних методик, які встановлюють нормативи на вагові параметри і габарити автотранспортних засобів, використовуються результати натурних досліджень дорожніх одягів, які були проведені в США Американською асоціацією співробітників дорожніх організацій (AASHO).

В результаті цих досліджень встановлено взаємозв'язок між інтенсивністю руху, навантаженням на вісь і конструкцією дорожнього одягу.

В Австралії та США за допомогою пересувної установки для випробування дорожніх одягів короточасним навантаженням було досліджено вплив навантаження і тиску повітря в шинах на вертикальний прогин і деформацію покриття.

На основі результатів лабораторних досліджень впливу навантаження на втому дорожнього покриття прогнозували зміни терміну служби покриття. При збільшенні навантаження в два рази відзначалася можливість зменшення терміну служби дорожнього одягу на 1000%, тобто в 11 разів.

У Німеччині виконана оцінка зміни товщини бетонного та асфальтобетонного покриттів при навантаженні на вісь, яка перевищує допустиму. При розрахунку приймалося, що зі збільшенням навантаження на вісь кількість проходів автомобілів залишалася колишнім. Встановлено, що при збільшенні навантаження на колесо на тридцять відсотків необхідна товщина бетонного покриття повинна бути збільшена на 4 см, а асфальтобетонного - на 5,5 см; При збільшенні загальної маси автомобіля від 38 т. до 44 т. прогнозується збільшення швидкості утворення колії на 15%. Вважається, що підвищення допустимого осевого навантаження від 100 кН до 115 кН вимагатиме збільшення товщини асфальтобетонного шару в середньому на 4 см, а цементобетонного - на 2 см.

Дослідження підтверджують, що при значному перевищенні нормативного навантаження на вісь автомобіля руйнування дорожніх одягів автомобільних доріг з традиційними значеннями товщин шарів може наступити катастрофічно швидко.

Вплив тиску повітря в шині

При збільшенні тиску повітря в шині збільшується її тиск на контактні колеса автотранспортного засобу з покриттям дорожнього одягу, площа відбитка колеса зменшується, тобто навантаження на покриття стає більш концентрованим, у результаті цього збільшується напруга в дорожньому одязі автомобільних доріг. Характерно, що в останні роки власники вантажних автомобілів за кордоном прагнуть збільшити тиск повітря в шинах автомобіля, так як при цьому зменшуються гістерезисні втрати при коченні колеса. Однак збільшення тиску в шинах транспортних засобів негативно впливає на

довговічність дорожніх одягів, хоча він і по-різному впливає на напружено-деформований стан різних шарів дорожнього одягу. Так, збільшення товщини бітумо-мінеральних шарів до 22 см і тиску повітря в шинах від 0,6 - до 0,7 МПа призводить до зменшення числа проїздів стандартних осей автотранспорту до капітального ремонту на 15%.

Встановлено, що збільшення тиску повітря в шині від 0,517 МПа (нормальний тиск при розрахунках дорожніх одягів) до 0,862 МПа (фактичний тиск повітря в шинах 85% вантажних автомобілів) призводить до збільшення відносної деформації вигину асфальтобетонного покриття товщиною 2,5 см на 20-30 %, а товщиною 10 см на 10%.

Вплив кількості коліс і відстані між ними

Вплив автомобіля на дорожній одяг залежить не тільки від осьових навантажень, кількості осей і їх розміщення, а й від кількості коліс в осі. Так, при рівних навантаженнях на покриттях вертикальні напруги на поверхні основи і земляного полотна у випадку здвоєних шин, центри відбитків яких знаходяться на звичайній відстані 32-38 см один від другого, в середньому на 20-25 см менше, ніж у випадку одиночної шини. При відстані 350 мм між центрами відбитків коліс застосування спарених шин замість одиночних зменшує вплив на асфальтобетонне покриття дорожнього одягу на 24% і дозволяє підвищити число проїздів автотранспорту до його руйнування приблизно в 2,6 рази. Якщо враховувати нерівномірність тиску в шинах обох коліс і нерівності на поверхні покриття, особливо при проїзді по кривій, то замість коефіцієнта 0,76 можна прийняти 0,90, тобто вважається, що вісь зі спареними шинами на дорогу діє так само, як і вісь з одинарними шинами і осьовими навантаженнями, зменшеними на 10%. Цей ефект стає ще більш істотним при великих навантаженнях і значних відстанях між здвоєними шинами, оскільки використання спарених балонів дозволяє розподілити колісне навантаження по поверхні покриття дорожнього одягу.

Дані досліджень одиночних і спарених коліс великовантажних транспортних засобів показали, що при однакових колісних навантаженнях прогини поверхні покриття і вертикальні нормальні напруження на поверхні ґрунту під поодиноким колесом в середньому відповідно в 1,6 - 1,7 та 1,4 - 1,5 разів більше, ніж під кожним з балонів спареного колеса. Це означає, що допустимі навантаження на вісь зі спареними колесами можуть бути збільшені

на 40-50% порівняно з допустимими навантаженнями на вісь з поодинокими колесами без погіршення умов роботи дорожнього одягу. Ефект спареності проявляється тим більше, чим менше товщина і жорсткість дорожнього одягу.

Особливості впливу на дорожній одяг багатовісних, багатоколісних великовантажних автотранспортних засобів

В даний час, все частіше перевезення важких великогабаритних неподільних вантажів здійснюється за допомогою спеціалізованих транспортних засобів, які являють собою багатовісні, багатоколісні причепні або самохідні платформи особливо великої вантажопідйомності.

При проектуванні нових, оцінки міцності існуючих дорожніх одягів і стягнення плати за проїзд за кордоном враховують особливості впливу на них спеціалізованих великогабаритних транспортних засобів. Основні особливості їх впливу на дорожній одяг такі:

- велика кількість близько розташованих осей і коліс, що обумовлює взаємне накладення їх впливу на дорожній одяг;
- значні осьові навантаження (досягають 1000 кН) і відповідні їм навантаження на колеса (можуть бути як більшими, так і меншими нормативних навантажень для вантажних автомобілів загального призначення);
- контактний тиск на покриття, якій може істотно відрізнятись від тиску колеса серійних вантажних автомобілів;
- малі швидкості руху (часто не більш 5 км на годину), що збільшують час дії навантаження на дорожній одяг і викликають значний розвиток не тільки пружних, але і вузьких властивостей матеріалів і ґрунту: збільшення прогину покриття, зменшення напруги розтягу в покритті, збільшення напруги зсуву в ґрунті, а також безпеки накопичення залишкових переміщень (виникнення колії).
- низька інтенсивність руху, яка знижує необхідний запас міцності шарів дорожнього одягу на втому в порівнянні з дією звичайних вантажних автомобілів.

Висновки

Норми на навантаження на покриття дорожніх одягів автомобільних доріг від автотранспортних засобів є найважливішими технічними параметрами в двох галузях: автомобільної промисловості та дорожньому господарстві.

Від значення максимально допустимої напруги на одиночну і здвоєну осі значно залежать вантажопідйомність і ефективність автотранспортного засобу, а в кінцевому рахунку - продуктивність роботи на автотранспорті.

Від значення розрахункової напруги на вісь автотранспортного засобу залежать необхідна товщина і міцність матеріалів шарів дорожнього одягу і плит проїзної частини автодорожніх мостів.

Тиск у контакті колеса з дорожнім покриттям впливає на втрати пального, а з іншого боку, на вимоги до міцності матеріалу верхнього шару покриття та необхідну товщину дорожнього одягу.

Від максимально допустимого повного навантаження автотранспортного засобу залежить матеріаломісткість побудови прогонів мостів, водопропускних труб та підпірних стінок.

Слід відзначити, що регламентовані вантажні параметри автотранспортних засобів тісно пов'язані з розрахунковими, які використовуються при проектуванні доріг і мостів. Однак не менш обґрунтованою є й інша точка зору: розраховувати дорожній одяг не на максимально допустимі осьові навантаження, а на типові навантаження від осей автомобілів, які фактично експлуатуються, з урахуванням більш важких навантажень при переході до розрахункової інтенсивності руху. Для цього існує методика приведення до розрахункового навантаження за різними критеріями міцності.

Література

1. Гогелия Т.И. и др. Напряженно-деформированное состояние дорожной одежды от подвижной нагрузки // Автомобильные дороги. - 1990. - №3.
2. Ковальчик Я.П., Супрун А.С. Воздействие тяжелого груженого грузового движения на дорожные одежды сельскохозяйственных дорог. // Автомобильные дороги. - 1982г – №12. - С.15-16.
3. Коновалов В.С., Коганзон М.С. и др. Сравнение методов расчета дорожных одежд, действующих в СССР // Труды МАДИ. – 1982.
4. Радовский Б.С., Супрун А.С., Козаков И.И. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей. – Киев: Будівельник, 1989. – 167 с.
5. Сиденко В.М., Батраков О.Т., Константинов В.Н. и др. Оценка прочности нежестких дорожных одежд при движении автомобиля.// Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1976. – №3. – С. 148-151.
6. Супрун А.С., Федоренко Л.И. К расчету дорожных одежд на движущиеся нагрузки.// Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Киев: Будівельник, 1985. – Вип. 37. – С. 27-30.

ТЕХНІЧНА ЕКСПЕРТИЗА ТА ОЦІНКА МАЙНА

УДК 625.7/.8

Славінська О.С., д-р техн. наук, Харченко А.М., Сіхневич Г.П.

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ НЕРУХОМОГО МАЙНА ПРИ ВИКОНАННІ КОНТРАКТІВ В ДОРОЖНІЙ ГАЛУЗІ

Анотація. В статті проаналізовано основні методичні підходи до оцінки нерухомого майна в цілому та запропоновано механізм їх використання при виконанні контрактів в дорожній галузі. Запропоновано до використання у дорожній галузі класифікацію методичних підходів до оцінки майна та порядок проведення оцінки вартості майна дорожнього господарства.

Ключові слова: оцінка майна, метод, підхід, контракт, дорожня галузь, дорога, елемент дороги

Аннотация. В статье проанализированы основные методические подходы к оценке недвижимого имущества в целом и предложен механизм их использования при выполнении контрактов в дорожной отрасли. Предложено к использованию в дорожной отрасли классификацию методических подходов к оценке имущества и порядок проведения оценки стоимости имущества дорожного хозяйства.

Ключевые слова: оценка имущества, метод, подход, контракт, дорожная отрасль, дорога, элемент дороги

Annotation. The article contains analyzes the main methodological approaches to the assessment of real estate in general and the mechanism of their use in the performance contracts in the road sector. Proposed for use in road sector

classification of methodological approaches to the valuation of the property and conduct valuation roads.

Keywords: valuation of property, method, approach, contract, road sector, road, road element

Постановка проблеми. Зі схваленням урядом України Концепції Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування на 2013-2018 роки [1] було визначено, що пріоритетним напрямком забезпечення ефективного функціонування мережі автомобільних доріг є зниження навантаження на державний бюджет за рахунок впровадження механізму державно-приватного партнерства. Проте, основним проблемним питанням реалізації цієї Концепції є відсутність порядку передачі доріг чи їх окремих елементів приватному партнеру (підрядній організації) у юридичному сенсі. Це пов'язано як з недосконалістю вітчизняного законодавства та необхідністю його приведення до міжнародної практики виконання таких контрактів, так і з питанням вартісної оцінки доріг, їх елементів та практичною відсутністю спеціалістів – експертів з оцінки у дорожній галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми реалізації контрактів в умовах державно-приватного партнерства були розглянуті в роботах Holmes S., Hunter E., Rowan K., Бондар Н.М., Варнавського В.Г., Грищенко С.І. Березовського М.В., Андрєєва С.І. [2-6] та ін. Аналіз вартості життєвого циклу контрактів та оцінки доріг розкриті в таких роботах: [7-9].

Проведений аналіз публікацій та досліджень показав, що саме питанню механізму вартісної оцінки доріг та їх елементів при передачі приватному партнеру приділена недостатня увага.

Мета статті. Дослідження особливостей застосування світового досвіду та визначення методичні підходи до оцінки нерухомого майна при виконанні контрактів в дорожній галузі України.

Виклад основного матеріалу. Концепція Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування на 2013-2018 роки [1] передбачає наступні варіанти розвитку дорожньої мережі:

1) будівництво та експлуатація платних автомобільних доріг (концесія);

2) будівництва та експлуатація доріг із залученням приватних інвесторів (контракти ДПП).

В обох запропонованих Концепцією випадках необхідна вартісна оцінка для доріг та їх елементів при передачі приватному партнеру.

Згідно Закон України “Про оцінку майна, майнових прав та професійну оціночну діяльність в Україні” [10] проведення незалежної оцінки майна є обов'язковим при будь-яких операціях з майном, що знаходиться у державній чи комунальній власності. Отже, під час виконання контрактів з залученням концесіонерів чи приватних інвесторів вартісна оцінка для доріг та їх елементів є обов'язковою.

Оцінка об'єктів нерухомості відбувається у відповідності до існуючих в Україні нормативно-правових документів, які регламентують порядок здійснення незалежної оцінки. Ними є:

— Закон України “Про оцінку майна, майнових прав та професійну оціночну діяльність в Україні” (від 12.07.01 №2658-III);

— Закон України “Про оренду державного та комунального майна” (в редакції Закону від 14.03.95 №98/95-ВР);

— Закон України “Про оцінку земель” (від 11.12.03 №1378-IV);

— Закон України “Про плату за землю” (від 03.07.92 №2535-XII);

— Національний стандарт №1 “Загальні засади оцінки майна і майнових прав”, затверджений постановою Кабінету Міністрів від 10.09.2003 №1440;

— Національний стандарт №2 “Оцінка нерухомого майна”, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 28.10.2004 №1440;

— Методика оцінки майна, затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 11.10.02 №1531;

— Інструктивний лист ФДМУ від 23.01.2004 “Роз'яснення деяких положень Методики оцінки майна, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 10.12.2003 N 1891”;

— Збірка офіційних документів та роз'яснень Держбуду України «Ціноутворення в будівництві» №2, 2007р.;

— Постанова Держбуду СРСР від 11.05.1983 № 94 "Про затвердження індексів зміни кошторисної вартості будівельно-монтажних робіт і територіальних коефіцієнтів до них для перерахунку зведених кошторисних розрахунків (зведених кошторисів) будівництв";

— Середні нормативні строки служби основних фондів установ і організацій, що знаходяться на державному бюджеті, затверджені ЦСУ СРСР, Міністерством фінансів СРСР, Держпланом СРСР, Держбудом СРСР 28.02.1972 №9_17_ИБ та інші.

В практиці оцінки для визначення вартості нерухомого майна існують три методичні підходи [11-12] (рис.1).

Розглянемо ці підходи з точки зору адаптації до дорожнього господарства:

1. Витратний підхід. Цей підхід передбачає визначення поточної вартості витрат на відтворення або заміщення об'єкта оцінки з подальшим коригуванням їх на суму зносу(знецінення). Основними методами витратного підходу є метод прямого відтворення та метод заміщення. Метод прямого відтворення полягає у визначенні вартості відтворення з подальшим вирахуванням суми зносу (знецінення). Метод заміщення полягає у визначенні вартості заміщення з подальшим вирахуванням суми зносу (знецінення). За допомогою методів прямого відтворення та заміщення визначається залишкова вартість заміщення (відтворення).

Для дорожньої галузі цей підхід може застосовувати для вартісної оцінки доріг та їх елементів, що знаходяться на балансі державних чи комунальних структур. При цьому основою цього методу є використання кошторисів з виконаних робіт.

2. Дохідний підхід базується на врахуванні принципів найбільш ефективного використання та очікування, відповідно до яких вартість об'єкта оцінки визначається як поточна вартість очікуваних доходів від найбільш ефективного використання об'єкта оцінки, включаючи дохід від його можливого перепродажу. За допомогою дохідного підходу визначається ринкова вартість та інвестиційна вартість, а також інші види вартості, які ґрунтуються на принципі корисності, зокрема ліквідаційна вартість, вартість ліквідації тощо.

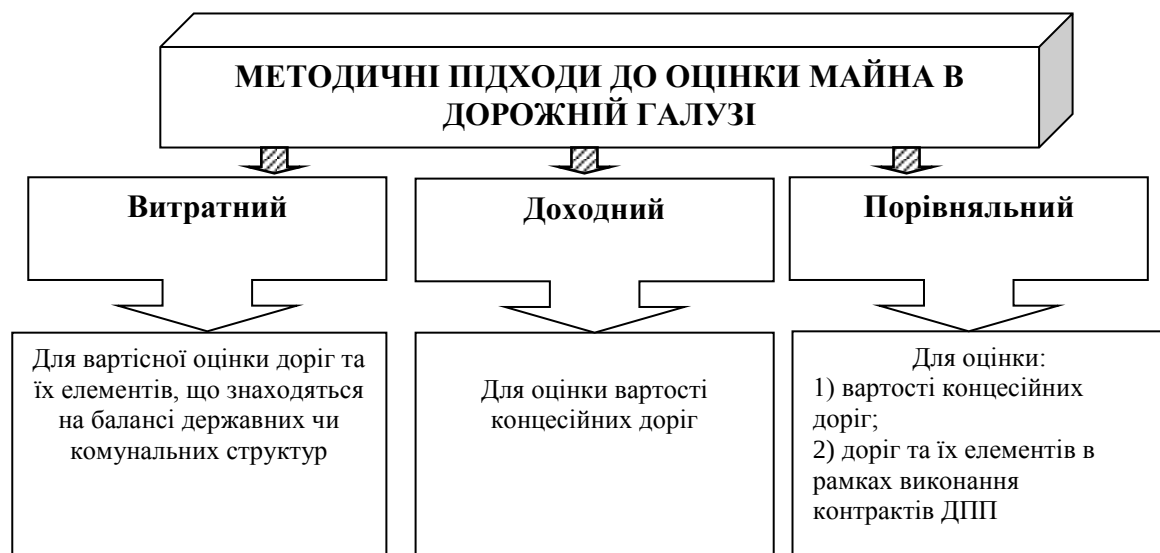


Рисунок 1 – Методичні підходи до оцінки майна в дорожній галузі

Основними методами дохідного підходу є:

2.1. Метод прямої капіталізації доходу (застосовується у разі, коли прогнозується постійний за величиною та рівний у проміжках періоду прогнозування чистий операційний дохід, отримання якого не обмежується у часі. Капіталізація чистого операційного доходу здійснюється шляхом ділення його на ставку капіталізації).

2.2. Метод непрямой капіталізації доходу (дисконтування грошових потоків) застосовується у разі, коли прогнозовані грошові потоки від використання об'єкта оцінки є неоднаковими за величиною, непостійними протягом визначеного періоду прогнозування або якщо отримання їх обмежується у часі. Прогнозовані грошові потоки, у тому числі вартість реверсії, підлягають дисконтуванню із застосуванням ставки дисконту для отримання їх поточної вартості.

Цей підхід у дорожньому виробництві може застосовуватися до концесійних доріг.

3. Порівняльний підхід ґрунтується на врахуванні принципів заміщення та попиту і пропонування. Порівняльний підхід передбачає аналіз цін продажу та пропонування подібного майна з відповідним коригуванням відмінностей між об'єктами порівняння та об'єктом оцінки.

Основними елементами порівняння є характеристики подібного майна за місцем його розташування, фізичними та функціональними ознаками, умовами

продажу тощо. Коригування вартості подібного майна здійснюється шляхом одавання або вирахування грошової суми із застосуванням коефіцієнта (відсотка) до ціни продажу (пропонування) зазначеного майна або шляхом їх комбінування.

Цей підхід може застосовуватися як до оцінки концесійних доріг та і для доріг та їх елементів в рамках виконання контрактів ДПП.

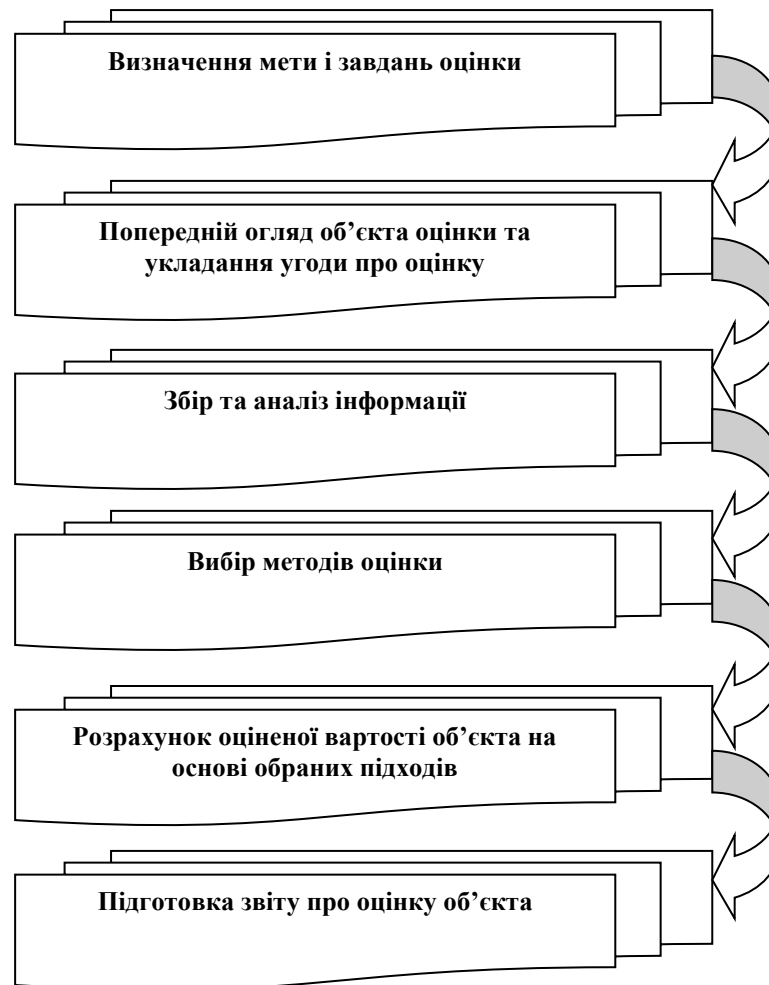


Рисунок 2 – Етапи процесу оцінки вартості майна дорожнього господарства

Етапи процесу оцінки вартості майна дорожнього господарства можна представити у вигляді наведеної схеми (рис.2).

З метою обґрунтування остаточного висновку про вартість об'єкта оцінки в дорожньому господарстві результати оцінки, отримані із застосуванням різних методичних підходів, зіставляються шляхом аналізу впливу принципів оцінки, які є визначальними для мети, з якою проводиться оцінка, а також інформаційних джерел на достовірність результатів оцінки [11].

Висновки

Проаналізовано перспективи розвитку дорожньої галузі, визначено, що основними перепонами до реалізації цих перспектив є недосконалість вітчизняного законодавства, проблеми у виконанні вартісної оцінки доріг, їх елементів та практична відсутність спеціалістів – експертів з оцінки у дорожній галузі. Розроблено та запропоновано до використання у дорожній галузі класифікацію методичних підходів до оцінки майна в дорожній галузі та порядок проведення оцінки вартості майна дорожнього господарства. Проблема обґрунтування методів та моделей оцінки майна у дорожній галузі викликає науковий інтерес та має перспективу дослідження.

Література

1. Про схвалення Концепції Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування на 2013-2018 роки / Розпорядження. №719 – Київ: КМУ. – 2013.
 2. Holmes, S. 2005. "Florida Asset Management." Presentation at the TRB Workshop on "Performance-based Contracting". April 27, Washington, D.C.: Office of Maintenance, Florida Department of Transportation.
 3. Hunter, E. and Rowan K. "A Review of Achievable Efficiencies and Associated Issues under Output and Performance-based Contracts."
 4. Бондар Н.М. Світовий досвід державно-приватного партнерства у транспортній галузі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua>
 5. Варнавский В.Г. Партнерства государства и частного сектора: формы, проекты, риски/ В.Г.Варнавский; Ин-т мировой экономики и междунар. отношений. – М.: Наука, 2005. – 315 с.
 6. Підготовка та реалізація проектів публічно-приватного партнерства: Практичний посібник для органів місцевої влади та бізнесу /С. Грищенко – К., ФОП Москаленко О.М., 2011. – 140 с.
 7. Life-Cycle Cost Analysis Procedures Manual. Department of Transportation, State of California, November 2007. – 134 p.
 8. Life-Cycle Cost Analysis Primer. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration Office of Asset Management, August 2002. – 25 p.
 9. Guidelines for Life Cycle Cost Analysis. FHWA-NJ-2003-012, FINAL REPORT // Dr. Kaan Ozbay, Dr. Neville A. Parker, Dima Jawad, Sajjad Hussain. New Jersey Department of Transportation Division of Research and Technology and U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2003. – 130 p.
 10. Про оцінку майна, майнових прав та професійну оціночну діяльність в Україні: Закон України №2658-III. – Офіційне видіння. - [чинний з 12.07.01] – Київ: ВРУ, 2001.
 11. Загальні засади оцінки майна і майнових прав: Національний стандарт №1. - Офіційне видіння. - [чинний з 10.09.2003] – Київ: КМУ, 2003. - 19 с. — (Національні стандарти України).
- Оцінка нерухомого майна: Національний стандарт №2. - Офіційне видіння. - [чинний з 28.10.2004] – Київ: КМУ, 2004. - 19 с. — (Національні стандарти України). - 10 с. — (Національні стандарти України).

ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ЕКОНОМІКА БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 625.7/.8(0.75)

Лихоступ М.М., канд. техн. наук

ОРГАНІЗАЦІЯ СЛУЖБИ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ ГОСПОДАРСТВОМ РЕГІОНУ

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

Ключові слова: інформація, стан транспортних споруд, служба моніторингу

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

Ключевые слова: информация, состояние транспортных сооружений, служба мониторинга

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

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

Вступ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Технічне забезпечення такої служби повинне складати:

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

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

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

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

Таблиця 1 – Рекомендована штатна структура служби моніторингу доріг і споруд

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Висновки

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

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

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

АНАЛІЗ СВІТОВОГО ДОСВІДУ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ДОВГОСТРОКОВИХ КОНТРАКТІВ, ЗАСНОВАНИХ НА КІНЦЕВИХ ПОКАЗНИКАХ

Анотація. В статті виконано аналіз світового досвіду впровадження та реалізації довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках, в дорожню галузь. Визначені основні переваги, окреслені перепони та перспективи використання довгострокових контрактів, що засновані на кінцевих показниках якості виконуваних робіт, в дорожній галузі України.

Ключові слова: довгостроковий контракт, кінцеві показники, поточний дрібний ремонт, експлуатаційне утримання.

Аннотация. В статье выполнен анализ мирового опыта внедрения и реализации долгосрочных контрактов, основанных на конечных показателях, в дорожную отрасль. Определены основные преимущества, очерченны преграды и перспективы использования долгосрочных контрактов, основанных на конечных показателях качества выполняемых работ, в дорожной отрасли Украины.

Ключевые слова: долгосрочный контракт, конечные показатели, текущий мелкий ремонт, эксплуатационное содержание.

Annotation. The article is about analyze of world experience and implementing of long-term contracts based on key performance indicators in the road sector. The main benefits are outlined, obstacles and the prospects of long-term contracts, based on key performance indicators in the road industry of Ukraine.

Keywords: long-term contract, key performance indicators, routine, maintenance.

Постановка проблеми

Інтеграція України у Європейський простір та сучасні тенденції розвитку дорожнього господарства диктують нові вимоги до організації виконання робіт з поточного дрібного ремонту та утримання доріг. У світі в даний час більшість країн для виконання робіт з поточного дрібного ремонту та утримання доріг ефективно застосовують контракти, засновані на показниках якості виконуваних робіт. В Україні ці контракти ще на початку впровадження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз досліджень показав, що проблема впровадження довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках, у дорожню галузь України, не в достатній мірі розглянута вітчизняними дослідниками. Також виникає багато питань з адаптації чинного законодавства та нормативно-правової бази до впровадження цих контрактів.

Мета статті. Метою статті є аналіз світового досвіду впровадження та використання довгострокових контрактів, що засновані на кінцевих показниках.

Виклад основного матеріалу

Довгостроковий контракт з поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання доріг, заснований на кінцевих показниках якості виконуваних робіт, докорінно відрізняється від контрактів підряду за видами робіт, які традиційно застосовуються в дорожньому господарстві.

Довгостроковий контракт, заснований на кінцевих показниках (ДККП) – це довгостроковий (більше одного року) договір з поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання доріг за показником рівня їх обслуговування, основою якого є комплекс заходів щодо підтримки визначеного рівня обслуговування автомобільних доріг і управління дорожньою мережею в рамках державних програм розвитку [1].

Отже, за ДККП виконавці робіт з поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання доріг отримують оплату не за виконані об'єми робіт, а за досягнення встановлених кінцевих показників, які формують так звані рівні обслуговування. Щомісячна фіксована сума винагороди виплачується підряднику за умови досягнення встановлених рівнів обслуговування, і включає всі послуги з управління, поточного дрібного

ремонту та експлуатаційного утримання, що надаються підрядником, за винятком непередбачених аварійних робіт, які оплачуються окремо [1].

Вперше ДККП в дорожньому секторі був застосований в Британській Колумбії, Канада, в 1988 р. [2-8]. Пізніше він був впроваджений в двох інших канадських провінціях: Альберта і Онтаріо. В 1995 р. контракт, заснований на показниках якості, типу «гібридний» був використаний для міських доріг в м. Сідней (Австралія), а в 1998 р. він був впроваджений в Новій Зеландії для утримання 405 км доріг національного значення [5, 7, 9, 10].

В США ДККП був вперше впроваджений в штаті Вірджинія в 1996 р. З того часу чотири інших штати (Аляска, Флоріда, Оклахома і Техас), разом з округом Колумбія (м. Вашингтон) почали застосовувати його для утримання автомобільних магістралей, мостів, тунелів, місць відпочинку і міських вулиць [11].

В середині 90-х рр. контракти ДККП почали активно використовувати такі країни, як Аргентина, Уругвай, Бразилія, Чилі, Колумбія, Еквадор, Гватемала, Мексика і Перу [2, 4, 5].

Поступово ця тенденція розповсюдилася в інші країни Європи, Африки і Азії: Великобританію, Швецію, Фінляндію, Нідерланди, Норвегію, Францію, Естонію (63% національних доріг), Сербію і Чорногорію (8% національних доріг), Південну Африку (100% національних доріг), Замбію, Чад (17 % сезонних доріг), Філіппіни (231 км національних доріг) та інші [2, 4, 5].

Державні агентства автомобільних доріг цих країн перейшли до ДККП, тому що він має низку переваг порівняно з традиційними підходами [4]:

- економія коштів (створення стимулу для приватного сектора впроваджувати інноваційні підходи і підвищувати продуктивність праці, зниження адміністративних і загальновиробничих витрат у зв'язку з розробкою поліпшеного пакету контрактів, а також меншою кількістю персоналу для їх контролю і супроводу);

- велика вірогідність незмінності витрат (ризик перевитрати засобів за виконану роботу перенесений на підрядника і дорожнє агентство рідше стикається з непередбачуваними витратами);

- можливість вести дорожнє господарство з меншою кількістю персоналу (наприклад, використання форм і моделей державно-приватного партнерства);
- велика задоволеність користувачів якістю доріг і дорожніх умов (потреби користувачів відображаються в якісних показниках виконання робіт, що фіксуються в контракті, а оплата підрядника залежить від того, наскільки він виконав або перевиконав дані показники);
- стабільне багаторічне фінансування, яке направлене на утримання автомобільних доріг;
- соціальний і економічний ефект (соціальний розвиток, економічне зростання і скорочення бідності за рахунок підвищення якості доріг).

При переході до довгострокових контрактів, що засновані на кінцевих показниках, може бути вирішено ряд ключових питань для дорожнього господарства рис. 1.

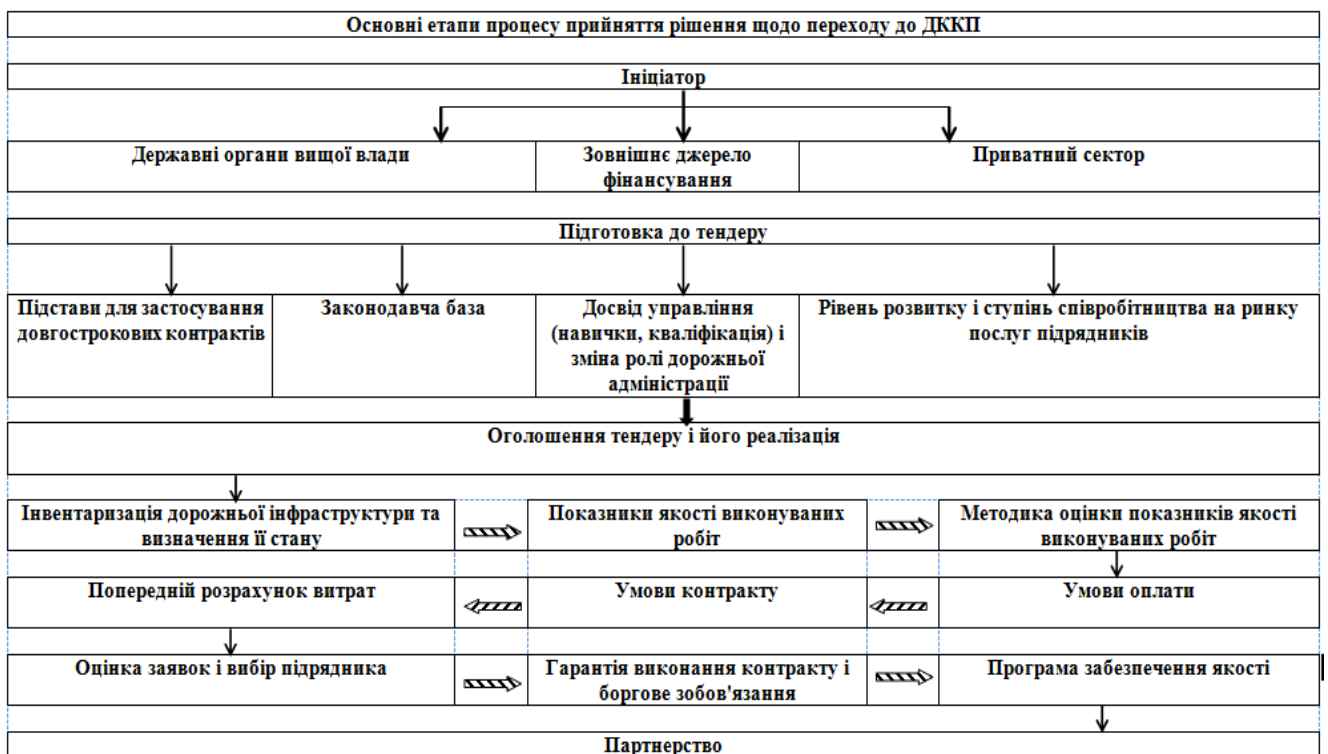


Рисунок 1 – Основні етапи процесу прийняття рішення щодо переходу до ДККП

Дорожні агентства, що впровадили ДККП, досягли економії фінансових коштів від 10% до 40% (табл.1) [4].

Таблиця 1 – Економічний ефект від впровадження ДККП в розрізі країн світу

Країна	Економічний ефект, %
Норвегія	Близько 20% -40%
Швеція	Близько 30%
Фінляндія	Близько 30% -35%
Голландія	Близько 30% -40%
Естонія	20% -40%
Англія	10% мінімум
Австралія	10% -40%
Нова Зеландія	Приблизно 20% -30%
Сполучені Штати	10% -15%
Онтаріо, Канада	Близько 10%
Альберта, Канада	Близько 20%
Британська Колумбія, Канада	Близько 10%

Проведені дослідження використання контрактів ДККП в різних країнах дозволили визначити, що проблеми адаптації цих контрактів відрізняються залежно від законодавчої та нормативно-правової бази та особливості дорожнього господарства країни, в якій впроваджується ДККП.

Так, в Росії для укладення таких контрактів, згідно досліджень фахівців Некомерційного партнерства дорожніх проектних організацій «РОДОС», необхідно [12]:

- внести зміни в законодавство щодо можливості використання ДККП;
- розробити нормативи утримання доріг, які можна було б використовувати в рамках ДККП;
- необхідно прибрати обмеження в витратах підрядника;
- розробити положення про резервування коштів бюджету на довгострокове фінансування.

Але є і більш глобальні перепони . Впровадження подібних контрактів на даному етапі в Росії, на думку експертів, навряд чи можливо через високу інфляцію.

Щодо України, то до основних проблем адаптації цих видів контрактів слід віднести [13]:

- недосконалість нормативно-правової бази (більшість нових підзаконних актів дисгармонують з уже діючим законодавством, законодавче визнання таких видів контрактів – відсутнє, існуюча форма звітності за традиційними контрактами суперечить принципам контрактів ДККП);

- необхідність створення системи кінцевих показників, а також рівнів обслуговування дороги;
- недостатня гнучкість законодавства та нормативно-правової бази щодо застосування інноваційних методів виконання робіт;
- практично відсутній досвід реалізації контрактів такого типу.

Висновки

Аналіз зарубіжного досвіду застосування довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках, дозволив визначити не тільки ряд основних переваг над традиційними, а й окреслив ряд перепон щодо впровадження цих контрактів у дорожню галузь України. Встановлені проблеми використання ДККП вимагають проведення більш ретельних досліджень у перспективі.

Література

1. 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.
 2. Dr. Gunter Zietlow. Cutting Costs and Improving Quality through Performance-Based Road Management and Maintenance Contracts [Електронний ресурс] - The Latin American and OECD Experiences. Regional Seminar on Performance-Based Management and Maintenance Contracts Regional Arusha, Tanzania, February 28-29, 2008. - pp. 1-15. - Режим доступу до журналу: <http://www.performance-based-road-contracts.com>
 3. Sultana M., Rahman A., Chowdhury S. An Overview of Issues to Consider Before Introducing Performance-Based Road Maintenance Contracting / M. Sultana, A. Rahman, S. Chowdhury// World Academy of Science, Engineering and Technology 2012. – 62 p.
 4. 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, 2009.
 5. 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>.
 6. Juan Carlos Picero. A framework for monitoring performance-based road maintenance / Juan Carlos Picero // December 8, 2003. - [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-12092003083115/unrestricted/JuanPinero_PhDDissertation.pdf
 7. A review of contract maintenance for roads. XXI st World Road Congress, PIARC, Kuala Lumpur, Malaysia, 3 -9 October 1999.
 8. Queiroz Cesar. Options for Implementing Performance-based Contracts / Cesar Queiroz // ECSIE, Washington, DC, March 7-11, 2005.
 9. Road Maintenance performance Contracts. Volume 3 // Guidelines for Undertaking Routine Maintenance. Fourth Edition. Queensland Department of Main Roads, 2001 – 226 p.
 10. Performance-Based Contracting for Maintenance // THESIS Final Presentation Copy, 2011. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://ebookbrowse.com/maudib01-thesis-final-presentation-copy-pdf-d462586320>
 11. Highway Maintenance Contracting 2004. World State of Practices. Report of the National Highway Maintenance Contract Seminar, Orlando, Florida, USA, April 2004.
 12. Транспорт России, № 19 (878) от 16 Июля 2015 г. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.transportrussia.ru/avtomobilnye-dorogi/sela-utka-na-dorogu.html>
- Харченко А.М. Еволюція розвитку та переваги застосування довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках, у дорожній галузі. / А.М.Харченко, О.П.Канін, Н.М.Соколова // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2013. – Вип. 28.

МЕТОДИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ З УРАХУВАННЯМ СПЕЦИФІКИ ДОРОЖНЬОГО БУДІВНИЦТВА

Анотація. Методы управления отклонениями нашли широкое применение в процессах реализации проекта дорожного строительства. При планировании проводится проверка входных данных на соответствие нормативам, стандартам и целевым показателям. На этапе выполнения менеджер проекта контролирует фактические данные на соответствие ограничениям и требованиям, установленным в техническом задании и договорах с контрагентами, при анализе и регулировании определяет причины отклонений и вносит соответствующие корректировки.

Результаты статьи позволяют определить изменения относительно изначального объема проектных работ, прогнозировать расходы, время и влияние этих изменений на другие работы, фиксировать информацию об их реализации, вводить систему урегулирования разногласий с минимальными конфликтами.

Прогнозные предположения о развитии объекта исследования – поиск оптимального метода оперативного управления проектами в дорожном строительстве.

Ключові слова: відхилення, дорожнє будівництво, менеджер, метод, оперативне управління, проект, ресурси

Аннотация. В статье проанализированы методы оперативного управления проектами в дорожном строительстве.

Объект исследования – методы оперативного управления проектами в дорожном строительстве.

Цель работы – рассмотреть методы оперативного управления с учетом специфики дорожного строительства.

Метод исследования – методы управления отклонениями.

Методы управления отклонениями нашли широкое применение в процессах реализации проекта дорожного строительства. При планировании проводится проверка входных данных на соответствие нормативам, стандартам и целевым показателям. На этапе выполнения менеджер проекта контролирует фактические данные на соответствие ограничениям и требованиям, установленным в техническом задании и договорах с контрагентами, при анализе и регулировании определяет причины отклонений и вносит соответствующие корректировки.

Результаты статьи позволяют определить изменения относительно изначального объема проектных работ, прогнозировать расходы, время и влияние этих изменений на другие работы, фиксировать информацию об их реализации, вводить систему урегулирования разногласий с минимальными конфликтами.

Прогнозные предположения о развитии объекта исследования – поиск оптимального метода оперативного управления проектами в дорожном строительстве.

Ключевые слова: отклонение, дорожное строительство, менеджер, метод, оперативное управление, проект, ресурсы

Annotation. In paper analyzed the methods of operational projects management in road construction.

Object of the study – methods of operational projects management road construction.

Purpose of the study – to consider the methods of operational projects management in view of specificity road construction.

Method of the study – management by exception.

Management by exception found wide application in the implementation of road construction project. In planning is conducted verification the input data for compliance with norms, standards and performance targets. At the stage of fulfilment project manager controls the actual data to comply with the limits and requirements laid down in the specifications and contracts with counterparties in the analysis and regulations identifies the causes of deviations and make appropriate adjustments.

The results of the paper allow can determine the change relative to the initial volume of project work to forecast cost, time and impact of these changes on other work, fix

information concerning their implementation, implement a system solution the contradictions with minimal conflicts.

Forecast assumptions about the object of study – search for the optimal operational projects management method in road construction.

Key words: deviation, road construction, manager, method, operational management, project, resources.

Вступ

Методи управління відхиленнями (management by exception) знайшли широке застосування у процесах реалізації проекту дорожнього будівництва. При плануванні проводиться перевірка вхідних даних на відповідність нормативам, стандартам та цільовим показникам. На етапі виконання менеджер проекту контролює фактичні дані на відповідність обмеженням та вимогам, встановленим у технічному завданні та договорах з контрагентами, при аналізі та регулюванні виявляє причини відхилень та вносить відповідні корегування.

Завданням методів є привернення уваги менеджерів до суттєвих відхилень і здійснення управління за відхиленнями – принцип управління, за яким менеджер зосереджує увагу на значних відхиленнях від плану і не звертає увагу на показники, які виконуються задовільно. Складовою мистецтва управління є вирішення питання про те, які відхилення є суттєвими і потребують уваги. При цьому беруть до уваги розмір відхилення, їх повторюваність, контрольованість, вартість і корисність відхилення, позитивні відхилення [9].

Постановка проблеми.

В системі управління процесом реалізації проекту не завжди комплексно та вчасно оцінюються зміни, ризики та проблеми, що призводить до збільшення бюджету проекту, порушення умов договорів та контрактів.

Мета дослідження.

В статті розглянуто методи оперативного управління проектами з урахуванням специфіки дорожнього будівництва.

Результати дослідження.

Під час реалізації проекту завдяки процесам моніторингу та контролю його керівники відстежують обсяг виконаних робіт, витрати ресурсів та часу. Менеджер проекту відстежує відхилення фактичних показників від плану, а за необхідності проводить корегуючі дії для досягнення цілей проекту.

Відхилення від планів і завдань виникають тому, що процес досягнення цілей не легкий. Причинами відхилення можуть бути різного роду непередбачені ситуації, які виникають в процесі виконання плану, ігнорування виконавцями необхідних дій з причин недбалості, стомленості, некомпетентності, недобросовісності, зловживання [7].

Відхилення можуть бути різними за масштабами і наслідками. Якщо вони незначні, на них зовсім можна не звертати уваги, або підлеглі можуть самостійно виправляти становище, не доводячи до відома керівника. При значних відхиленнях, які складають небезпеку для розвитку організації або підрозділу, керівництво вимушене брати управління в свої руки. Для визначення моменту, коли керівництво повинно втручатися в діло, відхилення класифікують по якісним і кількісним параметрам, строкам, причинам виникнення, ступеню небезпеки з визначенням критичних значень. Якщо останні перевершені, то виникає необхідність втручання керівництва в управлінський процес [3].

Таким чином, керівник бере на себе безпосередню управлінську діяльність тільки у важливих випадках, полягаючись в іншому на досвід і здібності виконавців. Це дозволяє йому не витрачати на пустощі сили та час, скорочувати кількість приймаємих рішень і надавати простір творчості підлеглих. Керівник частину своїх повноважень по прийняттю менш важливих і відповідальних рішень передає підлеглим, не дистанціюючись від них, а спостерігаючи за їх діями і при необхідності виправляючи. Для забезпечення ефективності такої системи, керівник повинен довіряти підлеглим, своєчасно заохочуючи їх за досягнуті успіхи і одночасно не дозволяючи перекладати на нього відповідальність за виконання рішення [3].

При виникненні відхилень проект може отримувати збитки і потрапляти в область наступних витрат: планових, допустимих, критичних та катастрофічних. Допустимі відхилення в процесі реалізації проекту на концептуальній фазі на рівні 15-25% потрапляють в область планових або допустимих витрат. При реалізації та завершенні проекту в область недопустимих витрат потрапляють відхилення 0-3%. Внутрішні відхилення проекту призводять до технологічних змін, похибок у планах та оцінках, помилок у виборі методів, інструментів, організаційної структури та стандартів, змін у контрактах та специфікаціях.

За А. Товбом, ризики, проблеми, зміни тісно пов'язані між собою і повинні розглядатись у рамках єдиної системи управління відхиленнями [4].

Зміни в проекті розглядаються як модифікація раніше узгоджених строків виконання та вартості робіт, управлінських та технологічних процесів [4].

Керівник протягом всього життєвого циклу проекту в кожній предметній області виявляє причини відхилень, контролює та здійснює заходи щодо їх корегування. На основі робіт [2,5,8] зведемо методи управління відхиленнями при реалізації проекту в табл. 1.

Таблиця 1 – Методи управління відхиленнями при реалізації проектів з урахуванням специфіки дорожнього будівництва

Стадії проекту	Причини відхилень	Методи контролю відхилень	Методи корегування відхилень
1	2	3	4
1. Управління обсягом проекту	- непередбачувані технічні проблеми проекту; - розширення обсягу робіт; - недостатність ресурсів проекту.	- метод скоригованого бюджету (Earned Value).	- формалізація цілей; - формування критеріїв; - корегування цілей.
2. Управління часом	- технічні проблеми; - послідовність робіт невірно визначена; - недоступність ресурсів у потрібні терміни; - не повністю виконані попередні задачі.	- дисперсія, або варіація значень часу на виконання робіт.	- зміна терміну завершення робіт; - зміщення віх.
3. Управління якістю	- результат проекту не відповідає вимогам, стандартам; - нечітке виконання робіт відповідно до проектної документації.	- статистичний (правило 3-х сігм, метод контрольної карти Шухарта); - експертні методи.	- підвищення та пониження якості; - заміна ресурсів.
4. Методи управління вартістю	- технічні проблеми потребують збільшення фінансування; - зафіксоване зниження попередніх оцінок; - погано складений кошторис; - несвоєчасність проведення корегувань; - підвищення цін на ресурси.	- статистичний; - метод скоригованого бюджету; - традиційний (Δ) (розходження по витратах); - визначення терміну окупності проекту; - метод дерева рішень; - аналіз точки беззбитковості; - метод Монте-Карло.	- оптимізація; - рефінансування; - реструктуризація бюджету; - опрацювання бюджетування на пілотних проектах.
5. Управління персоналом	- наявність конфліктів та незгод відносно ідей та методів; - приховані мотиви, особисті конфлікти між учасниками.	- метод дерева рішень.	- управління змінами в роботі персоналу; - управління віртуальною командою.

Кінець табл. 1

1	2	3	4
6. Управління комунікаціями	- перекручення та приховування інформації, приховування помилок; - недостатня або надмірна форма-лізація звітності та взаємодії; - відсутність чітких, узгоджених каналів спілкування; - проблеми своєчасного доступу до актуальних документів по проекту; - необґрунтовані (суб'єктивні) пропозиції; - реактивна (емоційна) поведінка учасників відносно отриманого повідомлення.	-традицій-ний (Δ).	- реорганізація системи комунікацій; - автоматизація; - технічне дооснащення.
7. Управління контрактами	- контракт має обтяжливі задокументовані вимоги; - контракт потребує додаткової роботи щодо погодження.	-статис-тичний.	- робота з документами; - відстеження; - обговорення процедур змін.

Висновки

Таким чином використання методу управління відхиленнями дозволяє:

- визначити зміни відносно початкового обсягу проектних робіт;
- прогнозувати витрати, час і вплив цих змін на інші роботи;
- фіксувати інформацію щодо їх реалізації,
- інформувати про них вище керівництво;
- запроваджувати систему вирішення суперечностей з мінімальними конфліктами.

Отже, система управління відхиленнями не тільки виявляє відхилення та її наслідки, а і своєчасно дозволяє усунути причини їх виникнення.

Література

1. Батенко Л.П. Управління проектами: навч. посібник / Л.П. Батенко, О.А. Загородній, В.В. Ліщинська. – К.: КНЕУ, 2003. – 231 с.
2. Ковшун Н.Е. Аналіз та планування проектів: навч. посібник / Н.Е. Ковшун. – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 344 с.
3. Рульєв В.А., Гуткевич С.О. Менеджмент: навч. посібник / В.А. Рульєв, С.О. Гуткевич. – К.: Центр учбової літератури, 2011. – 312 с.
4. Товб А.С. Управление проектами: стандарты, методы, опыт / А.С. Товб. – М.: Олимп-Бизнес, 2003. – 240 с.
5. Фунтов В.Н. Основы управления проектами в компании / В.Н. Фунтов. – 2-е изд., доп. – СПб.: Питер, 2008. – 336 с.
6. Економічний аналіз: навч. посібник / М.А. Болюх, В.З. Бурчевський, М.І. Горбатюк; [за ред. акад. НАУН, проф. М.Г. Чумаченка]. – К.: КНЕУ, 2001. – 540 с.
7. Менеджмент в АПК / Ю.Б. Королев, В.Д. Коротнев, Г.Н. Кочетова и др. – М.: Колос С, 2007. – 424 с.
8. Практикум з теорії ймовірностей та математичної статистики: навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. / Р.К. Чорней, О.Ю. Дюженкова, О.Б. Жильцов та ін.; [за ред. Р.К. Чорней]. – К.: МАУП, 2004. – 328 с.
9. Управлінський облік: методика викладання у вищій школі: навч. посібник / О.В.Карпенко. – К.: Центр навч. л-ри, 2007. – 244 с.

УДК 556.16.45 + 523.745

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

**МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ СВЕРХБОЛЬШИХ ПРОПУСКОВ В
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ**

Анотація. Наведений метод відновлення безперервних пропусків в гідрологічних рядах даних спостережень.

Об'єкт дослідження: ряди середньодобових витрат води 4 річок одного басейну.

Мета роботи: усунення надвеликих пропусків в рядах гідрологічних даних.

Помилка відновлення ряду даним методом складає менш ніж 15%.

Ключові слова: гідрологічні часові ряди, відновлення безперервних пропусків в рядах даних, помилка відновлення гідрологічного ряду.

Аннотация. Приведен метод восстановления непрерывных пропусков в гидрологических рядах данных наблюдений.

Объект исследования: ряды среднесуточных расходов воды 4 рек одного бассейна.

Цель работы: устранение сверхбольших пропусков в рядах гидрологических данных.

Ошибка восстановления ряда данным методом составила менее 15%.

Ключевые слова: гидрологические временные ряды, восстановление непрерывных пропусков в рядах, ошибка восстановления гидрологического ряда.

Annotation. In Article is brought method of the reconstruction unceasing skipping in hydrological time series.

Object of studies are the series of the daily consumption of water of one catchment basin.

The aim of the research is a eliminating, very – large – scale skipping in hydrological data.

Error of the reconstruction with given method forms less than 15%.

Keywords: hydrological time series, reconstruction unceasing skipping in hydrological time series, error of the time series reconstruction.

Введение

Для получения адекватного прогноза исходные гидрологические ряды должны быть высокого качества (без пропусков и ошибочных значений).

В противном случае процедура может не выявить закономерностей в поведении ряда, которые в дальнейшем используются непосредственно для целей прогнозирования.

Если говорить только о небольших пропусках в исходных гидрологических рядах (несколько идущих подряд значений), то такие пропуски могут быть легко устранены при помощи обычных методов интерполирования, причем с достаточно малыми ошибками.

Однако в данной работе будем рассматривать очень большие непрерывные пропуски величиной порядка 365 значений, или даже, например, 5х365 значений.

Устранение таких сверхбольших пропусков в гидрологических рядах представляет собой нетривиальную задачу, поскольку ее решение не может быть сведено к применению обычных процедур интерполяции.

Как известно, при недостаточной гидрологической характеристике объекта прогнозирования часто используются данные по рекам-аналогам, что требует совместного анализа поведения временных рядов соответствующих рек [1,2].

Ключевая идея данного метода восстановления сверхбольших пропусков также основывается на том, что реки, принадлежащие одному и тому же бассейну, должны иметь взаимосвязанное поведение в своих расходах.

Установив конкретные взаимосвязи в расходах, можно далее восстановить и сверхбольшие пропуски в рядах исходных данных.

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

Модель процесса

Пусть, например, есть 4 реки (реки $R_1 \dots R_4$), принадлежащие одному бассейну (в данном случае это реки бассейна р. Десна).

При этом учитывалось, что линейная связь между стоком двух сравниваемых рек, оцениваемая коэффициентом корреляции $r \geq 0.7$, является обязательным условием при выборе реки-аналога (СНиП 2.01.14-83).

Для этих рек имеются непрерывные (без пропусков) данные наблюдений за среднесуточными расходами, $\text{м}^3/\text{с}$, в течение нескольких десятилетий, начиная с 1.01.1960 г. и по 31.12.2009 г.

Для простоты вычислений данные за 29 февраля высокосных годов не рассматривались (считалось, что в году 365 дней).

Теперь положим, что у одной из этих рек (например, реки R_4) имеется большой пропуск в рядах данных, в то время как для трёх других рек имеем данные без пропусков.

Задача состоит в восстановлении данных за последние 5 лет наблюдений (от 16426 и до 18250 значений ряда) для реки R_4 .

На первом этапе исследований по данным за 1960-2004 г.г. (данные для всех рек $R_1 \dots R_4$ без пропусков) устанавливали функциональную зависимость вида

$$R_4 = \Psi (R_1; R_2; R_3), \quad (1)$$

где Ψ – векторная функция (векторных) аргументов,

R_1, R_2, R_3, R_4 – вектора (ряды) среднесуточных расходов соответствующих рек, $\text{м}^3/\text{с}$,

что позволило построить 7 моделей процесса.

При этом считали, что взаимосвязи между расходами всех рек линейные (см. выше).

Для всех моделей определяли коэффициенты, которые представляли собой обычные скалярные величины (вычислялись во всех случаях по методу наименьших квадратов).

Таблица 1 - Ниже в таблице приведены виды моделей и полученные коэффициенты.

Номер модели	Вид функциональной зависимости
1.	$R4 = K1 \cdot R1$, $K1 = 8.8103$
2.	$R4 = K2 \cdot R2$, $K2 = 6.5587$
3.	$R4 = K3 \cdot R3$, $K3 = 2.0897$
4.	$R4 = K1 \cdot R1 + K2 \cdot R2$, $K1 = -0.7119$; $K2 = 6.9578$
5.	$R4 = K1 \cdot R1 + K3 \cdot R3$, $K1 = 0.7605$; $K3 = 1.9700$
6.	$R4 = K2 \cdot R2 + K3 \cdot R3$, $K2 = 2.4672$; $K3 = 1.4227$
7.	$R4 = K1 \cdot R1 + K2 \cdot R2 + K3 \cdot R3$, $K1 = -1.6583$; $K2 = 3.2729$; $K3 = 1.4658$

Как видно, модели с номерами 1, 2 и 3 рассматривают функцию одного аргумента, модели с номерами 4, 5 и 6 – функцию двух аргументов, модель с номером 7 – функцию трех аргументов.

Во всех случаях нахождение коэффициентов полностью определяло вид функции (1).

Далее, пользуясь этими моделями, восстанавливали среднесуточные расходы для реки R4 за последние 5 лет наблюдений (1825 значений) и строили графики для реальных и восстановленных значений данных за 2005-2009 годы.

Как оказалось, наилучшие результаты восстановления дают модели 3 и 5 (но это не всегда однозначно отражается на величине ошибки восстановления участка ряда).

Итоговый результат восстановления значений ряда может представлять собой среднее арифметическое, полученное в результате расчетов по этим двум моделям.

На рис.1 и рис.2 приведены соответствующие графики расходов, построенные по данным моделей 3 и 5.

Измерение ошибки восстановления пропущенных значений

Как было отмечено выше, при численном эксперименте из исходных данных реки R4 искусственно удаляли значения ряда за последние 5 лет наблюдений.

Затем выполняли восстановление пропусков и сравнивали полученные результаты с реальной действительностью.

Такой подход дает возможность достаточно точно оценить ошибку восстановления пропущенных значений.

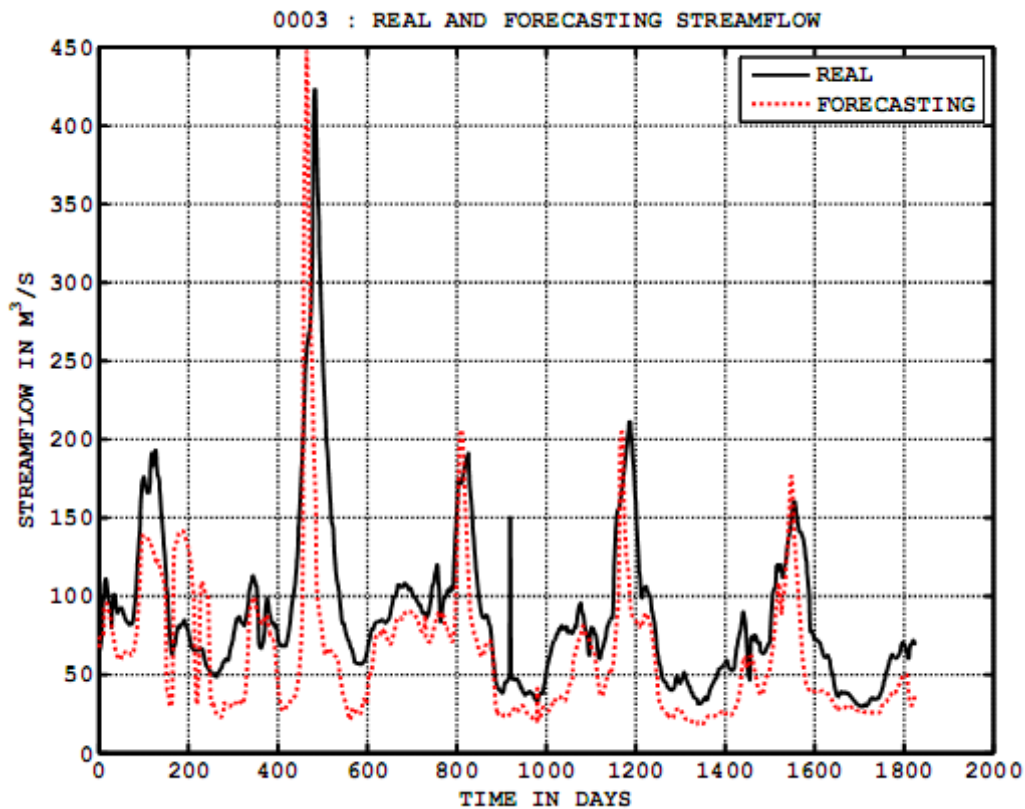


Рисунок 1

В нотации **MATLAB** ошибка **E** восстановления ряда определяется в процентах как

$$E = 100. * \text{SUM}(\text{ABS}(\text{R}-\text{F}))./(\text{L} * \text{RANGE}(\text{R})) \quad (2)$$

и вычисляется при одновременном выполнении двух условий :

$$\begin{cases} \text{L} = \text{LENGTH}(\text{R}) = \text{LENGTH}(\text{F}) > 1, \\ \text{RANGE}(\text{R}) \neq 0. \end{cases}$$

Понятно, что множитель 100 появляется в (2), поскольку ошибку выражаем в процентах.

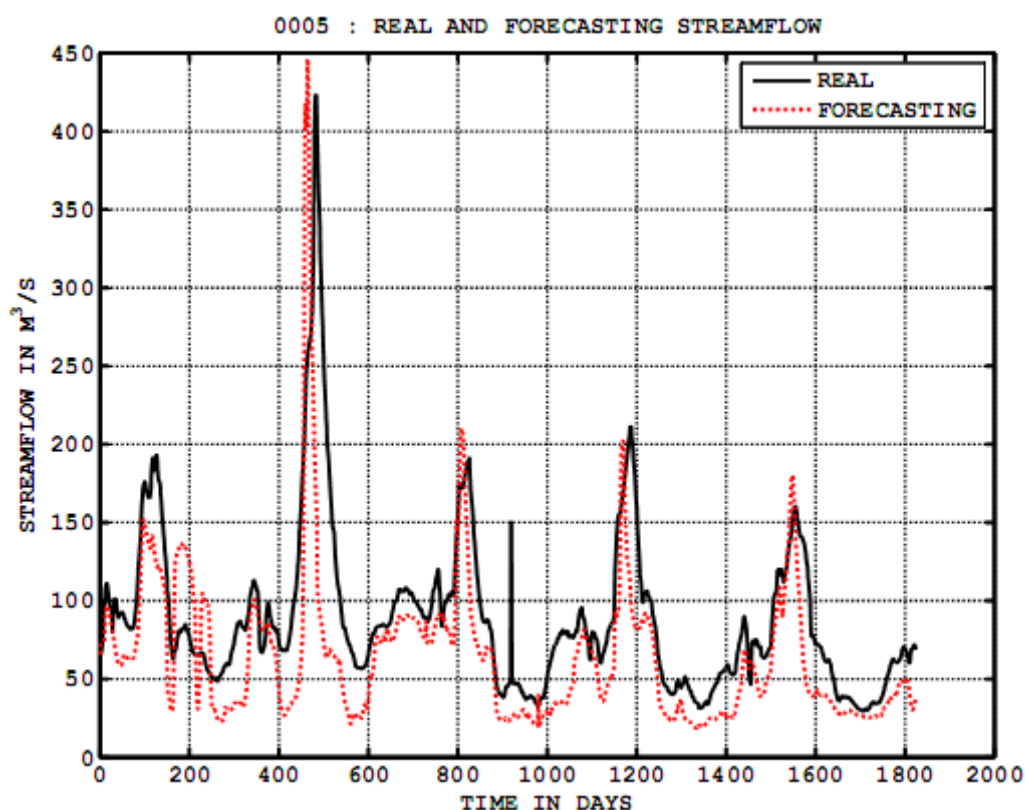


Рисунок 2

Здесь E – скаляр;

R – вектор (ряд) истинных величин;

F – вектор (ряд) восстановленных (спрогнозированных) величин;

L – длина вектора R (вектора F), скалярная величина;

$(R-F)$ – разница между реальными и восстановленными значениями. В данном случае

$(R-F)$ – вектор (ряд), отдельные составляющие которого могут быть как положительными, так и отрицательными числами

$RANGE(R) = MAX(R) - MIN(R)$ – размах ряда R , величина скалярная;

$ABS(R-F)$ – вектор (ряд), отдельные составляющие которого не могут быть отрицательными числами;

$SUM(ABS(R-F))$ – скаляр, представляющий собой сумму всех отклонений (не отрицательных) между R и F по всей длине этих рядов (R и F).

По сути, ошибка восстановления уже определяется выражением $SUM(ABS(R-F))$, но для существенно различных рядов в общем случае могут получаться несравнимые результаты.

Разделим далее последнее выражение на длину ряда R (или длину ряда F).

Теперь можно сравнивать ошибки, полученные при восстановлении рядов различной длины.

Затем делим все на разницу между максимальным и минимальным значением ряда R .

В итоге появляется возможность адекватного сравнения ошибок восстановления для рядов с совершенно различным размахом (см. (2)).

Таким образом определяли ошибки восстановления для участка ряда за последние 5 лет.

Ошибка восстановления E для всех случаев составила менее 15% (11,9111% для модели 1; 12,3582% для модели 2; 8,1656% - модели 3; 12,5898% - модели 4; 7,9036% - модели 5; 8,3533% - модели 6 и 8,9513% - модели 7).

Выводы

1. Восстановление сверхбольших непрерывных пропусков в гидрологических рядах данным методом вполне реально.

Во всех случаях пиковые значения расходов и ход кривых на графиках описываются с достаточно большой точностью.

При малых значениях расходов точность восстановления снижается. Однако, поскольку практический интерес вызывают именно наибольшие расходы, некоторое снижение точности восстановления в период малых расходов не столь существенно.

2. Ошибка восстановления для всех рассмотренных случаев (модели 1...7) составила менее 15%.

3. Данные линейные модели целесообразно выбирать за некий эталон, по которому в дальнейшем можно оценивать качество работы более совершенных нелинейных моделей.

Литература

1. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л. : Гидрометеиздат. – 1984. – 448 с.
2. Рождественский А.В. Оценка точности гидрологических расчетов / А.В. Рождественский, А.В. Ежов, А.В. Сахарюк // Л. : Гидрометеиздат, – 1990. – 276 с.

Кузло М.Т. д-р техн. наук

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН БАГАТОШАРОВИХ ГРУНТОВИХ МАСИВІВ В УМОВАХ ФІЛЬТРАЦІЙНОЇ КОНСОЛІДАЦІЇ СОЛЬОВИХ РОЗЧИНІВ

Анотація. Отримано теоретичні рішення з визначення напружено-деформованого стану багатошарових ґрунтових масивів при наявності та фільтрації сольових розчинів з урахуванням фільтраційної консолідації ґрунту.

Ключові слова: переміщення, напруження, фільтраційна консолідація.

Аннотация. Получены теоретические решения с определения напряженно-деформованного состояния многослойного грунтового массива при наличии и фильтрации солевых растворов с учетом фильтрационной консолидации грунта.

Ключевые слова: перемещения, напряжения, фильтрационная консолидация.

Annotation. The theoretical decisions towards the determination of strained-deformed state of multilayer soil massifs under the availability of salt solutions taking into account the filtration consolidation of soil have been obtained.

Key words: transference, tension, filtration consolidation.

Відомо, що у процесі будівництва автомобільних доріг земляне полотно зводиться не відразу, а поступовим нарощуванням кількості шарів. Кожен шар може володіти власними властивостями, які суттєво відрізняються від властивостей інших шарів. Такий шар ґрунту будемо називати зростаючим. Відомо багато наукових робіт з дослідженням консолідації зростаючого шару ґрунту [1]. Однак, в них в якості порової рідини приймалась чиста вода і не враховувався ефект наявності сольових розчинів в ґрунтах [2].

Метою роботи є отримання аналітичних залежностей, що описують напружено-деформований стан (НДС) багат шарових ґрунтових масивів в умовах фільтраційної консолідації сольових розчинів.

Для вирішення даної проблеми, розглянемо одновимірну задачу напружено-деформованого стану багат шарового ґрунтового масиву, який складається з n горизонтальних шарів з врахуванням фільтраційної консолідації ґрунту під впливом рівномірно прикладеного зовнішнього навантаження інтенсивністю $q(t)$ (рис.1). Якщо поровою рідиною ґрунту є сольовий розчин з певним розподілом концентрації солей $c(x)$, тоді виникає задача вивчення впливу переносу солей на проходження фільтраційної консолідації даного масиву ґрунту.

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

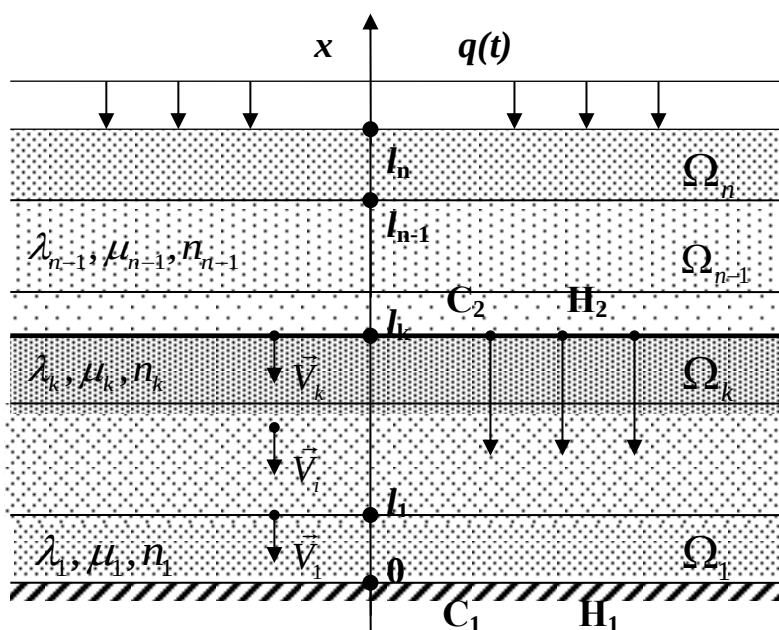


Рисунок 1 - Багат шаровий ґрунтовий масив при наявності фільтраційної консолідації

Математичну модель даної задачі з рівнянь НДС, що записані в переміщеннях, рівняння конвективної дифузії розчинених солей, рівняння фільтраційної консолідації ґрунту.

Рівняння НДС в переміщеннях для заданої розрахункової схеми записуються у вигляді:

$$(\lambda_i + 2\mu_i) \frac{d^2 u_i}{dx^2} = X_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad x \in \bigcup_{i=1}^n (l_{i-1}, l_i), \quad l_0 = 0. \quad (1)$$

Тут: $u_i, \quad i = \overline{1, n}$ – переміщення вздовж осі ОХ в ґрунтах, що знаходяться відповідно в зваженому та в природному станах; $\lambda_i, \mu_i, \quad i = \overline{1, n}$ – коефіцієнти Ламе (пружні сталі);

$$X_i = \begin{cases} \gamma_{зв.i} + \frac{dp_i}{dx}, & i = \overline{1, k}, \\ \gamma_{np.i}, & i = \overline{k+1, n}. \end{cases}$$

де $\gamma_{зв.i}, i = \overline{1, k}$ – питома вага ґрунту в i -ому шарі в зваженому стані;

$p_i, i = \overline{1, k}$ – фільтраційний тиск.

Крайові умови для переміщень мають вигляд:

$$u_1(0) = 0, \quad (2)$$

$$u_n(l) = 0, \text{ або } \frac{du_n(l)}{dx} = 0. \quad (3)$$

Умови спряження записуються так:

$$u_i(l_i) = u_{i+1}(l_i), \quad i = \overline{1, n-1}, \quad (4)$$

$$(\lambda_i + 2\mu_i) \frac{du_i(l_i)}{dx} = (\lambda_{i+1} + 2\mu_{i+1}) \frac{du_{i+1}(l_i)}{dx}, \quad i = \overline{1, n-1}. \quad (5)$$

Запишемо рівняння конвективної дифузії розчинених солей:

$$D_i \frac{d^2 c_i}{dx^2} - V_i \frac{dc_i}{dx} - \gamma(c_i - C_*) = 0, \quad i = \overline{1, k}. \quad (6)$$

Крайові умови та умови спряження для концентрації мають вигляд:

$$L_1 c_1 = \left(\alpha_1 c + \beta_1 \frac{dc_1}{dx} \right) \Big|_{x=0} = C_1, \quad (7)$$

$$c_i(l_i) = c_{i+1}(l_i), \quad i = \overline{1, k-1}, \quad (8)$$

$$D_i \frac{dc_i(l_i)}{dx} = D_{i+1} \frac{dc_{i+1}(l_i)}{dx}, \quad i = \overline{1, k-1}, \quad (9)$$

$$L_2 c_k = (\alpha_2 c + \beta_2 \frac{dc_k}{dx}) \Big|_{x=l_k} = C_2, \quad (10)$$

де $L_1 c_1, L_2 c_k$ - оператори, що задають граничні умови для концентрації на вході та на виході фільтраційного потоку.

Фільтрацію сольових розчинів запишемо у вигляді рівняння:

$$V_i = -k(c(x)) \frac{dh_i}{dx} \pm \nu \frac{dc_i}{dx}, \quad \frac{dV_i}{dx} = 0, i = \overline{1, k} \quad (11)$$

де $k(c(x))$ - коефіцієнт фільтрації; ν - коефіцієнт осмосу.

В формулі (11) знак „+” відповідає нормальній осмотичній фільтрації, а знак „-” – аномальній.

Основне рівняння консолідації ґрунту при наявності сольових розчинів має вигляд:

$$\frac{1 + \bar{e}}{\gamma_{sp} \cdot a} \left[\frac{d}{dx} \left(k(c(x)) \frac{dh_i}{dx} \right) \mp \frac{d}{dx} \left(\nu \frac{dc_i}{dx} \right) \right] = 0, i = \overline{1, k}, \quad (12)$$

де $\bar{e}$ – середнє значення коефіцієнта пористості; γ_{sp} – питома вага ґрунту;

a – коефіцієнт стисливості ґрунту.

Для розв’язання поставленої задачі розглянемо масив ґрунту, що складається з двох шарів з вільною поверхнею на висоті l_2 . Перейдемо до безрозмірних величин згідно формул

$$\bar{x} = \frac{x}{l_0}, \quad \bar{l} = \frac{l}{l_0}, \quad \bar{k} = \frac{k}{\tilde{k}}, \quad \bar{u}_i = \frac{u_i}{l_0}, \quad \bar{a}_i = a_i \cdot l_0, i = \overline{1, 3},$$

$$\bar{c}_i = \frac{c_i}{C_*}, \quad \bar{D}_i = \frac{D_i}{l_0 \tilde{k}}, \quad \bar{a}'_i = a'_i \cdot l_0, \bar{a}''_i = a''_i \cdot l_0, \bar{l}_i = \frac{l_i}{l_0}, \bar{h}_i = \frac{h_i}{l_0}, \bar{p}_i = \frac{p_i}{l_0}, i = \overline{1, 2},$$

де $\bar{l} < 1$ для будь-якого $t > 0$.

Враховуємо, що $l(t) \leq l_0, l(t) - l_0 = u_3(l(t)), l(0) = l_0$.

Математична модель НДС ґрунту у безрозмірних змінних запишеться у вигляді (рисочки над безрозмірними змінними опустимо):

$$\frac{d^2 u_i}{dx^2} = a_i + a'_i \cdot \frac{1}{k(c(x))} + a''_i \cdot \frac{1}{k(c(x))} \frac{dc_i}{dx}, \quad i = \overline{1, 2}, \quad (13)$$

$$x \in \bigcup_{i=1}^2 (l_{i-1}, l_i), \quad l_0 = 0,$$

$$\frac{d^2 u_3}{dx^2} = a_3, \quad x \in (l_2, l), \quad (14)$$

$$\text{де } a_i = \frac{\gamma_{\text{зв},i} - \gamma_p}{\lambda_i + 2\mu_i}, \quad a'_i = \frac{\gamma_p A_i}{(\lambda_i + 2\mu_i)}, \quad a''_i = \frac{\pm \gamma_p V}{(\lambda_i + 2\mu_i)}, \quad i=1,2, \quad a_3 = \frac{\gamma_{np.}}{\lambda_3 + 2\mu_3}.$$

Розглядуємо випадок, коли крайові умови для переміщень мають вигляд

$$u_1(0) = 0, \quad \frac{du_3(l)}{dx} = 0 \quad (15)$$

З умови (15) випливає наявність переміщення верхньої межі ґрунту.

Умови спряження запишуться у вигляді:

$$u_i(l_i) = u_{i+1}(l_i), \quad i = \overline{1,3}, \quad (16)$$

$$(\lambda_i + 2\mu_i) \frac{du_i(l_i)}{dx} = (\lambda_{i+1} + 2\mu_{i+1}) \frac{du_{i+1}(l_i)}{dx}, \quad i = \overline{1,3}. \quad (17)$$

Загальний розв'язок (13), (14) отримано у вигляді

$$u_i(x) = \frac{a_i x^2}{2} + a'_i \int_{l_{i-1}}^x \left(\int_{l_{i-1}}^z \frac{ds}{k(c(s))} \right) dz + a''_i \int_{l_{i-1}}^x c(z) \left(\int_{l_{i-1}}^z \frac{ds}{k(c(s))} \right) dz + c_{2i-1} x + c_{2i}, \quad i=1,2, \quad (18)$$

$$u_3(x) = \frac{a_3 x^2}{2} + c_5 x + c_6, \quad (19)$$

$$\text{де } c_2 = 0, \quad (20)$$

$$c_5 = -a_3 l, \quad (21)$$

$$c_1 = \frac{\lambda_2 + 2\mu_2}{\lambda_1 + 2\mu_1} (a_2 l_1 + c_3) - a_1 l_1 - (a'_1 + a''_1 c(l_1)) \int_0^{l_1} \frac{dz}{k(c(z))}, \quad (22)$$

$$c_3 = \frac{\lambda_3 + 2\mu_3}{\lambda_2 + 2\mu_2} (a_3 l_2 + c_5) - a_2 l_2 - (a'_2 + a''_2 c(l_2)) \int_{l_1}^{l_2} \frac{dz}{k(c(z))}, \quad (23)$$

$$c_4 = \frac{a_1 - a_2}{2} l_1^2 + a'_1 \int_0^{l_1} \left(\int_0^z \frac{ds}{k(c(s))} \right) dz + a''_1 \int_0^{l_1} c(z) \left(\int_0^z \frac{ds}{k(c(s))} \right) dz + l_1 (c_1 - c_3), \quad (24)$$

$$c_6 = \frac{a_2 - a_3}{2} l_2^2 + a'_2 \int_{l_1}^{l_2} \left(\int_{l_1}^z \frac{ds}{k(c(s))} \right) dz + a''_2 \int_{l_1}^{l_2} c(z) \left(\int_{l_1}^z \frac{ds}{k(c(s))} \right) dz + l_2 (c_3 - c_5) + c_4. \quad (25)$$

Таким чином, задача НДС двошаровому масиві ґрунту при наявності переміщення верхньої межі з врахуванням фільтраційної консолідації розв'язана повністю і дається формулами (18)-(25).

В якості прикладу виконані числові розрахунки з визначення величини переміщень, деформацій та напружень в багат шаровому ґрунтовому масиві при наступних вхідних даних:

$\lambda_1 = 7500 \text{ кг/м}^2$; $\lambda_2 = 13500 \text{ кг/м}^2$; $\lambda_3 = 17000 \text{ кг/м}^2$; $\mu_1 = 5000 \text{ кг/м}^2$; $\mu_2 = 9000 \text{ кг/м}^2$; $\mu_3 = 11500 \text{ кг/м}^2$; $\gamma_{\text{зб.1}} = 11,5 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{\text{зб.2}} = 10,5 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{\text{пр.}} = 17,0 \text{ кг/м}^3$; $l_1 = 0,3 \text{ м}$; $l_2 = 0,7 \text{ м}$; $l_0 = 1 \text{ м}$; $H_1 = 0,05 \text{ м}$; $H_2 = 0,65 \text{ м}$; $C_1 = 0 \text{ г/л}$; $C_2 = 350 \text{ г/л}$; $D_1 = 0,02 \text{ м}^2/\text{доба}$; $D_2 = 0,019 \text{ м}^2/\text{доба}$; $\nu = 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^5/\text{кг} \cdot \text{доба}$.

Результати розрахунку з визначення переміщень, деформацій та напружень наведені в табл. 1.

Таблиця 1 - Значення переміщень, деформацій та напружень

	x	$u(x), \times 10^{-4}$	$\varepsilon(x), \times 10^{-4}$	$\sigma(x)$
Ґрунт в зваженому стані	0	0	-6,62532	-11,59431
	0,1	-0,61645	-6,13499	-10,73624
	0,2	-1,13785	-5,62829	-9,84951
	0,3	-1,47713	-4,82753	-8,44817
Ґрунт в зваженому стані	0,3	-1,47713	-2,68196	-8,44817
	0,4	-1,69514	-2,53423	-7,98283
	0,5	-1,86961	-2,34808	-7,39645
	0,6	-1,95017	-2,05028	-6,45838
	0,7	-1,89294	-1,61724	-5,09431
Ґрунт в природному стані	0,7	-1,89294	-1,27358	-5,09431
	0,8	-1,99905	-0,84857	-3,39431
	0,9	-2,06266	-0,42357	-1,69431
	1,0	-2,08377	0,00142	0,00569

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

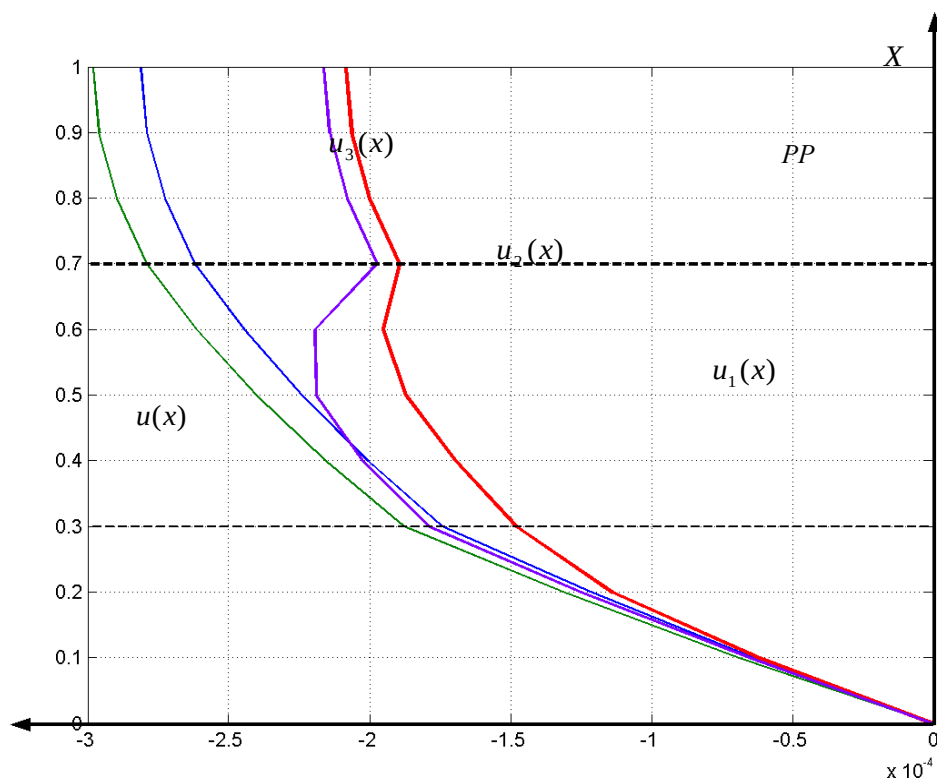


Рисунок 2 - Графік розподілу переміщень

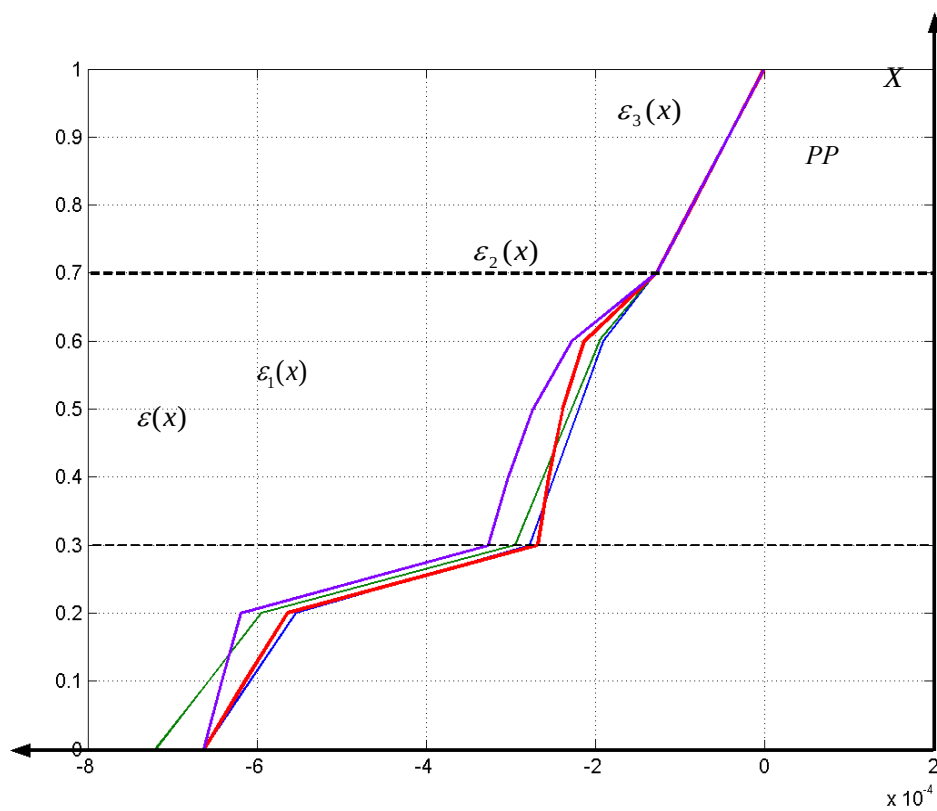


Рисунок 3 - Графік розподілу деформацій

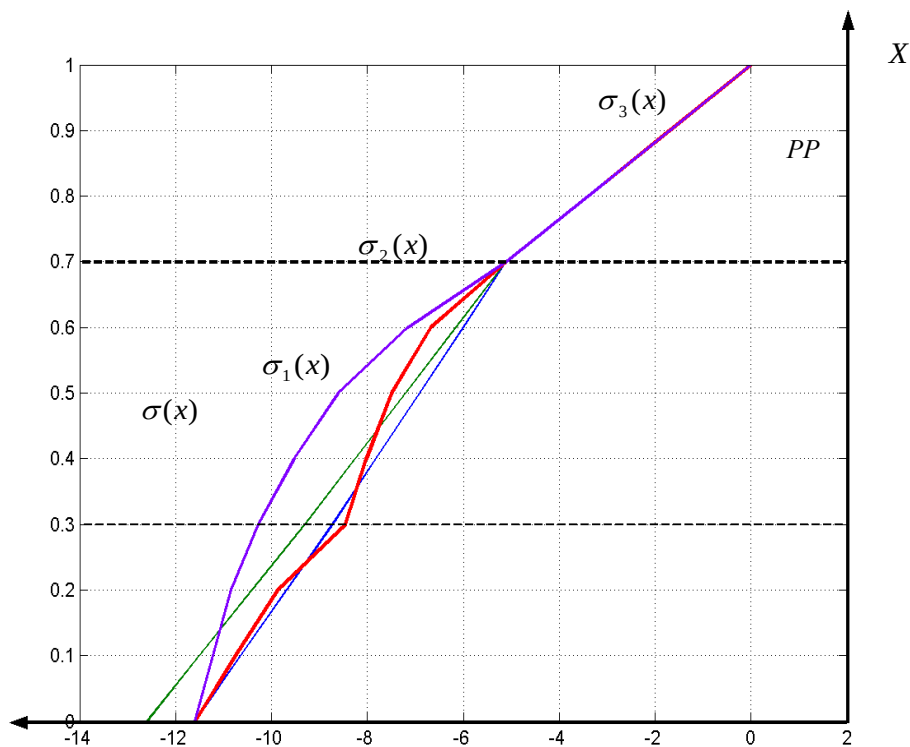


Рисунок 4 - Графік розподілу напружень

Висновок

Отримані результати показують, що вказані вказані фізико-механічні процеси суттєво впливають на напружено-деформований стан багат шарового ґрунтового середовища. В результаті цього впливу може погіршуватися нормальна експлуатація земляного полотна та дорожнього одягу. Подальшими дослідженнями можуть бути отримання відповідних розв'язків при змінних деформаційних характеристиках ґрунту.

Література

1. Гольдин А. Л. Анализ консолидации растущего слоя грунта // Изв. ВНИИГ. – 1972. – Т.99. – С.119-126.
2. Кузлю М. Т. Оцінка напружено-деформованого стану багат шарового ґрунтового масиву при дії фільтраційного потоку води // Комунальне господарство міст: Науково-технічний збірник. – Вип. 105 – Харків, 2012. – С.232-241.

Марчук О.В. д-р техн. наук

**ДОСЛІДЖЕННЯ УРАХУВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ ТЕРТЯ
ПРИ РОЗРАХУНКУ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ НА МОСТАХ
НАПІВАНАЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

Анотація. Побудовано варіант напіваналітичного методу скінченних елементів. Він полягає у застосуванні у плані конструкції полілінійної апроксимації. Розподіл шуканих функцій за товщиною шляхом розв'язання відповідної системи диференціальних рівнянь. На основі побудованої методики досліджено вплив тертя на напружено-деформований стан дорожнього покриття на мостовому переході. Показано, що розрахунок дорожнього покриття на мостовому переході без урахування тертя не відображає адекватно напружено-деформований стан дорожнього покриття. Урахування тертя приводить до виникнення небезпечних розтягувальних напружень у верхньому шарі. Їх величина більша ніж від'ємні напруження від нормального навантаження. В сумі вони мають суттєве додатне значення.

Ключові слова: напіваналітичний метод скінченних елементів, дорожнє покриття на мостовому переході, навантаження тертя.

Аннотация. Построен вариант полуаналитического метода конечных элементов. Он заключается в применении в плане конструкции полилинейной аппроксимации. Распределение искомых функций за толщиной путем решения соответствующей системы дифференциальных уравнений. На основе построенной методики исследовано влияние трения на напряженно-деформированное состояние дорожного покрытия на мостовом переходе. Показано, что расчет дорожного покрытия на мостовом переходе без учета трения не отображает адекватно напряженно-деформированное состояние дорожного покрытия. Учет трения приводит к возникновению опасных растягивающих напряжений в верхнем слое. Их величина больше чем

отрицательные напряжения от нормальной нагрузки. В сумме они имеют существенное положительное значение.

Ключевые слова: полуаналитический метод конечных элементов, дорожное покрытие на мостовом переходе, нагрузка трения.

Abstract. The variant of semianalytical method of eventual elements is built. He consists in application in the plan of construction of polineynoy approximation. Distributing of the functions sought after after a thickness by the decision of the proper system of differential equalizations. On the basis of the built method the influence of friction on the tense-deformed state of road coverage on bridge transition is explored. It is shown, that computation of road coverage on bridge transition without consideration of friction does not represent the adequately tense-deformed state of road coverage. Consideration of friction results in the origin of dangerous stretching tensions in an overhead layer. Their size more than negative tensions from the normal loading. In a sum they have the substantial positive value.

Keywords:. semianalytical method of finite elements, road coverage on bridge transition, loading of friction.

Вступ

В останні роки для проведення тих чи інших досліджень набувають популярності різні чисельно-аналітичні схеми розрахунку будівельних споруд [1,2]. В даному повідомленні на основі розробленого автором варіанту напіваналітичного метода скінченних елементів проаналізовано вплив урахування тертя на напружений стан дорожніх одягів на мостових переходах.

Метод дослідження

Введемо наступну апроксимацію шуканих функцій переміщень і напружень в плані скінченного елемента:

$$U_1^{(k)}(x, z) = \varphi_1(x) v_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) v_2^{(k)}(z);$$

$$\begin{aligned}
U_3^{(k)}(x, z) &= \varphi_1(x) w_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) w_2^{(k)}(z); \\
\sigma_{13}^{(k)}(x, z) &= \varphi_1(x) \tau_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) \tau_2^{(k)}(z); \\
\sigma_{33}^{(k)}(x, z) &= \varphi_1(x) \sigma_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) \sigma_2^{(k)}(z);
\end{aligned} \tag{1}$$

де $\varphi_1(x) = 1 - \frac{x}{l}$; $\varphi_2(x) = \frac{x}{l}$; l – довжина скінченного елемента; k – номер шару; $v_i^{(k)}(z), w_i^{(k)}(z), \tau_i^{(k)}(z), \sigma_i^{(k)}(z)$ – шукані функції розподілу переміщень і напружень в i -у вузлі.

Компоненти тензора деформацій визначаємо на основі відомих співвідношень Коші .

Повздовжні напруження знаходимо із закону Гука

$$\begin{aligned}
\sigma_{11}^{(k)} &= B_{11}^{(k)} \left(\varphi_{1,1}(x) v_1^{(k)}(z) + \varphi_{2,1}(x) v_2^{(k)}(z) \right) + \\
&+ B_{13}^{(k)} \left(\varphi_1(x) \sigma_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) \sigma_2^{(k)}(z) \right).
\end{aligned} \tag{2}$$

Розв’язувальну систему диференціальних рівнянь рівноваги скінченного елемента отримаємо з варіаційного принципу Рейснера

$$\delta R^{(k)} - \delta A_1^{(k)} = 0. \tag{3}$$

Тут $\delta R^{(k)}$ – варіація функціонала Рейснера; $\delta A_1^{(k)}$ – варіація роботи зовнішніх сил.

Варіація функціонала Рейснера має вигляд

$$\begin{aligned}
\delta R^{(k)} &= \int_l \int_{a_{k-1}}^{a_k} \{ (B_{11}^{(k)} U_{1,1}^{(k)} + B_{13}^{(k)} \sigma_{33}^{(k)}) \delta U_{1,1}^{(k)} + \\
&+ \sigma_{33}^{(k)} \delta U_{3,3}^{(k)} + (B_{13}^{(k)} U_{1,1}^{(k)} + U_{3,3}^{(k)} - B_{33}^{(k)} \sigma_{33}^{(k)}) \delta \sigma_{33}^{(k)} + \\
&+ \sigma_{13}^{(k)} \delta (U_{1,3}^{(k)} + U_{3,1}^{(k)}) + (U_{1,3}^{(k)} + U_{3,1}^{(k)} - \frac{\sigma_{13}^{(k)}}{G_{13}^{(k)}}) \delta \sigma_{13}^{(k)} \} dz dl.
\end{aligned} \tag{4}$$

Підставляючи у вираз (4) апроксимуючу залежність (1), одержуємо

$$\begin{aligned}
\delta R^{(k)} = & \int_l \int_{a_{k-1}}^{a_k} \left\{ \left[B_{11}^{(k)} \left(\varphi_1(x) v_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) v_2^{(k)}(z) \right) + \right. \right. \\
& + B_{13}^{(k)} \left(\varphi_1(x) \sigma_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) \sigma_2^{(k)}(z) \right) \left. \right] \delta \left(\varphi_{1,1}(x) v_1^{(k)}(z) + \varphi_{2,1}(x) v_2^{(k)}(z) \right) + \\
& + \left(\varphi_1(x) \sigma_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) \sigma_2^{(k)}(z) \right) \delta \left(\varphi_1(x) w_{1,3}^{(k)}(z) + \varphi_2(x) w_{2,3}^{(k)}(z) \right) + \\
& + \left[B_{13}^{(k)} \left(\varphi_{1,1}(x) v_1^{(k)}(z) + \varphi_{2,1}(x) v_2^{(k)}(z) \right) + \left(\varphi_1(x) w_{1,3}^{(k)}(z) + \varphi_2(x) w_{2,3}^{(k)}(z) \right) - \right. \\
& - B_{33}^{(k)} \left(\varphi_1(x) \sigma_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) \sigma_2^{(k)}(z) \right) \left. \right] \delta \left(\varphi_1(x) \sigma_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) \sigma_2^{(k)}(z) \right) + \\
& + \left(\varphi_1(x) \tau_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) \tau_2^{(k)}(z) \right) \delta \left(\varphi_1(x) v_{1,3}^{(k)}(z) + \varphi_2(x) v_{2,3}^{(k)}(z) + \right. \\
& \left. + \varphi_{1,1}(x) w_1^{(k)}(z) + \varphi_{2,1}(x) w_2^{(k)}(z) \right) + \\
& \left(\varphi_1(x) v_{1,3}^{(k)}(z) + \varphi_2(x) v_{2,3}^{(k)}(z) + \varphi_{1,1}(x) w_1^{(k)}(z) + \varphi_{2,1}(x) w_2^{(k)}(z) - \right. \quad (5) \\
& \left. \varphi_1(x) \tau_1^{(k)}(z) / G_{13}^{(k)} + \varphi_2(x) \tau_2^{(k)}(z) / G_{13}^{(k)} \right) \delta \left(\varphi_1(x) \tau_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) \tau_2^{(k)}(z) \right) \left. \right\} dz dl.
\end{aligned}$$

Після варіювання

$$\begin{aligned}
\delta R^{(k)} = & \int_l \int_{a_{k-1}}^{a_k} \left\{ \left(\varphi_1(x) v_{1,3}^{(k)}(z) + \varphi_2(x) v_{2,3}^{(k)}(z) + \varphi_{1,1}(x) w_1^{(k)}(z) + \varphi_{2,1}(x) w_2^{(k)}(z) + \right. \right. \\
& \varphi_1(x) \tau_1^{(k)}(z) / G_{13}^{(k)} + \varphi_2(x) \tau_2^{(k)}(z) / G_{13}^{(k)} \left. \right) \delta \left(\varphi_1(x) \tau_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) \tau_2^{(k)}(z) \right) + \\
& + \left[B_{13}^{(k)} \left(\varphi_{1,1}(x) v_1^{(k)}(z) + \varphi_{2,1}(x) v_2^{(k)}(z) \right) + \left(\varphi_1(x) w_{1,3}^{(k)}(z) + \varphi_2(x) w_{2,3}^{(k)}(z) \right) - \right. \\
& - B_{33}^{(k)} \left(\varphi_1(x) \sigma_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) \sigma_2^{(k)}(z) \right) \left. \right] \delta \left(\varphi_1(x) \sigma_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) \sigma_2^{(k)}(z) \right) + \\
& \left[B_{11}^{(k)} \left(\varphi_1(x) v_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) v_2^{(k)}(z) \right) + \right. \\
& + B_{13}^{(k)} \left(\varphi_1(x) \sigma_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) \sigma_2^{(k)}(z) \right) \left. \right] \delta \left(\varphi_{1,1}(x) v_1^{(k)}(z) + \varphi_{2,1}(x) v_2^{(k)}(z) \right) - \\
& - \left(\varphi_1(x) \tau_{1,3}^{(k)}(z) + \varphi_2(x) \tau_{2,3}^{(k)}(z) \right) \delta \left(\varphi_1(x) v_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) v_2^{(k)}(z) \right) +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \left(\varphi_1(x) \tau_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) \tau_2^{(k)}(z) \right) \delta \left(\varphi_{1,1}(x) w_1^{(k)}(z) + \varphi_{2,1}(x) w_2^{(k)}(z) \right) - \\
& - \left(\varphi_1(x) \sigma_{1,3}^{(k)}(z) + \varphi_2(x) \sigma_{2,3}^{(k)}(z) \right) \delta \left(\varphi_1(x) w_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) w_2^{(k)}(z) \right) \Big\} dz dL + \\
& + \int_l \left[\left(\varphi_1(x) \tau_3^{(k)}(z) + \varphi_2(x) \tau_3^{(k)}(z) \right) \delta \left(\varphi_1(x) v_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) v_2^{(k)}(z) \right) + \right. \\
& \left. + \left(\varphi_1(x) \sigma_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) \sigma_2^{(k)}(z) \right) \delta \left(\varphi_1(x) w_1^{(k)}(z) + \varphi_2(x) w_2^{(k)}(z) \right) \right] dL \Big|_{a_{k-1}}^{a_k}. \quad (6)
\end{aligned}$$

Варіація роботи зовнішніх сил має вигляд

$$\begin{aligned}
\delta A_1^{(k)} = & \int_l \left[q_{11}^{(k)} \delta \left(\varphi_1(x) v_1^{(k)}(a_{k-1}) + \varphi_2(x) v_2^{(k)}(a_{k-1}) \right) + \right. \\
& + q_{12}^{(k)} \delta \left(\varphi_1(x) v_1^{(k)}(a_k) + \varphi_2(x) v_2^{(k)}(a_k) \right) + \\
& + q_{11}^{(k)} \delta \left(\varphi_1(x) w_1^{(k)}(a_{k-1}) + \varphi_2(x) w_2^{(k)}(a_{k-1}) \right) + \\
& \left. + q_{12}^{(k)} \delta \left(\varphi_1(x) w_1^{(k)}(a_k) + \varphi_2(x) w_2^{(k)}(a_k) \right) \right] dL. \quad (7)
\end{aligned}$$

Підставляючи у варіаційне рівняння (3) вираз варіації функціонала Рейсснера (6) і роботи зовнішніх сил (7), одержуємо диференціальні рівняння рівноваги напіваналітичного скінченного елемента шаруватої плити

$$\begin{bmatrix} [k_{00}]_{,3} & [k_{01}] & -[k_{00}]/G_{13}^{(k)} & [0] \\ [k_{01}]B_{13}^{(k)} & [k_{00}]_{,3} & [0] & -[k_{00}]B_{33}^{(k)} \\ -[k_{11}]B_{11}^{(k)} & [0] & [k_{00}]_{,3} & -[k_{10}]B_{13}^{(k)} \\ [0] & [0] & -[k_{10}] & [k_{00}]_{,3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \{v^{(k)}(z)\} \\ \{w^{(k)}(z)\} \\ \{\tau^{(k)}(z)\} \\ \{\sigma^{(k)}(z)\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

$$T_{UT} [k_{00}] = \begin{bmatrix} l/3 & l/6 \\ l/6 & l/3 \end{bmatrix}; \quad [k_{10}] = \begin{bmatrix} -1/2 & -1/2 \\ 1/2 & 1/2 \end{bmatrix}; \quad [k_{11}] = \begin{bmatrix} 1/l & -1/l \\ -1/l & 1/l \end{bmatrix};$$

$$[k_{01}] = [k_{10}]^T; \quad \{v^{(k)}\}^T = \{v_1^{(k)}(z), v_2^{(k)}(z)\}; \quad \{w^{(k)}\}^T = \{w_1^{(k)}(z), w_2^{(k)}(z)\};$$

$$\{\tau^{(k)}\}^T = \{\tau_1^{(k)}(z), \tau_2^{(k)}(z)\}; \quad \{\sigma^{(k)}\}^T = \{\sigma_1^{(k)}(z), \sigma_2^{(k)}(z)\}.$$

Далі формуємо розв'язувальну систему диференціальних рівнянь для шару

$$\begin{bmatrix} [K_{00}]_{,3} & [K_{01}] & -[K_{00}]/G_{13}^{(k)} & [0] \\ [K_{01}]B_{13}^{(k)} & [K_{00}]_{,3} & [0] & -[K_{00}]B_{33}^{(k)} \\ -[K_{11}]B_{11}^{(k)} & [0] & [K_{00}]_{,3} & -[K_{10}]B_{13}^{(k)} \\ [0] & [0] & -[K_{10}] & [K_{00}]_{,3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \{v_{i1}^{(k)}(z)\} \\ \{w_{i2}^{(k)}(z)\} \\ \{\tau_{i3}^{(k)}(z)\} \\ \{\sigma_{i4}^{(k)}(z)\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

$$\{v_{i1}^{(k)}(z)\}^T = \{\dots, v_{i1}^{(k)}(z), \dots\}; \quad \{w_{i2}^{(k)}(z)\}^T = \{\dots, w_{i2}^{(k)}(z), \dots\};$$

$$\{\tau_{i3}^{(k)}(z)\}^T = \{\dots, \tau_{i3}^{(k)}(z), \dots\}; \quad \{\sigma_{i4}^{(k)}(z)\}^T = \{\dots, \sigma_{i4}^{(k)}(z), \dots\},$$

де $i1, i2, i3, i4$ – номери точок, в яких визначаються відповідні шукані функції з урахуванням торцевих граничних умов.

Вектор шуканих функцій може бути представлений таким чином:

$$\begin{bmatrix} \{v_{i1}^{(k)}\} \\ \{w_{i2}^{(k)}\} \\ \{\tau_{i3}^{(k)}\} \\ \{\sigma_{i4}^{(k)}\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{i1}^{(k)}(1), \dots, \mu_{i1}^{(k)}(j), \dots, \mu_{i1}^{(k)}(J) \\ \mu_{i2}^{(k)}(1), \dots, \mu_{i2}^{(k)}(j), \dots, \mu_{i2}^{(k)}(J) \\ \mu_{i3}^{(k)}(1), \dots, \mu_{i3}^{(k)}(j), \dots, \mu_{i3}^{(k)}(J) \\ \mu_{i4}^{(k)}(1), \dots, \mu_{i4}^{(k)}(j), \dots, \mu_{i4}^{(k)}(J) \end{bmatrix} [C^{(k)}]. \quad (10)$$

$$\text{Тут} \quad [C^{(k)}]^T = \left[C_1^{(k)} e^{z\beta_1^{(k)}}, \dots, C_j^{(k)} e^{z\beta_j^{(k)}}, \dots, C_J^{(k)} e^{z\beta_J^{(k)}} \right]; \quad \beta_j^{(k)} - \text{корені}$$

характеристичного рівняння розв'язувальної системи диференціальних рівнянь, які можуть бути комплексними; $\mu_{i1}^{(k)}(j), \mu_{i2}^{(k)}(j), \mu_{i3}^{(k)}(j), \mu_{i4}^{(k)}(j)$ – її власні вектори; $C_j^{(k)}$ – постійні інтегрування, визначувані з умов контакту шарів і умов на лицьових поверхнях в кожному вузлі сітки розбиття конструкції на кінцеві елементи; J – загальна кількість шуканих функцій в шарі.

Розрахунок дорожнього одягу моста

Дослідимо вплив урахування тертя при розрахунку дорожнього одягу мостового переходу. Тришаровий дорожній одяг має наступні фізико-механічні

характеристики: $E^{(1)} = 3000 \text{ Мпа}$; $E^{(2)} = 2000 \text{ Мпа}$; $E^{(3)} = 12000 \text{ Мпа}$;
 $\nu^{(1)} = \nu^{(2)} = \nu^{(3)} = 0,3$; $h^{(1)} = h^{(2)} = h^{(3)} = 0,04 \text{ м}$. Мост моделюється жорсткою основою. Контакт дорожнього одягу з мостом є жорсткий. Величина штампу $d = 0,36 \text{ м}$. Коефіцієнт тертя $k = 0,5$. В таблиці 1 приведені нормальні напруження $\sigma_{11}^{(1)}$ від центра штампу по напрямку руху. Відстань між точками $0,06 \text{ м}$. В першому рядку розташовані напруження від одиничного рівномірно-розподіленого нормального навантаження, в другому — від одиничного дотичного навантаження, в третьому їх алгебраїчна сума з урахуванням коефіцієнту тертя ($k = 0,5$).

Таблиця 1 — Нормальні напруження на границі верхнього шару

Точки під штампом			Границя штампу	Точки за штампом			
-0,3700	-0,4114	-0,4688	-0,2072	0,0581	0,0075	-0,0279	-0,0215
0,0000	0,3085	0,8358	1,1930	0,8947	0,4432	0,2443	0,1460
-0,3700	-0,2572	-0,0509	0,3893	0,5055	0,2291	0,0943	0,0515

Висновки

Як видно з таблиці розрахунок дорожнього покриття на мостовому переході без урахування тертя втрачає всякий сенс. Саме тертя приводить до виникнення небезпечних розтягувальних напружень у верхньому шарі. При руху автомобільного потоку вони постійно змінюють знак, що за наявності мікро тріщин неминуче приведе до його руйнування. Якості дорожнього покриття на мостовому переході треба приділяти особливу увагу. Не жаліти кошти на матеріали, які б збільшували його тріщиностійкість.

Література

1. Баженов В.А., Гуляр А.И., Сахаров А.С., Топор А.Г. Полуаналитический метод конечных элементов в механике деформируемых тел – К.: НИИ СМ, 1993. – 376 с.
2. Marchuk A.V., Piskunov V.G. Calculation of layered structures by semianalytic method of finite elements // Mechanics of Composite Materials. – 1997. – 33, N6. – P. 781–785.

Ряпухін В.М., канд. техн. наук, Дорожко Є.В.

**АНАЛІЗ ВПЛИВУ СКЛАДОВИХ ТЕМПЕРАТУРНОГО
ДЕФОРМУВАННЯ ЦЕМЕНТОБЕТОННОЇ ПЛИТИ НА НАПРУЖЕНО-
ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ШАРУ НА
ЖОРСТКІЙ ОСНОВІ**

Анотація. У статті наведено результати моделювання температурних деформацій асфальтобетонних шарів та жорсткої основи. Моделювання виконано для усіх 12 місяців в режимі нагрівання та охолодження. Виконано аналіз впливу складових температурного деформування асфальтобетонного шару та жорсткої основи на загальний напружено-деформований стан асфальтобетонного шару.

Ключові слова: асфальтобетонний шар, жорстка основа, температурні напруження, температурні деформації.

Аннотация. В статье приведены результаты моделирования температурных деформаций асфальтобетонных слоев и жесткого основания. Моделирование выполнено для всех 12 месяцев в режиме нагревания и охлаждения. Выполнен анализ влияния составляющих температурного деформирования асфальтобетонного слоя и жесткого основания на общее напряженно-деформированное состояние асфальтобетонного слоя.

Ключевые слова: асфальтобетонный слой, жесткое основание, температурные напряжения, температурные деформации.

Annotation. The article shows the modeling results of the temperature deformation behavior of the asphalt layers and rigid base. The modeling is done for all 12 months both heating and cooling. The analysis of influence of the temperature deformation behavior of the asphalt layers and rigid base components on the total stress-deformed state of asphalt layer was also made.

Keywords: asphalt concrete, a rigid base, the temperature stress, the temperature deformation.

Температурне розширення (або стискання) асфальтобетонного шару і цементобетонної плити залежать від коефіцієнтів теплодеформативності (ТКЛР) цих матеріалів і градієнтів температур, при цьому ТКЛР асфальтобетону у декілька разів більше ніж цементобетонну [1, 2, 3]. Для прийнятої умови забезпеченого надійного зчеплення контакту асфальтобетонного шару і цементобетонної плити, при зміні температури такої комбінованої плити, температурні деформації на стику шарів, незалежно від матеріалу шарів, коефіцієнтів теплодеформативності шарів та градієнту температур, будуть однакові.

При зміні температури комбінованої плити в асфальтобетонному шарі виникають вимушені (нереалізовані) деформації та відповідні температурні напруження. Це пояснюється тим, що асфальтобетонний шар має меншу товщину і значно менший модуль пружності ніж цементобетонна плита та асфальтобетонний шар вимушений деформуватися так як цементобетонна плита в основі.

Температурні напруження в асфальтобетонному шарі необхідно визначати за величиною нереалізованої температурної деформації [4]:

$$\sigma_{аб} = \frac{\varepsilon_{аб}^H \cdot R_{аб}^t}{(1 - \mu_{аб}^t)}, \quad (1)$$

де $\sigma_{аб}$ – температурні напруження в асфальтобетонному шарі, МПа;

$\varepsilon_{аб}^H$ – нереалізована температурна деформація асфальтобетонного шару;

$R_{аб}^t$ – функція релаксації асфальтобетону при температурі (t), МПа;

$\mu_{аб}^t$ – коефіцієнт Пуассону асфальтобетону при температурі (t).

Нереалізована температурна деформація асфальтобетонного шару дорівнює різниці між деформацією при вільному подовженні (вільний контакт

асфальтобетонного шару та цементобетонної плити) та фактичної деформації [4]:

$$\varepsilon_{аб}^H = \varepsilon_{аб}^B - \varepsilon_{аб}^{\Phi}, \quad (2)$$

де $\varepsilon_{аб}^B$ – температурна деформація асфальтобетонного шару при умові вільного контакту асфальтобетонного шару та цементобетонної плити;

$\varepsilon_{аб}^{\Phi}$ – фактична температурна деформація асфальтобетонного шару (при умові надійного зчеплення контакту асфальтобетонного шару та цементобетонної плити);

При умові вільного контакту асфальтобетонного шару з цементобетонною плитою відносна деформація асфальтобетонного шару дорівнює:

$$\varepsilon_{аб}^B = \alpha_{аб} \cdot \Delta t_{аб}^{cp}, \quad (3)$$

де $\alpha_{аб}$ – ТКЛР асфальтобетону, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

$\Delta t_{аб}^{cp}$ – зміна температури в середині асфальтобетонного шару, $^{\circ}\text{C}$.

Оскільки, для прийнятої умови надійного зчеплення контакту шарів, лінійна температурна деформація асфальтобетонного шару і цементобетонної плити буде однакою, то визначити фактичну температурну деформацію асфальтобетонного шару можна за деформацією цементобетонної плити:

$$\varepsilon_{аб}^{\Phi} = \varepsilon_{цб}^{\Phi}, \quad (4)$$

де $\varepsilon_{цб}^{\Phi}$ – фактична температурна деформація цементобетонного шару.

При зміні температури цементобетонна плита внаслідок її монолітності матиме фактичну зміну лінійних розмірів по всій товщині плити однакою [3], тоді відносна деформація цементобетонної плити дорівнює:

$$\varepsilon_{цб}^B = \alpha_{цб} \cdot \Delta t_{цб}^{cp}, \quad (5)$$

де $\alpha_{цб}$ – ТКЛР асфальтобетону, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

$\Delta t_{\text{цб}}^{\text{ср}}$ – зміна температури в середині цементобетонної плити, °С.

За формулою (5) визначається деформація, яка буде при вільному сковзанні плити по основі та без врахування напружень, що виникають при жолобленні плити.

При переміщенні нижньої поверхні плити по основі виникає сила тертя-зчеплення, яка заважає вільному подовженню плити (вільному температурному деформуванню плити). Ці сили стримують переміщення цементобетонних плит на величину [4]:

$$\varepsilon_{\text{цб}}^{\text{тр}} = \frac{(\rho \cdot f + 0,5 \cdot C) \cdot (1 - \mu_{\text{цб}})}{E_{\text{цб}}}, \quad (6)$$

де $\varepsilon_{\text{цб}}^{\text{тр}}$ – величина деформації цементобетонної плити, на яку затримається вільна деформація за рахунок сил тертя-зчеплення на підшві плити;

ρ – питомий тиск на підшві плиті, від ваги комбінованої плити та автомобіля, МПа;

f – коефіцієнт тертя між цементобетонною плитою та основою;

C – зчеплення цементобетонної плити та основи, МПа.

$\mu_{\text{цб}}$ – коефіцієнт Пуассона цементобетону;

$E_{\text{цб}}$ – модуль пружності цементобетону, МПа;

Від позacentрового прикладання навантаження тертя-зчеплення на підшві плит виникає напруга розтягування або стиснення в верхній площині цементобетонної плити (при підвищенні температури будуть напруження розтягування, при зниженні температури – стиснення). Ці напруження збільшують величину вільного температурного деформування поверхні цементобетонної плити. Величина на яку збільшаться, деформації верхньої площини цементобетонної плити від позacentрового прикладення сил тертя-зчеплення [4]:

$$\varepsilon_{\text{цб}}^{\text{пц}} = \frac{L \cdot (\rho \cdot f + 0,5 \cdot C) \cdot (1 - \mu_{\text{цб}})}{h_{\text{цб}} \cdot E_{\text{цб}}}, \quad (7)$$

де L – довжина цементобетонної плити, м.

$h_{\text{цб}}$ – товщина цементобетонної плити, м;

Перепад температури по товщині цементобетонної плити приводить до появи напружень жолоблення. Ці напруження також змінюють характер температурного деформування цементобетонної плити, оскільки на цементобетонну плиту діють додаткові об'ємні сили жолоблення плити. Напруження жолоблення зменшать величину вільного температурного деформування поверхні цементобетонної плити на величину [4]:

$$\varepsilon_{\text{цб}}^{\text{ж}} = \frac{2}{3} \cdot \alpha_{\text{цб}} \cdot (t_{\text{цб}}^{\text{в}} - t_{\text{цб}}^{\text{н}}) \cdot m \quad (\text{при нагріванні}) \quad (8)$$

$$\varepsilon_{\text{цб}}^{\text{ж}} = \frac{1}{3} \cdot \alpha_{\text{цб}} \cdot (t_{\text{цб}}^{\text{в}} - t_{\text{цб}}^{\text{н}}) \cdot m \quad (\text{при охолодженні}) \quad (9)$$

де $t_{\text{цб}}^{\text{в}}$ – температура поверхні цементобетонної плити, °С;

$t_{\text{цб}}^{\text{н}}$ – температура низу цементобетонної плити, °С;

m – емпіричний коефіцієнт міри напруженості [3].

Підсумкове фактичне температурне деформування поверхні цементобетонної плити та низу асфальтобетонного шару з врахуванням дії сил тертя-зчеплення по підшві цементобетонної плити та напружень жолоблення:

$$\varepsilon_{\text{аб}}^{\Phi} = \varepsilon_{\text{цб}}^{\Phi} = \varepsilon_{\text{цб}}^{\text{в}} - \varepsilon_{\text{цб}}^{\text{тр}} + \varepsilon_{\text{цб}}^{\text{пц}} - \varepsilon_{\text{цб}}^{\text{ж}}. \quad (10)$$

Для визначення впливу складових температурного деформування цементобетонної плити на загальний напружено-деформований стан асфальтобетонного шару на жорсткій основі виконано моделювання температурних деформацій асфальтобетонного шару та цементобетонної плити. Моделювання температурних деформацій виконано для усіх 12 місяців в режимі нагрівання та охолодження. Температурний режим обраний для міст Умань, Кіровоград та Луганськ, оскільки згідно з [5, 6] там спостерігаються максимальні температурні перепади впродовж доби. Добові температурні перепади в цих містах, що прийняті до розрахунку визначались за останні 4 роки. Для моделювання температурних деформацій використані різні товщини асфальтобетонного шару (2 см, 5 см, 7 см) та цементобетонної плити (20 см, 24

см, 28 см). Розмір цементобетонної плити прийнято 6 м на 3 м. Розрахунки виконано для двох види асфальтобетону:

- асфальтобетон дрібнозернистий, тип Б, з розміром зерна до 20 мм, з використанням 6% БНД 40/60;

- ЩМА-15, з використанням 6,2 % БМП 60/90-52.

Приклад результатів розрахунків для конструкції з дрібнозернистого асфальтобетонного шару товщиною 2 см на цементобетонній плиті товщиною 20 см наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Зведена таблиця результатів моделювання температурних деформацій

Асфальтобетон дрібнозернистий, тип Б, розмір зерна до 20 мм, з використанням 6% БНД 40/60								
товщина шарів, см		місяць	температурний режим	$\varepsilon_{аб}^в$	$\varepsilon_{цб}^в$	$\varepsilon_{цб}^{тр}$	$\varepsilon_{цб}^{пц}$	$\varepsilon_{цб}^ж$
h _{аб}	h _{цб}							
2	20	січень	нагрівання	0,00015800	0,00003513	0,00000338	0,00010146	0,00002366
			охолодження	0,00018079				0,00000153
		лютий	нагрівання	0,00025076	0,00005672	0,00000338	0,00010146	0,00003705
			охолодження	0,00028730				0,00000186
		березень	нагрівання	0,00034397	0,00008120	0,00000023	0,00000702	0,00005264
			охолодження	0,00038757				0,00000342
		квітень	нагрівання	0,00037939	0,00012475	0,00000023	0,00000702	0,00005166
			охолодження	0,00044721				0,00000274
		травень	нагрівання	0,00049061	0,00016025	0,00000023	0,00000702	0,00005223
			охолодження	0,00057830				0,00000305
		червень	нагрівання	0,00055673	0,00018789	0,00000023	0,00000702	0,00004949
			охолодження	0,00065625				0,00000156
		липень	нагрівання	0,00056940	0,00018866	0,00000023	0,00000702	0,00005138
			охолодження	0,00067117				0,00000241
		серпень	нагрівання	0,00051363	0,00016707	0,00000023	0,00000702	0,00005262
			охолодження	0,00060544				0,00000324
		вересень	нагрівання	0,00039817	0,00012969	0,00000023	0,00000702	0,00005202
			охолодження	0,00046934				0,00000315
		жовтень	нагрівання	0,00032496	0,00007529	0,00000023	0,00000702	0,00005254
			охолодження	0,00036615				0,00000415
		листопад	нагрівання	0,00017663	0,00004050	0,00000023	0,00000702	0,00002877
			охолодження	0,00019902				0,00000249
		грудень	нагрівання	0,00011470	0,00002472	0,00000181	0,00005424	0,00001758
			охолодження	0,00013142				0,00000153

Аналогічні розрахунки виконано для усіх вище зазначених обраних матеріалів та товщин конструктивних шарів. Для аналізу впливу складових

температурного деформування визначено скільки у відсотках складає кожна окрема деформація по відношенню до вільної температурної деформації асфальтобетонного шару. Приклад результатів розрахунків наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Складові температурних деформацій у відсотковому відношенні до вільної деформації асфальтобетонного шару

Асфальтобетон дрібнозернистий, тип Б, розмір зерна до 20 мм, з використанням 6% БНД 40/60								
товщина шарів, см		місяць	температурний режим	Деформації у відсотковому відношенні до вільної деформації асфальтобетону, %				
$h_{аб}$	$h_{цб}$			$\varepsilon_{аб}^в$	$\varepsilon_{цб}^в$	$\varepsilon_{цб}^{тр}$	$\varepsilon_{цб}^{пц}$	$\varepsilon_{цб}^ж$
2	20	січень	нагрівання	100,0	22,2	2,1	64,2	15,0
			охолодження	100,0	19,4	1,9	56,1	0,8
		лютий	нагрівання	100,0	22,6	1,3	40,5	14,8
			охолодження	100,0	19,7	1,2	35,3	0,6
		березень	нагрівання	100,0	23,6	0,1	2,0	15,3
			охолодження	100,0	21,0	0,1	1,8	0,9
		квітень	нагрівання	100,0	32,9	0,1	1,9	13,6
			охолодження	100,0	27,9	0,1	1,6	0,6
		травень	нагрівання	100,0	32,7	0,0	1,4	10,6
			охолодження	100,0	27,7	0,0	1,2	0,5
		червень	нагрівання	100,0	33,7	0,0	1,3	8,9
			охолодження	100,0	28,6	0,0	1,1	0,2
		липень	нагрівання	100,0	33,1	0,0	1,2	9,0
			охолодження	100,0	28,1	0,0	1,0	0,4
		серпень	нагрівання	100,0	32,5	0,0	1,4	10,2
			охолодження	100,0	27,6	0,0	1,2	0,5
		вересень	нагрівання	100,0	32,6	0,1	1,8	13,1
			охолодження	100,0	27,6	0,0	1,5	0,7
		жовтень	нагрівання	100,0	23,2	0,1	2,2	16,2
			охолодження	100,0	20,6	0,1	1,9	1,1
		листопад	нагрівання	100,0	22,9	0,1	4,0	16,3
			охолодження	100,0	20,3	0,1	3,5	1,3
		грудень	нагрівання	100,0	21,5	1,6	47,3	15,3
			охолодження	100,0	18,8	1,4	41,3	1,2

Аналогічні розрахунки виконано для усіх вище зазначених обраних матеріалів та товщин конструктивних шарів.

Аналіз отриманих значень відсоткових відношень деформацій до вільної деформації асфальтобетонного шару дає змогу зробити наступні висновки:

1. Зміна вільної деформації цементобетонної плити, яка виникає за рахунок дії сил тертя-зчеплення на підшві плити (формула 6) має невеликий вплив на роботу конструкції. Її відношення до вільної температурної

деформації асфальтобетонного шару не перевищує 5 % як при нагріванні так і при охолодженні, тому нею можна знехтувати при розрахунках.

2. Зміна вільної деформації цементобетонної плити, яка виникає за рахунок позацентрового прикладання сил тертя-зчеплення на підшві плити (формула 7) значно змінюється протягом року. Взимку дію позацентрово прикладеної сили тертя-зчеплення варто враховувати, оскільки температурна деформація, що виникає від діє позацентрово прикладеної сили тертя-зчеплення на підшві плити складає понад 30 % від величини вільної температурної деформації асфальтобетонного шару. На весні, влітку та восени значення деформації від позацентрового прикладання сил тертя-зчеплення не перевищує 5 % від вільної температурної деформації асфальтобетонного шару, тому в цей період дію позацентрово прикладеної сили тертя-зчеплення можна знехтувати. Підвищення деформації від діє позацентрово прикладеної сили тертя-зчеплення взимку пояснюється примерзанням цементобетонної плити до основи та підвищенням зчеплення. Тож дію позацентрово прикладеної сили тертя-зчеплення при розрахунку температурних деформацій варто враховувати лише в період, коли відбувається примерзання цементобетонної плити до основи.

3. Значення зміни вільної деформації поверхні цементобетонної плити, що викликані перепадом температури по товщині цементобетонної плити при нагріві конструкції сягають приблизно 10 % – 15 % у порівнянні з вільною температурною деформацією асфальтобетонного шару. При режимі охолодження значення деформацій, що викликані перепадом температури по товщині цементобетонної плити становлять менше 5 % у порівнянні з вільною температурною деформацією асфальтобетонного шару. Тому зміну вільної деформації цементобетонної плити, яка виникає внаслідок перепаду температури по товщині цементобетонної плити (формули 8 та 9) варто враховувати лише для режиму нагріву конструкції.

4. Значення відношення вільної деформації цементобетонної плити (формула 5) до вільної деформації асфальтобетонного шару сягає близько 20 % – 40 %. Зважаючи на це, вони постійно мають бути враховані у подальших розрахунках.

З урахуванням вище наведених висновків формула (10) матиме наступний вигляд:

- при можливості примерзання цементобетонної плити до основи:

$$\varepsilon_{аб}^{\phi} = \varepsilon_{цб}^{\phi} = \varepsilon_{цб}^B + \varepsilon_{цб}^{пц} - \varepsilon_{цб}^ж \quad (\text{при нагріві}), \quad (11)$$

$$\varepsilon_{аб}^{\phi} = \varepsilon_{цб}^{\phi} = \varepsilon_{цб}^B + \varepsilon_{цб}^{пц} \quad (\text{при охолодженні}), \quad (12)$$

- за відсутності можливості примерзання цементобетонної плити до основи:

$$\varepsilon_{аб}^{\phi} = \varepsilon_{цб}^{\phi} = \varepsilon_{цб}^B - \varepsilon_{цб}^ж \quad (\text{при нагріві}), \quad (13)$$

$$\varepsilon_{аб}^{\phi} = \varepsilon_{цб}^{\phi} = \varepsilon_{цб}^B \quad (\text{при охолодженні}). \quad (14)$$

Література

1. Богуславский, А. М. О деформативной способности асфальтобетона при охлаждении // Труды ХАДИ, Вып.26. – Харьков, 1961. – С. 81-90.
2. Ряпухін В.М., Дорожко Є.В. Експериментальне визначення чисельного значення температурного коефіцієнта лінійного розширення асфальтобетону // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, НТУ. – 2013. - №89. – С. 61-71.
3. Горецкий Л.И. Теория и расчет цементобетонных покрытий на температурные воздействия – М.: Транспорт, 1965. – 284 с.
4. Дорожко Є.В., Ряпухін В.М. Визначення температурних напружень в тонких асфальтобетонних шарах на жорсткій основі // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. – 2014. – №46. – С. 147–153.
5. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика.
6. ДСТУ-Н Б В.1.1 – 27:2011. Будівельна кліматологія. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі.

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

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ФІЛЬТРАЦІЇ В ГРУНТОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Анотація. В статті оглядово описано джерела зволоження земляного полотна, цикли зміни водного режиму земляного полотна. Акцентується увага на деформаціях, які викликані рухом рідини в ґрунтовому середовищі, описані рівняння руху води та відмічено розбіжність між припливом до дрени, обчисленим за теоретичними формулами, і припливом, визначеним з дослідів, які проводились з додержанням відповідних граничних умов.

Ключові слова: ґрунт, суфозія, кольматаж, земляне полотно, деформації, водно-тепловий режим.

Аннотация. В статье обзорно описаны источники увлажнения земляного полотна, циклы изменения водного режима земляного полотна. Акцентируется внимание на деформациях, вызванных движением жидкости в грунтовой среде, описаны уравнения движения воды и отмечено расхождение между притоком к дрене, рассчитанным по теоретическим формулам, и притоком, определенным из опытов, которые проводились с соблюдением соответствующих граничных условий.

Ключевые слова: грунт, суффозия, кольматаж, земляное полотно, деформации, водно-тепловой режим.

Abstract. In the review article describes the sources of moisture subgrade, cycles of change of the water regime of the subgrade. Focuses on the deformation caused by the movement of fluid in a soil medium, described by the equations of motion of the water and the marked discrepancy between the inflow to the drains, calculated by theoretical formulas and the flow identified from the experiments, which were conducted in compliance with the relevant boundary conditions.

Keywords: soil, suffusion, colmatage, roadbed, deformation, water-thermal regime.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемами фільтрації в середовищах, що деформуються, та їх застосуванням в області дренажу займається Хлапук М.М., дослідженням матеріалів для дренажу та особливостями руху води в різних умовах займаються Кірейчева Л.В. та Глазунова І.В. [1,2]

Проведений аналіз показав, що залишаються відкритими питання по розрахунку водоприймальної спроможності дренажів різних конструкцій.

Мета статті. Аналіз водного режиму земляного полотна, рух води в ґрунті та закони руху рідини в середовищі. Дослідження змін основних характеристик механічної суфозії.

Виклад основної інформації. Основною умовою стійкості земляного полотна і дорожнього одягу є стійкість ґрунту, яка в основному залежить від його щільності. Насичення земляного полотна вологою - вкрай небезпечне явище, так як стійкість всіх елементів дороги через зниження несучої здатності ґрунту сильно зменшується.

Земляне полотно зволожується поверхневими та ґрунтовими водами. Джерелами зволоження полотна служать:

- атмосферні опади, що випадають на поверхню земляного полотна;
- приплив поверхневих вод з прилеглої до дороги місцевості;
- приплив ґрунтових вод по капілярах, а також шляхом плівкового і пароподібного переміщення вологи.

Сумарний вплив зазначених джерел зволоження знижується за рахунок стоку води з земляного полотна, випаровування і просочування води в глибинні шари ґрунту.

В залежності від кліматичного району, місцевих умов і від періоду року переважають ті чи інші причини зволоження земляного полотна. Кількість вологи, що знаходиться в земляному полотні, не залишається протягом року постійною. Коливання температури, що створюють в тілі земляного полотна температурні градієнти, під впливом яких ґрунтова вода переміщається з більш

теплих (нижніх) шарів до більш холодних (верхніх) впливають на зміну водного режиму земляного полотна.

У річному циклі зміни водного режиму земляного полотна розрізняють такі періоди:

- первісне накопичення вологи восени внаслідок просочування атмосферних опадів;
- промерзання земляного полотна і зимовий перерозподіл вологи;
- відтавання земляного полотна і весняне перезволоження ґрунту;
- літнє просихання земляного полотна.

На вологість земляного полотна впливають також рельєф, рослинність, вітер та інші фактори [3].

Водно-тепловий режим земляного полотна відрізняється від водно-теплого режиму навколишньої місцевості. Це пояснюється наявністю різних типів конструкцій дорожніх одягів, що змінюють водообмін між ґрунтом і атмосферою, конструкцією земляного полотна в насипу або в виїмці, закладкою резервів, штучним ущільненням ґрунту.

Досить великі деформації виникають при перезволоженні пилюватих ґрунтів. При замерзанні в перезволоженому стані такі ґрунти дуже сильно збільшуються в об'ємі і втрачають несну здатність.

Для забезпечення стійкості і міцності земляного полотна та дорожніх одягів передбачаються конструктивні заходи, призначені для запобігання перезволоження земляного полотна

Під час руху рідини крізь пористі в них відбуваються різного роду деформаційні процеси:

- переорієнтація частинок неправильної форми у просторі під дією фільтраційних сил;
- переміщення мілких (суфозійних) частинок в порах скелету, сформованого більш крупними частинками,
- механічна суфозія; зупинка суфозійних частинок в певних зонах масиву фільтрації, наприклад, біля дренажних конструкцій - кольматаж.

Суфозійні процеси, які виникають в придренній зоні, обумовлені появою градієнтів напору, вищих за критичні, їх початкова інтенсивність залежить від

вмісту суфозійних частинок в ґрунті, а інтенсивність затухання від швидкості спадання градієнтів, викликаного зростанням коефіцієнта фільтрації ґрунту внаслідок суфозії, або перерозподілом градієнтів завдяки виникненню зони кольматажу.

Незважаючи на великий об'єм досліджень, проблема суфозії залишається актуальною і на теперішній час.

Особливий розвиток теорія фільтрації отримала в зв'язку з інтенсивним розширенням гідротехнічного і меліоративного будівництва в роботах таких відомих вчених як М.М. Павловський, І.А. Чарний, Л.С. Лейбензон, Н.Н. Маслов, І.Я. Русинов, М. Маскет, П.Я. Полубаринова-Кочина, В.М. Щелкачов [3–7].

Вихідна модель геофільтраційного потоку являє собою його опис з позицій математичної фізики і включає рівняння руху (основний закон фільтрації), рівняння нерозривності (балансу) потоку, рівняння стану, яке пов'язує напруження і деформації пласта, а також умови однозначності, які складаються з початкових і граничних умов процесу. Рівняння руху мають вид

$$V_x = -k \partial h / \partial x, V_y = -k \partial h / \partial y, V_z = -k \partial h / \partial z, \quad (1)$$

де V_x, V_y, V_z - складові швидкості фільтрації; $h = h(x, y, z, t)$ - функція фільтраційного напору; $k = k(x, y, z)$ - коефіцієнт фільтрації.

Для виведення рівняння нерозривності, яке описує матеріальний баланс потоку, розглядаються складові такого балансу в нескінченно малому елементі простору за нескінченно малий проміжок часу. В результаті отримується наступне рівняння:

$$\partial(\rho V_x) / \partial x + \partial(\rho V_y) / \partial y + \partial(\rho V_z) / \partial z = 0, \quad (2)$$

де ρ - густина рідини.

Три рівняння руху (1) та рівняння нерозривності (2) не дозволяють знайти всі необхідні характеристики потоку – проекції швидкості фільтрації, функцію напору та густину рідини. Для замикання системи (1), (2) використовується

рівняння, яке описує залежність між густиною, тиском і абсолютною температурою. Наприклад, для важкої нестислої рідини ($\rho = \text{const}$) при фільтрації в однорідному ізотропному середовищі, що не деформується (жорсткий режим фільтрації), рівняння нерозривності матиме вид

$$\partial(k\partial h/\partial x)/\partial x + \partial(k\partial h/\partial y)/\partial y + \partial(k\partial h/\partial z)/\partial z . \quad (3)$$

За допомогою різних методів розв'язання задач фільтрації з використанням наведених рівнянь можна вирішувати проблеми гідротехнічного та меліоративного будівництва, пов'язані з фільтрацією в основах споруд, в ґрунтових греблях, поблизу водоймищ, з каналів, довкола свердловин та дрен тощо.

Аналіз досліджень деформаційних процесів показує, що в процесі механічної суфозії змінюється пористість ґрунту, його коефіцієнт фільтрації, розміри поперечного перетину фільтраційних пор, критичний градієнт напору - практично всі основні характеристики процесу суфозії.

Аналізуючи дослідження доктора тех. наук Хлапука М.М. можна сказати, що, як правило, водоприймальні спроможності дрен різних конструкцій в лабораторних та натурних умовах різні. Відмічено розбіжність між припливом до дрени, обчисленим за теоретичними формулами, і припливом, визначеним з дослідів, які проводились з додержанням відповідних граничних умов [1]. Так, за даними А.І. Мурашко приплив до пластмасових дрен складав лише 60-85 % від припливу до досконалої дрени, обчисленому за теоретичними залежностями. Цей факт пояснюється ним, зокрема, тим, що не враховуються суфозійні зміни в прифільтровій зоні, які приводять, в даному випадку, до зменшення фільтраційної витрати. Досліди обрахунки експериментальних даних М.Г. Пивовара показали, що приплив до дрени, яка закладається в однорідний та ретельно промитий пісок (переміщення частинок в порах відсутнє), на 30 % і більше перевищує приплив до досконалої дрени. Тобто в даному випадку деформації переорієнтації частинок в придренній зоні приводять до збільшення коефіцієнта фільтрації ґрунту.

Висновок

Все це вказує на необхідність вдосконалення теоретичних методів розрахунку нарівні з проведенням ретельних експериментальних досліджень. Варто звернути увагу на особливу дію на приплив до дрени, що чинить механічна суфозія, яка виникає в придренній зоні, і кольматаж придреного шару ґрунту та захисного фільтра суфозійними частинками. Розглянуті вище теоретичні розв'язки не враховують і не спроможні врахувати суфозійні явища. Всі наведені диференціальні рівняння і розв'язки відповідних задач фільтрації побудовані на припущенні, що коефіцієнт фільтрації ґрунту масиву фільтрації величина постійна, тому необхідно провести ряд досліджень та випробувань для оптимізації прийняття рішень з приводу вибору дренажної конструкції та матеріалу з яким вона контактує.

Література

1. Хлапук М.М. Теоретичні основи фільтрації в середовищах, що деформуються, та їх застосування в області дренажу /автореферат/ М.М. Хлапук. – Рівне, 1999.
 2. Кирейчева Л.В., Глазунова И.В. Фильтры из волокнистых материалов для горного дренажа. /стаття/ №5. 1990. – С. 45-47.
 3. Маслов Н.Н. Некоторые вопросы проектирования намывных плотин. /стаття/ Материалы межведомственного совещания. – М. : Госэнергоиздат, 1961.
 4. Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод. – М. : Гос. Издат. технико-теоретической литературы, 1952.
 5. Чарный И.А. Подземная гидрогазодинамика – М.: Гостоптехиздат – 1963. - 396 с.
 6. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде (пер. с англ.) – М.: ГТТИ, 1969. – 628 с.
- Русинов И.Я. Намыв несвязных грунтов и их строение. /стаття/ Материалы межведомственного совещания. – М. : Госэнергоиздат, 1961.

Харченко А.М., канд. техн. наук, Пенгрин А.Р.

ЕВОЛЮЦІЯ МОДЕЛЕЙ ДЕГРАДАЦІЇ ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ

Анотація. Стаття присвячена аналізу світового та вітчизняного досвіду використання моделей деградації покриття автомобільної дороги. У статті наведені основні класифікації моделей деградації та сфери їх застосування, а також приведені недоліки, визначені перспективи розвитку.

Ключові слова: деградація, модель, покриття, стан, якість матеріалів.

Аннотация. Статья посвящена анализу мирового и отечественного опыта использования моделей деградации покрытия автомобильной дороги. В статье приведены основные классификации моделей деградации и сферы их применения, а также приведены недостатки, определены перспективы развития.

Ключевые слова: деградация, модель, покрытие, состояние, качество материалов.

Annotation. The article analyzes the global and domestic experience to pavement degradation models for roads. In the article were given the basic classifications of degradation models and their scope, and given the shortcomings, identified prospects.

Keywords: degradation, model, pavement, condition, quality of materials.

Постановка проблеми

Проблема деградації покриття автомобільних доріг вже довгий час хвилює багатьох науковців пострадянського простору. Багато дослідників працювало і продовжують працювати над вирішенням цього питання. Деякі з них все ж досягнули певних успіхів, проте цю проблему не можна вважати до кінця вирішеною на даний момент.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз публікацій та досліджень з даної проблематики показав, що питанню удосконалення існуючих моделей деградації покриття автомобільних доріг приділено занадто мало уваги, як з аналітичного боку так і з розрахункового.

Мета статті. Метою статті є визначення перспектив удосконалення моделей деградації покриття автомобільних доріг.

Виклад основного матеріалу

Основною метою використання моделей деградації покриття є визначення терміну виконання наступного ремонту або реконструкції дороги. Одним з перших класифікував моделі прогнозування стану покриття на основі його деградації Mahoney (1990 р.). Проте, ця класифікація має посилення на більш ранню роботу Lytton (1987 р.) [1] (таблиця 1).

Таблиця 1 – Класифікація моделей прогнозування стану покриття

Детерміновані				Ймовірнісні		
Першочергового реагування	Структурні	Функціональні	Пошкодження	Криві ЖЦ	Моделі перехідного процесу	
Відхилення показників Деформації Питоме навантаження	Покриття Стан Деградація	Індекс PSI Рівень безпеки тощо	Основа на еквівалент-ному навантаженні		Марков-ські	Напів-марков-ські

Згідно цієї класифікації моделі прогнозування стану покриття можуть бути або детермінованими або ймовірнісними. Детерміновані моделі прогнозують середні значення експлуатаційних показників покриття. На противагу цьому, ймовірнісні моделі можуть прогнозувати не тільки середні значення, а й розподіл цих значень.

У своїх роботах Mahoney припускає, що час до руйнування дорожнього покриття є випадковою змінною. Відмова відбувається, коли будь-який з показників пошкодження перевищує своє порогове значення. Ймовірність того, що показник пошкодження перевищує допустимий поріг визначається за формулою [1]:

$$\Pr\{d \geq H\} = 1 - \Phi\left(\frac{H - \mu}{\sigma}\right) \quad (1)$$

де Φ - це стандартний нормальний розподіл;

μ і σ очікуване значення і стандартне відхилення рівня і-го пошкодження, відповідно;

H - порогове значення для пошкодження d .

За допомогою моделей деградації покриття дороги можна виділити наступні періоди:

проектний період - це проміжок часу(від 10 до 20 років);

період для аналізу - це проміжок часу, для якого проводиться аналіз економічної ефективності різних варіантів стратегій ремонту і утримання.

Ralf Haas у своєму дослідженні (2003 р.) згрупував більшість моделей прогнозу експлуатаційних якостей в такі класи: емпіричні, механіко-емпіричні та ймовірнісні моделі деградації стану елементів доріг [2]. Зазначені моделі були покладені в основу формування систем управління станом доріг, таких як, наприклад, Pavement Management System (PMS), Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM) [3].

Вітчизняним науковцем, Радовським Б.С., було описано модель деградації дорожнього покриття на основі капітальності конструкції, якості будівництва і властивостей матеріалів (рис.1) [4], що базується на випробуваннях дорожнього одягу на полігоні Американської Асоціації державних дорожніх службовців (AASHO), які стали основою для функціонування Pavement Management System (PMS).

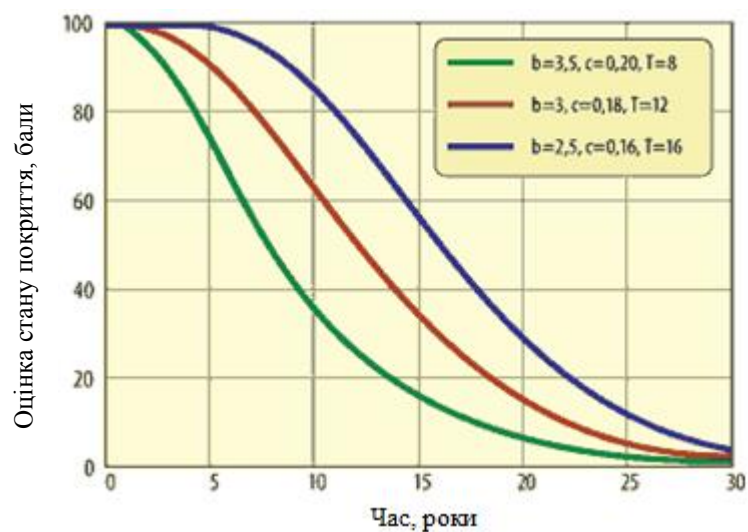


Рисунок 1 – Зміна експлуатаційного стану дороги з часом

Криві на рис.1 побудовані за формулою [4]:

$$PCI(t) = 100 \times \Phi \left[\frac{1}{C} \left(1 - \left(\frac{t}{T} \right)^{\frac{1}{b}} \right) \right] \quad (2)$$

де $PCI(t)$ - показник експлуатаційного стану покриття;

$\Phi(x)$ – інтеграл ймовірності;

t - час, після закінчення якого визначається цей показник;

T - час до зниження первісної оцінки вдвічі, залежний від конструкції дорожнього одягу, природних умов її роботи і інтенсивності руху, приведеної до розрахункового осьового навантаження;

b - постійна, що характеризує опір матеріалу повторним навантаженням;

c - коефіцієнт варіації, що характеризує розкид запасу міцності щодо його середнього значення.

Згідно досліджень Радовського Б.С. прийняття рішення про вид ремонту залежить від експлуатаційного стану покриття, а при прогнозуванні зміни стану дорожнього одягу в часі слід виходити з закономірностей поведінки дорожньо-будівельних матеріалів при повторних навантаженнях, так як всі види пошкоджень обумовлені багаторазово повторюваними силовими або температурними впливами.

В Україні на основі моделей Кизими С.С. для прогнозування стану покриття була розроблена Система управління станом покриття (СУСП), програмну реалізацію якої виконав Канін О.П. Запропоновані моделі Кизими С.С. базуються на чітко визначених, детермінованих вихідних даних і не враховують їх можливу випадковість [5]. За допомогою трьох методів, використовуваних в СУСП (аналітичного, графічного і графоаналітичного), можна визначити коли і який ремонт потрібно проводити або ж виконувати реконструкцію.

Слід зазначити, що всі вище згадані методи використовуються тільки для асфальтобетонних покриттів. Тобто в них не враховується проблема деградації більшості елементів дороги, також ці моделі не використовуються для жорстких дорожніх одягів.

Останнім часом під керівництвом Каніна О.П. були виконані розробки з удосконалення СУСП з урахуванням закордонного досвіду і тенденцій розвитку дорожнього господарства [6-7]. Проте, ці дослідження ще незавершені, не повністю враховують вплив якісних характеристик матеріалів покриття на міжремонтні строки і практично не використовуються на практиці в дорожній галузі через ряд причин (брак коштів, законодавчі перепони й недосконалість нормативно-правової бази та ін.).

Висновок

Застосовані в Україні моделі деградації покриття автомобільних доріг, на жаль, не враховують багатьох параметрів, які пов'язані з якістю використовуваних матеріалів та контролем якості укладання шарів дорожнього покриття, що є важливим при визначенні часу виконання і виду ремонтного заходу. Внаслідок збільшення осевого навантаження автомобіля прямо пропорційно збільшується і навантаження на покриття, яке не розраховане на такі швидкі темпи зростання, і тому воно починає швидше руйнуватись, термін до ремонту зменшується, а, отже, метод розрахунку часу до наступного ремонту, який був використаний, себе не виправдає.

Отже, виникає необхідність удосконалення існуючих моделей деградації покриття з урахуванням якісних характеристик використовуваних матеріалів.

Література

1. Kamalesh Panthi. A Methodological Framework for Modeling Pavement Maintenance Costs for Projects with Performance-based Contracts / Kamalesh Panthi // Florida International University, 2009 – 120 p. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://digitalcommons.fiu.edu/etd/120>.
2. Ralph Haas, Norman W. McLeod. International Flexible Pavements Conference Sydney, Australia, 25 – 28 September, 2011.
3. HDM – 4. Highway Development & Management. Volume one. Overview of HDM – 4 // Henry G.R. Kerali. PIARC, World Bank Association, 2000.- 53 p.
4. Радовский Б.С. Прогнозирование закономерности изменения состояния дорожной одежды / Б.С. Радовский, А.Б. Сердюк // Автомобильные дороги, 1994. т. N7. - С.19-22.
5. Кизима С.С. Експлуатація автомобільних доріг: Навч.посібник. - Київ: НТУ, 2009. – 232 с.
6. Канін О.П. Управління дорожнім господарством шляхом застосування інформаційно-аналітичної системи / О.П.Канін, А.М.Харченко // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. – К.: НТУ – 2014. – Вип.2. – С.98-102.
7. Канін О.П., Шпиг А.Ю. Модель обґрунтування рівня втручання для відновлення стану елементів доріг. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2011. – Вип.82. – С. 71-75.

Кульбовський І.І., канд. техн. наук, Демченко В.О., канд. техн. наук

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗМІН УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВЗАЄМОДІЮЧОЇ ПАРИ РЕЙКА-КОЛЕСО НА ЗНОС ПОВЕРХНІ КОЧЕННЯ В ПРОЕКТАХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Анотація. Розглянуто вплив умов експлуатації на знос поверхні кочення рейки, проаналізовані причини змін та вплив різних типів рухомого складу на залізничну колію в різні роки експлуатації.

Ключові слова: транспорт, колісна пара, рейка, навантаження, стійкість руху, вимірювання, лазерний профілометр.

Аннотация. Рассмотрено влияние условий эксплуатации на износ поверхности качения рельса, проанализированные причины изменений и влияние разных типов подвижного состава, на железнодорожный путь в разные годы эксплуатации.

Ключевые слова: транспорт, колесная пара, рельс, нагрузка, стойкость движения, измерения, лазерный профилометр.

Annotation. Influence of external on the wear of surface of woobling of rail environments, analysed reasons of changes and influence of different types of rolling stock, is considered on a railway way in the different years of exploitation.

Key words: transport, wheelpair, rail, loading, firmness of motion, measuring, laser profilometr.

В теперішній час широко проводяться дослідження проблеми зниження силової та фрикційної взаємодії в системі «рейка-колесо», що окрім економічної складової, має значний вплив на безпеку руху. Актуальність цього питання пов'язана з витратами на заміну рейок і коліс локомотивів внаслідок підвищеного зносу цієї пари. Якщо в 1980-х роках термін роботи бандажів колісних пар локомотивів становив 5-6 років, то наприкінці 1990-х років термін роботи бандажів зменшився до 2-2,5 років. При тому, якщо в 70-80-х роках

минулого століття знос поверхні кочення появлявся у вигляді сідлоподібної виїмки, то після 1990-х років він набув рівномірного характеру включно до гранично допустимого по всій довжині поверхні катання аж до гребеня колеса. Схема типового зносу поверхні катання бандажів наведена на (рис. 1).

Характерним зносом бандажа в 1960-1980 роках був знос поверхні катання (прокат) бандажа (рис. 1). Через збільшення навантаження на вісь змінилась конструкція верхньої будови колії. Відбувся перехід з рейок колії Р-50, яка мала ширину головки 70 мм, на рейку Р-65 з шириною головки 75 мм. Відстань між внутрішніми гранями колісних пар (насадка коліс) не змінювалась (1440^{+3} мм) [1].

В локомотивному господарстві в 90-х роках середній знос гребеня колісної пари локомотива на 10 тисяч км становив понад 1 мм, причому в літній період знос становив майже 3 мм, для порівняння на початку 80-х років знос складав лише 0,15 мм [2].

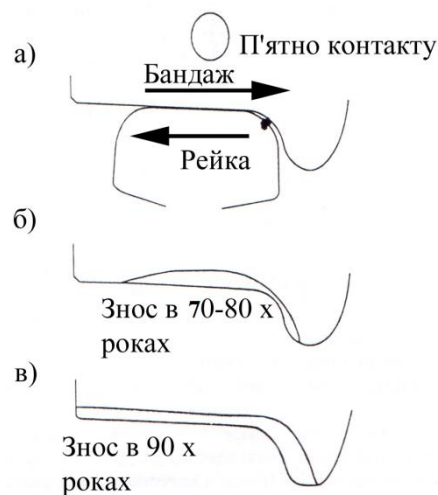


Рисунок 1 – Схема зносу поверхні бандажа колісної пари в різний період експлуатації

Вихід рейок через граничний боковий знос за такий же період збільшився в 3 рази [3]. Аналіз робіт по проблемі взаємодії рейок та коліс рухомого складу [4], [5], [6], показав, що причина інтенсивного зносу рейок та бандажів залежить не лише від стану колії, а ще від технічних характеристик і технічного стану рухомого складу.

В зв'язку із вказаним у низки фахівців, особливо у фахівців в галузі рухомого складу [7], стала виникати стійка впевненість, що причиною збільшення інтенсивності зносу коліс і рейок є зменшення ширини рейкової колії на 4 мм. Але це твердження не є обґрунтованим.

Як вказано в [8] введення нормативу $S=1520^{+6}_{-4}$ мм. взамін нормативу $S=1524^{+6}_{-4}$ мм. було здійснено на вітчизняних залізницях в 1971 році після тривалих досліджень ВНДІЗТу, і ЛПЗТу і головним результатом такого впровадження стало покращення взаємодії рейкової колії з колісними парами рухомого складу за рахунок зменшення зазорів між гребенями коліс та рейками, що в свою чергу призвело до зменшення поперечних переміщень колісних пар під час руху та зменшенню величини бокових сил.

Для того щоб з'ясувати істинні причини такого явища, яке проявилось в збільшенні інтенсивності зносу коліс і рейок, спробуємо більш ретельно проаналізувати не тільки умови взаємодії пари колесо-рейка, але також зміни в умовах експлуатації вказаної пари що взаємодіє між собою та зміни вихідних технічних характеристик коліс рухомого складу та рейок.

Для збільшення пропускної спроможності залізниць у 80-х роках було вжито низку заходів. Одним із таких заходів було збільшення осьового навантаження, що вкрай негативно вплинуло на стан пари «рейка-колесо» [9], [10]. На рис. 2 наведено значення осьового навантаження різних типів тягового рухомого складу, із графіку видно що вантажні локомотиви які знаходяться в експлуатації 2ТЕ116, 2ТЕ10, ВЛ80 мають більше навантаження від осі в порівнянні з ТЕ3, ВЛ8.

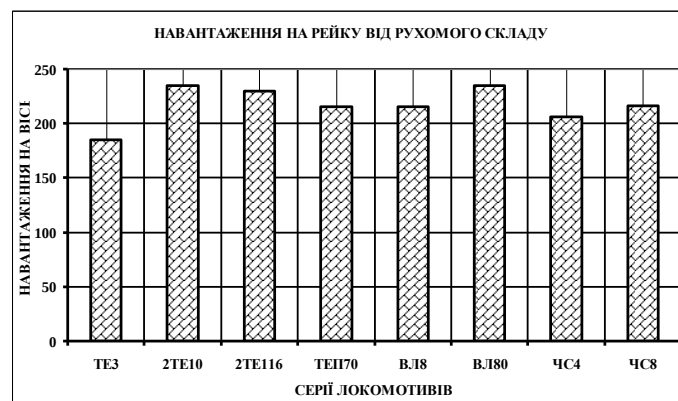


Рисунок 2 – Графік навантаження від колісної пари на рейку різних типів тягового рухомого складу

Для забезпечення встановлених швидкостей руху, перевезення поїздів збільшеної маси значно була збільшена потужність локомотивів і не лише задіяних у вантажному русі, а також значно збільшилась потужність

пасажирських локомотивів, на рис. 3 наведено значення потужності різних серій локомотивів які експлуатуються в Україні.

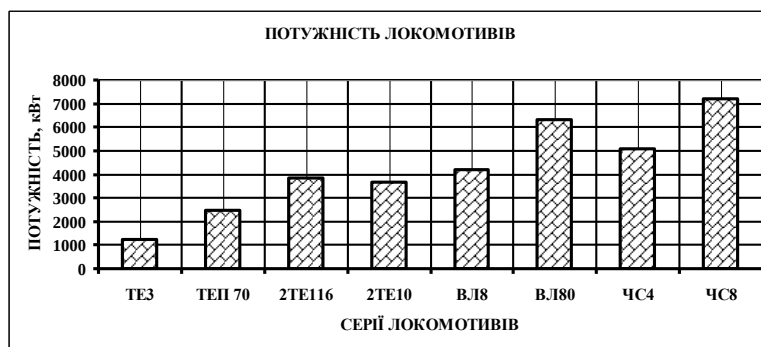


Рисунок 3 – Графік збільшення потужності локомотивів

За рахунок збільшення потужності локомотивів в рази, зросла і сила тяги яка передається через одну колісну пару. Такий фактор як зростання тяги, що передається через одну колісну пару дуже негативно впливає на знос поверхні рейки та колеса. Саме внаслідок його на поверхні головки рейки концентруються великі дотичні контактні напруження, що перевищують межу текучості металу, і в результаті починають виникати тріщини та відшарування. Схема виникнення дефектів на поверхні кочення рейки наведена на рис 4 [11].

Коротко викладемо явища які виникають на поверхні кочення рейки та поверхні катання колісної пари, в п'ятні контакту, в момент руху локомотива по рейках. Контактуючі поверхні колеса та рейки намагаються зміститись відносно одне одного. Виникаючі сили міжмолекулярної взаємодії викликають пружні, або пружно-пластичні деформації [12, 13].

Аналізуючи схему рис. 1.4 напруження в зоні контакту приводять до подовження поверхні кочення рейки, результатом є переміщення шарів мікроструктури рейки. Виникає проковзування, яке називається боксуванням. Через виникаючі деформації рейки та колеса за один оберт воно проходить меншу відстань від його довжини кола катання.



Рисунок 4 – Наслідки збільшення сили тяги одиночної колісної пари, зміщення волокон поверхні контакту рейки та колеса

Під час руху в режимі тяги волокна коліс пружно проковзують по волокнах рейки виникає пружне проковзування яке називається крипом. На рис. 1.4 викладено явище поздовжнього крипу, для поперечного крипу суть процесу аналогічна. Більш детальне викладення контактної взаємодії рейки та колеса і стійкості руху викладено в другому розділі дисертаційної роботи та в роботі [14].

На рис. 5 приведений графік який показує як значно збільшилась сила тяги одного колісно-моторного блоку магістральних локомотивів які використовуються як в пасажирському так і в вантажному русі.

Зростання сили тяги колісно-моторного блоку можливе в двох випадках: коли змінюється передаточне число, або збільшується потужність тягового електродвигуна локомотива.



Рисунок 5 – Сила тяги одного колісно-моторного блоку локомотива

Із технічних характеристик декількох серій локомотивів що експлуатуються в Україні стає зрозумілим, що потужність тягових електричних двигунів (ТЕД) також збільшилась в рази, для прикладу, у тепловоза серії ТЕЗ та електровоза серії ВЛ80 потужність електричного двигуна зросла в 4 рази. Графік збільшення потужності ТЕД наведено на рис. 6.

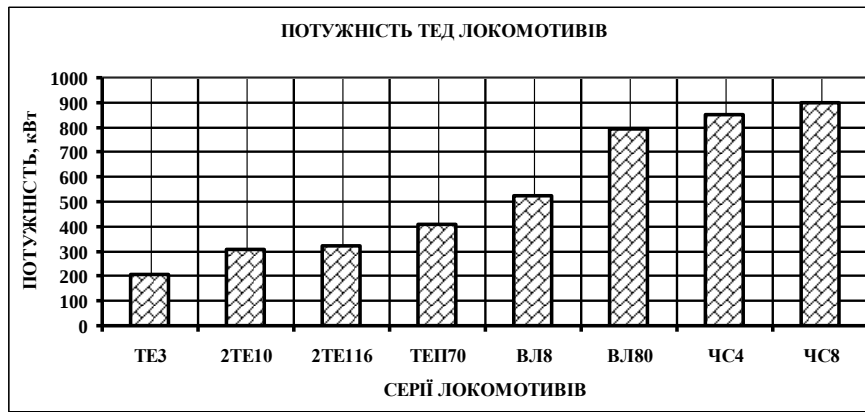


Рисунок 6 – Потужність тягових електродвигунів декількох серій локомотивів

Аналізуючи дані (табл. 1, 2) та роботи науковців по вивченню зносу пари рейка-колесо слід акцентувати увагу що на інтенсивність зносу впливає зовсім не зміна ширини рейкової колії, а декілька інших дуже вагомих причин: по-перше – це зростання одиничної потужності колісно-моторних блоків локомотивів, по-друге – це збільшення навантаження на осі колісних пар. Результатом такого збільшення на залізницях України в 90-х роках з'явилося те, що знос рейок збільшився в 3-4 рази в порівнянні з 1970-ми роками, витрати на ремонт колії зросли в 4-5 разів, збільшення потужності колісно-моторних блоків призвело до збільшення витрат піску на 30-35 %, а це як результат додаткового зносу бічної поверхні рейок та коліс рухомого складу.

Таблиця 1 – Основні технічні характеристики тягового рухомого складу

Основні характеристики	Одиниці виміру	Серії локомотивів							
		ТЕЗ	2ТЕ10	2ТЕ116	ТЕП70	ВЛ8	ВЛ80	ЧС4	ЧС8
Навантаження на вісь	кН	190	230	226	215	225	235	206	216
Конструктивна швидкість	км/год	100	100	100	160	80	110	160	160
Сумарна потужність на валах ТЕД	кВт	1236	3684	3840	2466	4200	6320	5100	7200
Маса локомотива	т	119	138	139	129	138	192	126	176
Рік початку випуску	-	1953	1973	1972	1973	1953	1980	1965	1983
Сила тяги що припадає на одну вісь	кВт	206	307	320	411	525	790	850	900

Таблиця 2 – Статичне навантаження на колію від різних моделей вагонів

Показники	Вантажопідйомність, т	Навантаження на 1 погонний метр колії, т/м	Навантаження від колісної пари на рейку, кН	Конструкційна швидкість км/год	Кількість колісних пар
Криті вагони 11-270	68,5	6,18	228	120	4
Напіввагони 12-132	75	7,18	245	120	4
Спеціалізовані напіввагони 12-1592	71	6,63	225,4	120	4
Вагони платформи 13-4012	71	6,32	228	120	4
Цистерна	120	8,1	215	120	8
Цистерна для бензину	62	6,4	216	120	4

Виникнення зносу поверхні кочення рейок виникає внаслідок пластичної деформації в зоні контакту рейки та колеса, критерієм деформації є рівень контактних напружень в головці рейки. Приведемо тут результати визначення контактних напружень в зоні контакту рейки та колеса розрахунковим методом. Результати розрахунків для коліс нового стандартного профілю, та профілю з пробігом докладно наведені в роботі [15]. На рис. 7 наведена графічна залежність виникаючих контактних напружень в головці рейки від вертикального навантаження коліс рухомого складу які мають різний ступінь зносу.

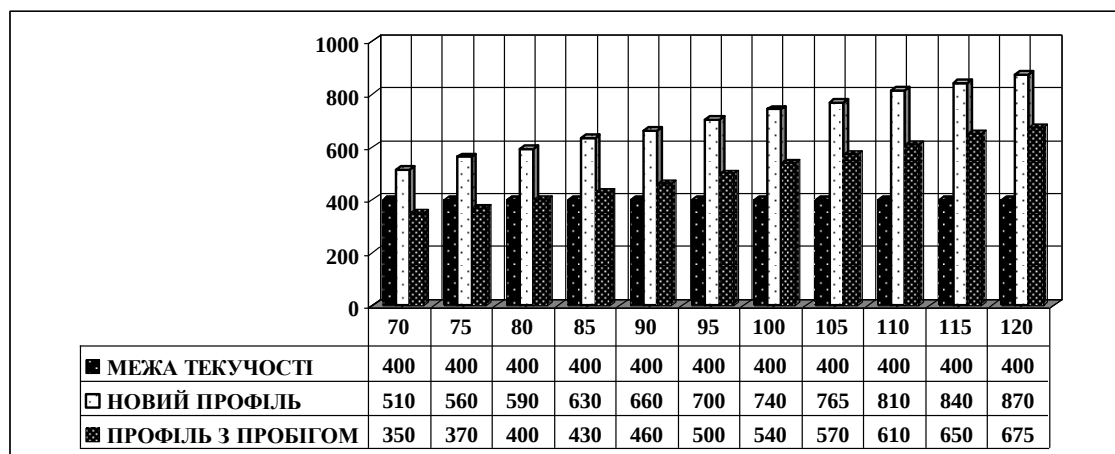


Рисунок 7 – Контактні напруження в головці рейки залежно від вертикального навантаження та стану поверхні кочення колісної пари

Як показує аналіз результатів досліджень [15] в експлуатації профілі колісних пар зношуються, змінюється форма контакту та його площа, все це призводить до зменшення контактних напружень, але рівень таких напружень

залишається вище границі текучості, що є однією із причин виникнення хвилеподібних нерівностей на поверхні кочення рейки.

Українські залізниці мають значно складніші умови експлуатації в порівнянні із європейськими залізницями, через рух по одних магістральних лініях вантажних та пасажирських поїздів.

В мережі залізниць України експлуатується рухомий склад із значним навантаженням на вісь колісної пари локомотиви пасажирські від 205 кН до 220 кН, локомотиви вантажні від 230 кН до 250 кН, відповідно встановленим інструкціям на залізничних магістралях України прийняті максимальні швидкості руху для різних категорій поїздів, для пасажирських поїздів 140 км/год, рефрижераторних поїздів 120 км/год, вантажних поїздів 90 км/год. Додаткові вимоги до руху пасажирських поїздів із швидкостями більше 140 км/год встановлюється відповідною інструкцією Державної адміністрації залізничного транспорту України. Залізницями України які мають експлуатаційну довжину колії 22,5 тисячі км виконується значний об'єм перевезень. В Європі залізниці України посідають четверте місце, а в світі одинадцяте за експлуатаційною довжиною колії.

За час незалежності України Укрзалізниця виконала великий обсяг робіт по модернізації колійного господарства.

Сучасний стан колійного господарства українських залізниць характеризується досить високими показниками.

Протяжність безстикової колії за той же період зросла на 24,5% і нині складає 71% від загальної протяжності головних колій; кількість стрілочних переводів на залізобетонних брусах зросла на 44,5% і на даний час складає біля 47% від загальної кількості стрілочних переводів, вкладених на усіх коліях Укрзалізниці, при цьому на головних коліях переводів на залізобетоні більше 71%. На рис. 8 показана динаміка впровадження сучасних конструкцій верхньої будови колії на залізницях України.

Від стану верхньої будови колії залежить швидкість руху поїздів, безперебійність руху потягів, допустимі навантаження на вісь вагонів і локомотивів, об'ємів перевезень на ділянках колії, безпека руху поїздів. Від безпечної та якісної роботи насамперед колійного господарства залежить забезпечення безперервного та безпечного руху поїздів і з встановленими швидкостями.

З аналізу змін характеристик конструкції верхньої будови колії (ВБК) на вітчизняних залізницях можна бачити, що найбільш характерними рисами модернізації колій на залізницях України стало підвищення потужності ВБК, перехід на більш потужні рейки Р65, впровадження більш жорстких конструкцій підрейкової основи, а також впровадження більш твердих і більш зносостійких термозміцнених рейок на головних коліях мережі залізниць України.

З позицій взаємодії пари «колесо-рейка» особливе значення в питаннях інтенсивності зносу обох взаємодіючих елементів займає співвідношення мас, що приймають участь в взаємодії, а також співвідношення жорсткостей механічних систем, що представляють собою конструкції колії та рухомого складу, і крім того питання співвідношення твердості безпосередньо в контакті колеса і рейки.

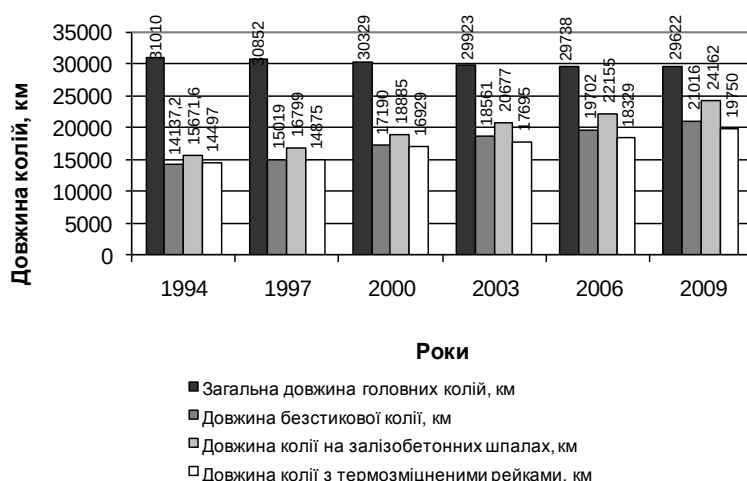


Рисунок 8 – Динаміка впровадження сучасних конструкцій верхньої будови колії (ВБК) на головних коліях Укрзалізниці

Питання співвідношення твердості поверхні кочення колеса і рейки набуло останнім часом гостроту через те, що спеціалісти рухомого складу звернули увагу на те що в колію почали вкладатись термічно зміцнені рейки з твердістю 341-388 од. НВ. В такому випадку логічно було б збільшувати і твердість колісних пар, але при цьому потрібно витримувати встановлене раніше раціональне співвідношення між твердістю рейки та колеса 1,1-1,2 / 1,0 на користь рейки. Результати виміру зносу гребенів і поверхні кочення бандажа (прокат) показали, що із зменшенням товщини гребеня в результаті його фізичного зносу до товщини 30-29 мм, подальша інтенсивність його зносу

значно знижується. Це свідчить про те, що передача сили тяги через гребінь зменшується, так як збільшується відстань між внутрішніми поверхнями гребенів колісної пари.

Висновки

Таким чином в результаті виконаного аналізу можна зробити наступні висновки щодо причин збільшення зносу:

1. По рухомому складу:

1.1. За період з 1970-х до 1990-х рр. суттєво збільшилась потужність локомотивів;

1.2. Зросли навантаження від коліс на рейки у локомотивів і вагонів;

1.3. Збільшилась потужність тягових двигунів для кожного колісно-моторного блоку локомотивів;

1.4. Сила тяги в довготривалому режимі, що передає одна колісна пара електровоза в порівнянні з тепловозом збільшилась більше, ніж в 3 рази;

1.5. Розрахункова швидкість в довготривалому режимі збільшилась майже в 2,7 раз;

1.6. З переходом на інший тип рейки залишилась незмінною відстань між внутрішніми гранями бандажів колісних пар.

1.7. Змінився коефіцієнт тертя в контакті рейки та колеса;

1.8. Відхилення від нормативних вимог в бік збільшення, геометричних параметрів установки колісних пар при виготовлення та в експлуатації;

1.9. Перевищення встановлених норм по різниці діаметрів поверхні катання коліс, однієї колісної пари;

1.10. Наявність розбалансування ресорного підвішування та опорно-повертаючих пристроїв;

1.11. Змінилось співвідношення якості і твердості металу колісних пар та рейок;

1.12. Використання різних методів зміцнення коліс і рейок, їх хімічний склад, мікроструктура;

1.13. Особливість зміни кута нахилу гребеня бандажа в експлуатації залежно від типу профілю та ступенем зносу колісної пари;

1.14. Значне забруднення та пошкодження контактуючих поверхонь системи «рейка-колесо»;

1.15. Негативний вплив атмосферних умов на знос поверхонь рейки та колеса.

1.16. При гальмуванні вагони в середній частині поїзда в рейковій колії встановлюються з перекосом в результаті набігання хвостових вагонів, а гребені колісних пар починають інтенсивно взаємодіяти з бічними гранями рейок.

2. По конструкції верхньої будови колії:

2.1. Збільшилась потужність і маса конструкцій колії, що приймає участь при взаємодії пари колесо-рейка;

2.2. Збільшилась жорсткість підрейкової основи, за рахунок впровадження залізобетонних шпал;

2.3. Збільшилась твердість поверхні кочення рейок, що взаємодіють з колесами, за рахунок широкого впровадження термозміцнених рейок;

2.4. Відповідно зі збільшенням вертикальних навантажень від коліс рухомого складу на рейки та з урахуванням збільшення потужності тягових двигунів від кожного колісно-моторного блоку локомотивів – збільшились величини контактних дотичних напружень в верхніх шарах головки рейки і внаслідок цього зросла інтенсивність накопичення контактно-втомлювальних дефектів і знос верхніх шарів поверхні кочення залізничних рейок;

2.5. Зменшились нормативи ширини колії в прямих та кривих ділянках радіусом менше 350 м. з 1524^{+6}_{-4} мм (до 1971 р.) на 1520^{+6}_{-4} мм (в 1971 р.) і на 1520^{+8}_{-4} мм (в 1996 р.).

Результати аналізу багатьох наукових досліджень [16], [17] свідчать, що необхідно на противагу збільшенню навантаження на вісь, а також потужності яка передається колісною парою на рейки, передбачити низку заходів, які могли б зменшувати знос бічної грані головки рейки та поверхні катання колісної пари.

До таких заходів можна віднести:

- зменшення сили тяги, що передається однією колісною парою. На електротяговому рухомому складі який експлуатується це можливо зробити тільки зменшенням ваги вантажного поїзду. При проектуванні процесу перевезень на залізницях потрібно це враховувати;

- зменшення відстані між внутрішніми поверхнями гребенів колісної пари в межах допусків;

- збільшення твердості поверхні рейки, але в зв'язку з можливими боковими підрізами гребенів в межах раціонального підняття співвідношення твердості колеса і рейки;

- нанесення на поверхню гребенів коліс змащувального матеріалу, що підвищує стійкість до зносу;

- можливо зменшення відсотку сили тяги, що передається через поверхню гребеня, шляхом зменшення сили тертя в контакті «рейка-гребінь», але це в свою чергу може знизити використання потужності локомотива. (Якщо нанести мастило на бічні поверхні гребенів, то сила тяги знижується на автозчепленні на 10-12%).

Використання кожного із заходів по зниженню зносу пари «рейка-колесо» в експлуатаційних умовах, що існують на залізницях залежить від:

1. Підбору раціональної твердості матеріалів із яких виготовляються рейки та бандажі колісних пар, також їх раціональних співвідношень;

2. В сучасних умовах універсальними заходами для всіх залізниць є: зміцнення робочої поверхні гребеня та зменшення його товщини;

3. Нанесення мастила в контакт «рейка-колесо» доповнюють вищезгадані заходи і його використовують в залежності від профілю ділянки залізниці. Ефективність нанесення мастила залежить від інтенсивності зносу гребеня, від зміцнення поверхні гребеня та зменшення його товщини. Це, як правило, не має сенсу на тих залізницях, де ресурс бандажа складає менше 700 тис. км пробігу. Але зміцнення поверхні бандажа, як уже згадувалось, вирішення проблеми не дасть.

Змащення гребенів, як описувалось вище, приводить до зниження сили тяги. Якщо уніфікована вага вантажних поїздів на дільницях обслуговування не значна, то змащування ще можливо використовувати. Але якщо уніфікована вага поїзда близька до максимальної що може зрушити локомотив, то зменшення коефіцієнту зчеплення коліс локомотива та рейок веде до буксування колісних пар, зниження швидкості до величини, нижче розрахункової, перевантаженню тягових двигунів і їх пошкодження.

Однією з проблем є відсутність досліджень впливу зміни профілю бандажа коліс тягового рухомого складу на взаємодію з колією та знос гребенів колісних пар. З моменту переходу на електротягу минуло багато часу, а таких досліджень не проводилось. Наприклад, на локомотивах які експлуатуються на

Львівській залізниці вже через 3500 тис. км, параметри профілю бандажа вже мають значні відхилення від початкового (значний підріз гребенів). Дані отримані із звіту про заміри параметрів бандажів колісних пар в експлуатації який подається до служби локомотивного господарства кожної залізниці України.

Виходячи з цього потрібно зробити висновок, що до зносу гребеня з 33 мм до 25 мм 90 % пробігу до наступної обточки бандаж колісної пари працює на профілі, що не відповідає початковому. Такий стан речей має дійсно велике значення у вирішенні питань динаміки, сил, що діють на різні системи робочих частин рухомого складу та колії.

Література

1. Інструкція з формування, ремонту та утримання колісних пар тягового складу залізниць України колії 1520 мм / ЦЗ/023. – ЗАТ «Мінетек». – К.: «НВП Поліграфсервіс», 2011. – 171 с.
2. Лашко А.Д. К вопросу о стратегии Укрзализныци по решению проблемы устранения сверх нормативных износов пары «колесо-рельс» / А.Д. Лашко, О.М. Савчук // Залізничний транспорт України : наук.-практ. журнал. – 1997. – № 2-3. – С. 2-4.
3. Беседин И.С. Целевые задачи обеспечения устойчивости взаимодействия в системе колесо – рельс / И.С. Беседин // Современные проблемы взаимодействия подвижного состава и пути : сб. докладов науч.-практ. конф. – М. : Щербинка, 2003. – С. 11-13.
4. Сергиенко Н.И. Некоторые пути снижения сверхнормативного износа колес тягового подвижного состава / Н.И. Сергиенко, Г.К. Гетьман // Залізничний транспорту України. – 1997. – № 2-3. – С. 15-17.
5. Косов В.С. Исследования взаимодействия в системе «колесо-рельс» / В.С. Косов, А.Л. Бидуля, В.В. Березин, А.А. Лунин // Путь и путевое хозяйство : науч.-поп. производ.-техн. журнал. – 2012. – № 9. – С. 12-15.
6. Богданов В.М. Современные проблемы системы колесо-рельс / В.М. Богданов, С.М. Захаров // Современные проблемы взаимодействия подвижного состава и пути : сб. докладов науч.-практич. конф. – М. : Щербинка, 2003. – С. 11-13.
7. Косов В.С. Исследования взаимодействия в системе «колесо-рельс» / В.С. Косов, А.Л. Бидуля, В.В. Березин, А.А. Лунин // Путь и путевое хозяйство : науч.-поп. производ.-техн. журнал. – 2012. – № 9. – С. 12-15.
8. Даніленко Е.І. Про необхідність внесення змін в існуючі нормативні допуски по ширині рейкової колії у прямих та кривих при впровадженні швидкісного руху поїздів на залізницях України / Е.І. Даніленко, М.І. Карпов, В.М.Молчанов, Р.М.Йосифович // Залізничний транспорт України: наук.-практ. журнал. – 2014. – № 2. – С. 9-17.
9. Марков Д.П. Повышение твердости колес подвижного состава (предпосылки и перспективы) / Д.П. Марков // Вестник ВНИИЖТ. – М., 1995. – № 3. – С. 10-17.
10. Ларин Т.В. Износ и пути продления срока службы бандажей железнодорожных колес / Т.В. Ларин. – М.: Трансжелдориздат. –1958. –168 с.
11. У. Дж. Харрис. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса / У. Дж. Харрис и др. ; [перев. с англ. Захаров С.М.]. – М. : Интакст, 2002. – 408 с.
12. Иванов В.Н. Конструкция и динамика тепловозов : Учебник для вузов ж.-д. транспорта / В.Н. Иванов. – М.: Транспорт, 1974. – 335 с.
13. Розенфельд В.Е. Теория электрической тяги / В.Е. Розенфельд, И.П. Исаев, Н.П. Сидоров. – М.: Транспорт, 1983.
14. Деев В.В. Тяга поездов : Учебное пособие для вузов / Г.А. Ильин, Г.С. Афонин ; под ред. В.В. Деева. – М. : Транспорт, 1987. – 264 с.
15. Козырев А.И. Расчет напряженно-деформированного состояния колеса и рельса в зоне контакта / А.И. Козырев, А. Алижан // Железнодорожный транспорт. – 2009. – № 12. – С. 41-43.
16. Автоколебания и устойчивость движения рельсовых экипажей / Ю.В. Демин, Л.А. Длугач, М.Л. Коротенко, О.М. Маркова. – К. : Наукова думка, 1984. – 160 с.
17. Garg V.K. Dynamics of railway vehicle systems / V.K. Garg, R.V. Dukkipatti. – Academic Press. – 1984.

УДК 624.21.095.32

Кот Д.В., Коваль М.П., канд. техн. наук

НЕЗНІМНА ЗАЛІЗОБЕТОННА ОПАЛУБКА ДЛЯ ПЛИТ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ МОСТІВ

Анотація. Стаття присвячена огляду конструкцій плит проїзної частини мостів з незнімними залізобетонними опалубками.

Ключові слова: плита проїзної частини, незнімна опалубка.

Аннотация. Статья посвящена обзору конструкций плит проезжей части мостов с несъемными железобетонными опалубками.

Ключевые слова: плита проезжей части, несъемная опалубка.

Abstract. The article provides an overview of constructions of bridges decks with permanent concrete formwork.

Keywords: bridge deck, permanent formwork.

Постановка проблеми. В Україні, в другій половині ХХ століття переважна більшість прогонових будов автодорожніх мостів (близько 95%) будувалося із збірного залізобетону. Це було обумовлено вимогою індустріалізації будівництва у СРСР, що передбачало якраз максимальне використання збірних конструкцій. Тому плити проїзної частини мостів мали значну кількість поздовжніх стиків. Плити покривались вирівнюючим шаром бетону товщиною 3-5 см. В процесі експлуатації плити проїзної частини мостів зазнають безпосередньої динамічної дії тимчасового навантаження та впливу агресивного середовища (хімічно агресивної води з розчиненими солями, циклом замерзання-відтаювання та ін.). Досвід експлуатації збірних

залізобетонних прогонових будов мостів показав, що в їх плитах виникає значна кількість дефектів, обумовлених наявністю стиків. Це суттєво знижує довговічність прогонових будов мостів. Влаштування монолітної плити проїзної частини дозволяє покращити умови роботи прогонових будов та підвищити їх довговічність.

Враховуючи вище сказане, в чинних державних будівельних нормах України з проектування мостів [1] вказується, що плиту проїзної частини мостів слід виконувати монолітною, товщиною не менше 20 см. У випадку застосування збірних залізобетонних балок їх поверхню слід вкрити шаром монолітного залізобетону завтовшки не менше 14 см.

Враховуючи ці вимоги, залізобетонні прогонові будови автодорожніх мостів влаштовуються переважно збірно-монолітними: встановлюються збірні балки, по яких бетонується монолітна плита. Така конструкція потребує використання опалубки для влаштування плити.

Аналіз останніх досліджень. Особливої гостроти проблема улаштування опалубки плити набула внаслідок відмови від недосконалих типових проектів та переходу до індивідуального проектування із застосування різних типів головних балок, що вимагає створення індивідуальних опалубок. За радянських часів на території України великого поширення набула одноразова дерев'яна опалубка, рідко приділялась увага розробці уніфікованих систем, які можна було б пристосувати для різних форм [2]. Слід враховувати, що в умовах будівництва практично неможливе повторне використання дерев'яної опалубки. Тому зараз широкого поширення набуло використання досить дорогих іноземних систем фірм PERI, Doka, Ulma та ін. [3]. Крім власне опалубки, при зведенні монолітних залізобетонних споруд необхідні відповідні підтримуючі конструкції (риштування) [4]. Сюди, крім дерев'яних, у першу чергу належать інвентарні сталеві стійки різної конструкції, в тому числі й телескопічні, висота яких може змінюватись залежно від потреби. Підтримуючі конструкції мають високу вартість, а багаторазове їх обертання з різних причин не завжди можливе. Для мостів у ряді випадків застосування риштувань дуже ускладнене, наприклад, при значній висоті опор на мостах через великі річки,

шляхопроводах, при пересіченні залізниць або діючих автомобільних доріг та вулиць

Мета дослідження – на основі аналізу досвіду мостобудування вибрати перспективні конструкції незнімних опалубок залізобетонних плит проїзної частини мостів, визначити проблеми, які необхідно вирішити для науково-технічного забезпечення проектування таких конструкцій.

Основні результати дослідження. Перспективним напрямком в монолітному мостобудуванні є використання різних типів незнімної опалубки. За матеріалом вони поділяються на такі:

- армоцементні опалубки;
- залізобетонні;
- композитні;
- металеві.

Також незнімні опалубки можна класифікувати за типом їх роботи разом з несною конструкцією:

- опалубки, що враховуються в розрахунку плити проїзної частини, забезпечує на стадії зведення тимчасову опору для рухомої бетонної суміші і дозволяють витримувати монтажні навантаження, а потім стають частиною несної конструкції, збільшуючи розрахункову міцність;
- опалубки, що не враховуються в розрахунку плити проїзної частини, забезпечують на стадії зведення тільки тимчасову опору для рухомої бетонної суміші і дозволяють витримувати монтажні навантаження.

Схема класифікації залізобетонних незнімних опалубок для залізобетонних плит проїзної частини мостів наведена на рис. 1.

Широкого використання незнімні опалубки для плит проїзної частини мостів отримали за кордоном. Розглянемо деякі з найбільш ефективних конструкцій таких опалубок.

Лідером серед виробників залізобетонних незнімних опалубок для мостових конструкцій є британська компанія «Hanson», яка вже більше 10 років успішно застосовує свою продукцію в мостовому будівництві ([5]). Залізобетонні елементи незнімної опалубки (рис. 2) складаються з плоских

конструкцій різних розмірів та конфігурацій, несучих арматурних просторових каркасів трикутного перерізу, які забезпечують транспортну та монтажну стійкість та необхідне поєднання між збірними плитами та монолітним бетоном. Фірма-виробник має цілу серію розроблених конструкцій для великої номенклатури товщин плит проїзної частини, а також прольотів між балками.

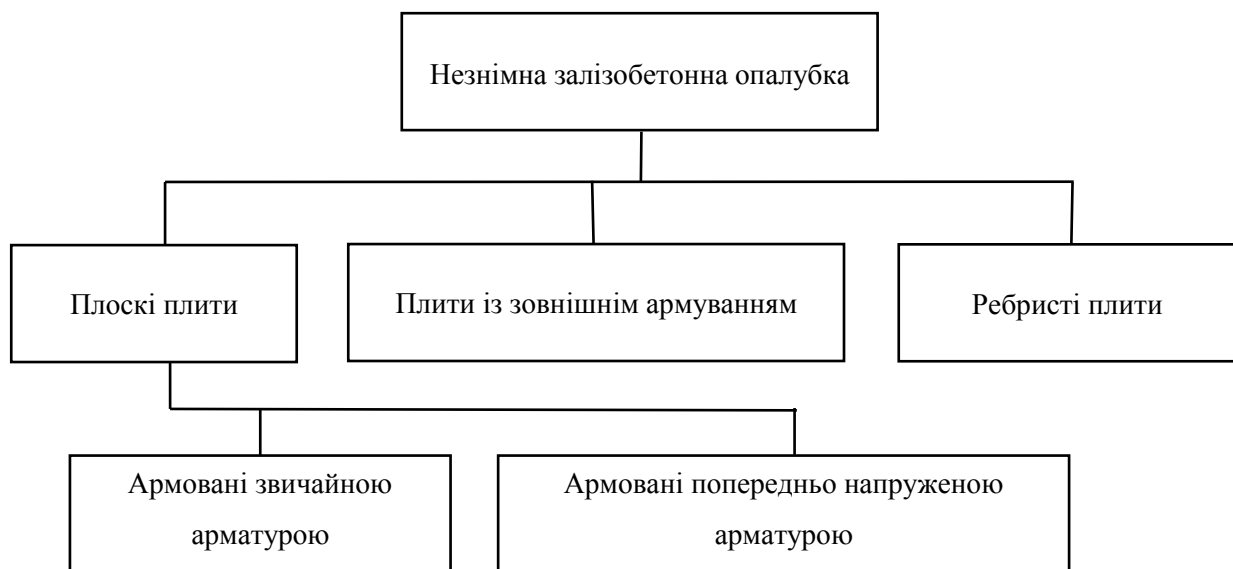


Рисунок 1 – Класифікація залізобетонних незнімних опалубок

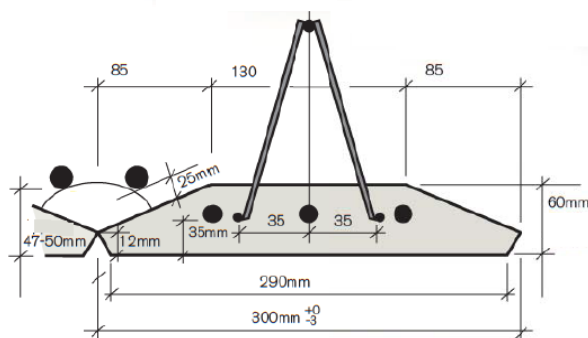
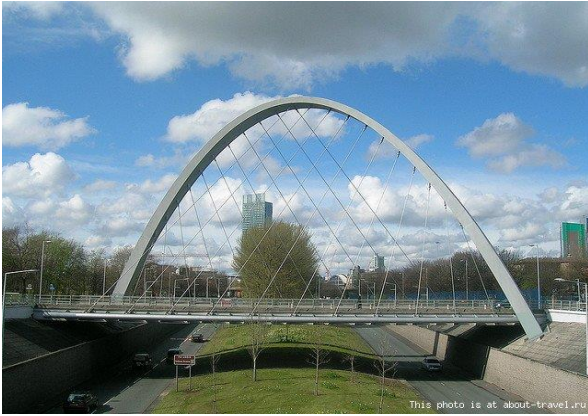


Рисунок 2 – Залізобетонні плити незнімної опалубки «Hanson»

Прикладом застосування може послугувати арочний міст Халма в Манчестері, який вигинається своєю 25-метровою аркою над Принцес-роуд і був побудований в 1996 році під керівництвом бюро Wilkinson Eyre Architects (рис. 3).



а)



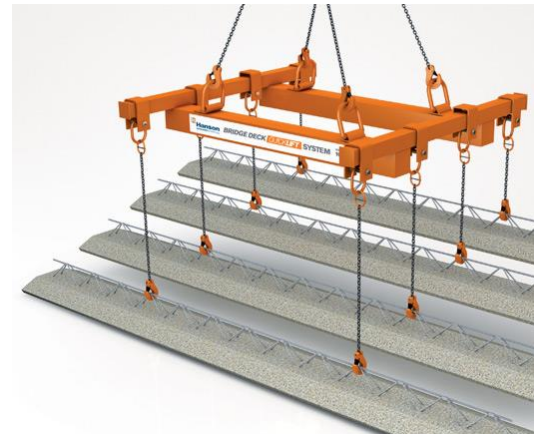
б)

Рисунок 3 – Міст Халма в Манчестері: а) загальний вигляд мосту; б) розкладка плит незнімної опалубки

Компанією розроблене все обладнання, яке необхідне для швидкого та безпечного монтажу опалубки на місці спорудження мосту (рис. 4).



а)



б)

Рисунок 4 – Обладнання для монтажу опалубки: а) транспортні засоби; б) спеціальна траверса для швидкого монтажу

Досить цікаво вирішене питання незнімної опалубки фірмою Humes (Австралія) [6]. Фірмою розроблено дві системи незнімної залізобетонної опалубки:

- HumeSlab;
- HumeSpan.

Система HumeSlab. Ця проста варіативна система HumeSlab, як правило, виготовлена з легкого бетону, з застосуванням вставок з полістиролу, для

забезпечення утворення розривів в опалубці під час формовки, для забезпечення швидкого і економічно ефективного підходу до влаштування плит проїзної частини. Розриви в опалубці утворені для повздовжніх балок (рис 5). Система HumeSpan – це надзвичайно легкі плити. Товщина бетону складає 50 мм. Загальні розміри варіюються залежно від конкретних умов конструкції, але система дозволяє повністю виконати армування плити проїзної частини, що значно підвищує темпи будівництва.



а)



б)

Рисунок 5 – Система опалубки HumeSlab: а) загальний вигляд опалубки перед бетонуванням; б) монтаж секції опалубки

Використовуються незнімні залізобетонні опалубки в мостовому будівництві і в Україні. Прикладом застосування плоских плит зі звичайною арматурою є естакада, збудована в Києві по проекту ТОВ «Містпроект» при реконструкції транспортної розв’язки на Поштовій площі. Споруда складається з трьох температурно-нерозрізних сегментів, розділених між собою деформаційними швами. Прогонова будова в поперечнику складається з восьми двотаврових попередньо напружених балок виробництва фірми «OBERBETON» та монолітної плити проїзної частини (рис. 6). В даній конструкції як незнімна опалубка використовуються плоскі залізобетонні плити товщиною 45 мм зі змінними прогонами за рахунок розміщення балок віялом. Ці плити не враховуються при розрахунку конструкції, забезпечують на стадії зведення тільки тимчасову опору для бетонної суміші і дозволяють витримувати монтажні навантаження. Плити армовані арматурною сіткою Вр І

Ø5 з чарункою 100×100 згідно ГОСТ 6727-80*. Приклад укладки плит показаний на рис. 7.

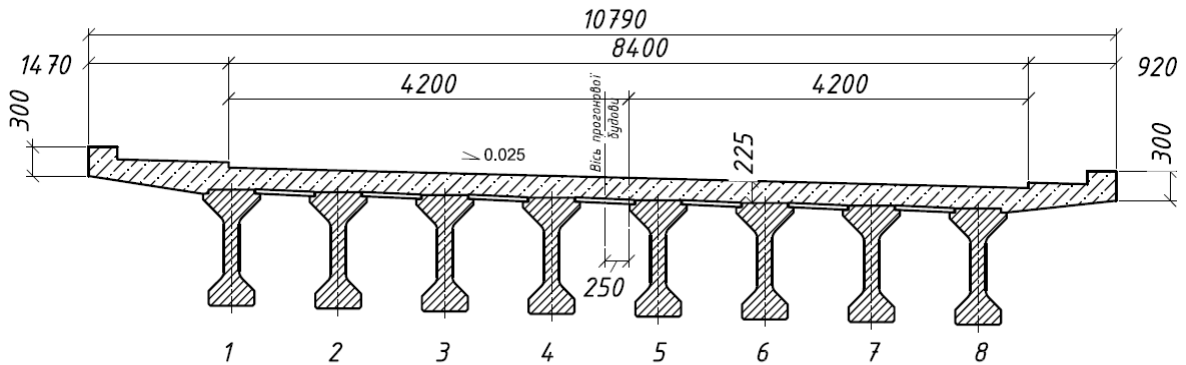


Рисунок 6 – Загальний поперечний переріз

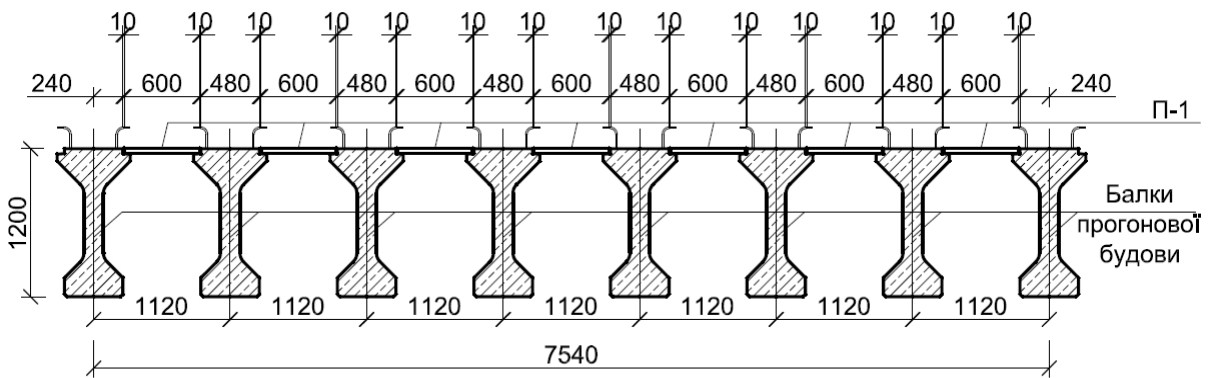


Рисунок 7 – Приклад розкладки плит незнімної опалубки

Як видно з рис. 8, використання незнімної опалубки дозволяє уникнути влаштування риштувань та тимчасових опор. Цей факт в умовах значної транспортної завантаженості вулиць великих міст робить вищезгадану опалубку економічно вигіднішою та зручнішою у використанні, а також зменшує час робіт на висоті, що зменшує ризик отримання виробничих травм робітниками.

Плоскі залізобетонні незнімні опалубки із звичайною арматурою використані при влаштуванні плит проїзної частини двох залізобетонних шляхопроводів тунельного типу при реконструкції транспортної розв'язки на перетині бульвару Дружби Народів і Набережного шосе", проект яких був виконаний ТОВ "НВП "МОСТОВИЙ ЦЕНТР" в 2011 році. В поперечнику шляхопроводів встановлено 20 попередньо напружених балок "ЗBet-90" ([7]) з

кроком в середньому 1650 мм. Вид на низ прогонової будови показано на рис. 9.



а)



б)

Рисунок 8 – Естакада конструкції ТОВ «Містпроект»: а) загальний вид на низ прогонової будови; б) плити незнімної опалубки



Рисунок 9 – Вид на низ прогонової шляхопроводу тунельного типу розв'язки біля моста Патона

Між балками змонтовані плоскі плити незнімної опалубки, по яких забетонована плита проїзної частини. Плити незнімної опалубки виготовлені у вигляді плит 3200 x 1210 x 50, які армовані арматурою класу АІІІ. Стики між

торцями плити і верхнім вутом балок заповнювались цементним розчином до розкладки арматури. Стики між плитами заклеювали герметичною стрічкою. Ці плити не враховуються при розрахунку конструкції, забезпечують на стадії зведення тільки тимчасову опору для рухомої бетонної суміші і дозволяють витримувати монтажні навантаження.

Наприкінці 2008 року ТзОВ "Науково-виробниче підприємство "Тріада" (м. Львів) виконало проект мостового переходу на км 103+555 автомобільної дороги державного значення Стрий – Івано-Франківськ – Чернівці – Мамалига через р. Бистриця Солотвинська. Міст являє собою сталезалізобетонну нерозрізну конструкцію. В поперечному перерізі знаходяться 5 металевих балок, по яких мала бетонуватися плита проїзної частини (рис. 10). Міст до цього часу знаходиться на стадії спорудження. В якості незнімної опалубки використані ребристі плити, які заармовані робочою арматурою плити проїзної частини, тобто врахована сумісна робота монолітної плити проїзної частини та збірних плит опалубки. Загальний вигляд плити незнімної опалубки показано на рис. 11.

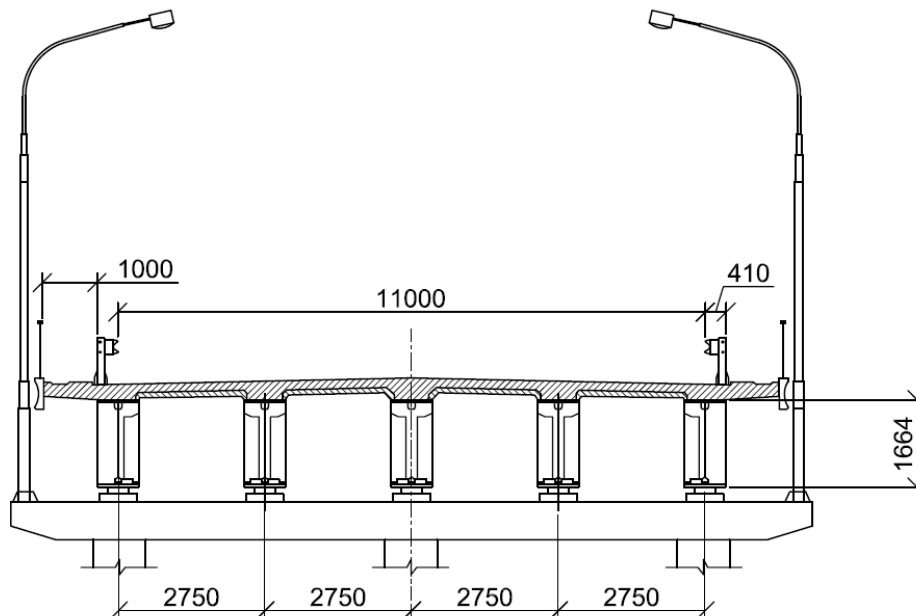


Рисунок 10 – Поперечний переріз

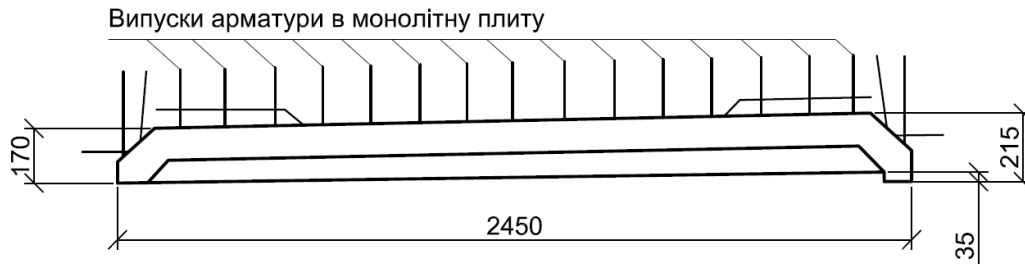


Рисунок 11 – Загальний вигляд ребристої плити незнімної опалубки

Загальний досвід застосування незнімних опалубок для монолітних плит та досвід застосування залізобетонних незнімних опалубок у мостовому будівництві свідчить про економічність та ефективність таких конструкцій. У вітчизняному мостобудуванні є певний досвід будівництва прогонових будов із залізобетонними незнімними опалубками, проте у всіх цих випадках вона введена у склад залізобетонної плити проїзної частини лише як конструктивний елемент (армування опалубки не входить до складу розрахункових перерізів плити проїзної частини при розрахунках на стадії експлуатації). Праця по детальному вивченню роботи залізобетонних плит проїзної частини із незнімними опалубками практично не проводилась, відсутні нормативні та довідкові документи, якими регламентуються засади проектування та розрахунку конструкцій з такими опалубками.

Висновки

Враховуючи необхідність більш широкого використання незнімних залізобетонних опалубок, для більш раціонального використання необхідно розробляти такі їх конструкції, які включаються в сумісну роботу із плитою проїзної частини. Для розробки методики розрахунку необхідно провести системні дослідження.

1. Необхідно експериментально дослідити напружено-деформований стан залізобетонних плит проїзної частини мостів із незнімними залізобетонними опалубками на різних стадіях їх роботи. Оскільки існуючі методи розрахунку були розроблені для суцільних плит меншої товщини (120-150 мм), то робота збірно-монолітних плит більшої товщини (200-250 мм) буде мати свої особливості, які необхідно врахувати при розрахунку таких плит.

2. Для введення залізобетонних незнімних опалубок до розрахункових перерізів плити необхідно забезпечити надійне зчеплення опалубки та монолітного бетону плити. Треба провести дослідження надійності різних засобів забезпечення зчеплення вище наведених елементів.

3. Дослідження тріщиностійкості монолітних плит із залізобетонною незнімною опалубкою практично не проводились. У зв'язку з високими вимогами щодо тріщиностійкості до плит проїзної частини мостів слід дослідити тріщиностійкість таких плит та вплив на неї залізобетонної незнімної опалубки.

4. Проведені натурні експериментальні дослідження дозволять отримати значний об'єм даних, що допоможе окреслити математичну модель конструкції та створити ефективні розрахункові схеми у програмних комплексах, розрахунки в яких ведуться методом скінченних елементів (МСЕ). Враховуючи слабе теоретичне вивчення роботи монолітних плит із залізобетонною незнімною опалубкою як шаруватих плит, порівняння експериментальних даних із теоретичними дозволить сформулювати основні вимоги та способи створення таких схем.

Література

1. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування: ДБН В.2.3-14:2006. – [Чинний від 2006-05-06]. – Держбуд України, 2006. – 356 с. – (Державні будівельні норми України).
2. Калашников Н. А. Сборно-монолитные плитные пролетные строения / Н. А. Калашников, Н. Л. Филимонова. – М.: Автотрансиздат, 1961. – 104 с.
3. Алюмінієва опалубка для перекриттів: http://www.peri.ua/products.cfm/fuseaction/diashow/product_ID/44/currentimage/1/productcategory_ID/11/app_id/4.cfm
4. Variokit: http://www.peri.ua/products.cfm/fuseaction/diashow/product_ID/71/currentimage/1/productcategory_ID/11/app_id/8.cfm
5. Product overview: <http://hanson-precast.co.uk/omnia-bridge-deck/product-overview>.
6. HumeSlab® bridge decking: <http://www.humes.com.au/fileadmin/templates/HUMES/doc/Brochures/HumeSlab.pdf>
7. Коваль П. М. Збірні залізобетонні балки для автодорожніх мостів типу "З Бет-90" та "З Бет-120" / П. М. Коваль, С. В. Стоянович // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка: науково-технічний збірник. – Київ: НДІБМВ, 2009. – Випуск 33. – С. 128–134.

Янчук Л.Л.

МОДЕЛЮВАННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТІВ ЩО ЗНАХОДЯТЬСЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Анотація. Представлена модель прогнозу залишкового ресурсу згинаних залізобетонних елементів мостів, що знаходяться в експлуатації. Теоретичною базою моделі є аналіз тріщиностійкості елемента. Модель представлена в детерміністичній та ймовірнісній постановці, пропонується для практичного використання в системі експлуатації автодорожніх мостів.

Ключові слова: міст, гранична ширина розкриття тріщин, прогноз ресурсу, ресурс залізобетонних елементів, характеристика безпеки.

Аннотация. Представленная модель прогноза остаточного ресурса изгибаемых железобетонных элементов мостов, находящихся в эксплуатации. Теоретической базой модели является анализ трещиностойкости элемента. Модель представлена в детерминистической и вероятностной постановке, предлагается для практического использования в системе эксплуатации автодорожных мостов.

Ключевые слова: мост, предельная ширина раскрытия трещин, прогноз ресурса, ресурс железобетонных элементов, характеристика безопасности.

Abstract. The model prediction residual life of bending concrete elements of bridges that are in operation. The theoretical basis of the model is to analyze the crack element. The model presented in deterministic and probabilistic formulation is proposed for practical use in the operation of highway bridges.

Keywords: bridge, the maximum width of the crack opening, forecast resource, the resource concrete elements, characteristic of security.

Вступ

Сьогодні констатується суттєве погіршення стану автодорожньої мережі України в цілому, особливо мостів. Кількість мостів що потребують ремонту збільшується загрозливими темпами.

В умовах вкрай обмеженого фінансування системи експлуатації споруд, стратегічне планування видатків на їх утримання має опиратися на реалістичний прогноз ресурсу залізобетонних елементів. Саме моделі життєвого циклу мають забезпечити фінансування експлуатації споруд так, щоби протягом терміну служби зберегти параметри функціональності, надійність, безпеку експлуатації, зберегти оточуюче середовище, архітектурні, естетичні і історичні цінності споруди.

Огляд публікацій

Сьогодні проблема управління життєвим циклом елементів споруд стає пріоритетною для багатьох країн світу. Незважаючи на безумовну актуальність проблеми, публікацій в Україні мало. Теоретичні дослідження з проблем надійності, довговічності та прогнозування залишкового ресурсу автодорожніх мостів знаходимо в публікаціях українських науковців Давиденко О.О., Дехтяря А.С., Лантуха-Лященко А.І., Янчук Л.Л., Яцко Ф.В. [2, 3, 5, 7, 8].

В країнах Європи та США ця проблема розглядається як нагальна в розробці теоретичних засад системи експлуатації споруд, тому публікацій є багато. Серед численних закордонних публікацій назовемо декілька, найбільш відомих, що відносяться до прогнозу технічного стану за параметрами тріщиноутворення.

Сьогодні відомо десятки залежностей прогнозу ширини розкриття тріщин ненапруженого і попередньо-напруженого залізобетону. Так тільки в огляді робіт [12] наведено 32 формули визначення ширини поперечних тріщин в згинаних елементах.

В нормативних документах проектування залізобетонних елементів країн світу для контролю ширини розкриття тріщин застосовується п'ять – шість залежностей. Найбільш відомими з них є модель CEB-FIPModelCode 1990 [11], яка прийнята в Єврокодi 2 та модель Р.Фроша (R.J. Frosch) [12] – в нормативах

США [9]. У вітчизняній методології аналізу тріщиностійкості панує теорія В.І. Мурашова [6], яка для нас є нормативною в розрахунку залізобетонних елементів мостів.

Мета дослідження

Центральною метою представленого дослідження є задача оцінки ресурсу згинаних залізобетонних елементів мостів протягом життєвого циклу експлуатації. Ця задача реалізується шляхом використання фундаментальних залежностей моделі тріщиноутворення в елементах мостів, прийнятою в проектуванні мостів.

Формулювання задачі дослідження

Дослідження базується на такій гіпотезі: *ширина розкриття поперечних тріщин в згинаних залізобетонних елементах мостів є достатньою мірою для побудови практичної моделі деградації елемента в процесі експлуатації.*

Ця гіпотеза дає можливість розробки моделі прогнозу ресурсу елемента в функції одного параметра – ширини розкриття тріщин:

$$A(t) = a \cdot f(t), \quad (1)$$

де a – функція ширини розкриття тріщин, що взагалішому випадку має вид:

$$a = f_a(R, \sigma, E, \psi), \quad (2)$$

де (R, σ, E, ψ) – розрахункові параметри тріщиноутворення, згідно [6];
 $f(t)$ – функція – індикатор деградації залізобетонного елемента.

Детерміністична модель життєвого циклу

Прийmemo функцію індикатора деградації залізобетонного елемента в такій формі:

$$f(t) = (m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot m_4 \cdot m_5)^{-1} \cdot s \cdot t^2 \quad (3)$$

де s – масштабний коефіцієнт, має розмірність $1/t^2$ (за одиницю часу тут прийнято рік);

m_1 – залежить тип армування (приймається в залежності від категорії тріщиноутворення);

m_2 – визначається в залежності від проектного класу бетону;

m_3 – визначається в залежності від типу конструкції (збірна, збірно – монолітна і монолітна);

m_4 – визначається в залежності від умов експлуатації;

m_5 – коефіцієнт розкриття тріщин, що визначається в залежності від класу навантаження;

t - час (роки).

Це безрозмірна функція, що задає закон росту ширини тріщини протягом життєвого циклу експлуатації в залежності від співвідношення розрахункової початкової ширини розкриття тріщини при $t = 0 - a_d$ та на фіксований час в майбутньому $t = \tau - a_\tau$. З урахуванням (3) модель життєвого циклу залізобетонного елемента має вид:

$$A(t) = a_{cr} \cdot (m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot m_4 \cdot m_5)^{-1} \cdot s \cdot t^2 \quad (4)$$

З рівняння (4) отримаємо час досягнення граничної деградації, поклавши $A(t) = a_{cr}$,

де a_{cr} – граничне значення ширини розкриття тріщин в експлуатації:

$$T = \sqrt{\frac{a_{cr,i} \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot m_4 \cdot m_5 \cdot m_6}{a_r \cdot s}} \quad (5)$$

де T – термін служби елемента, що прогнозується;

a_r – функція ширини розкриття тріщин.

Коефіцієнти моделі (4) приймають такі значення: $m_i = 0,7 \dots 1,0$. Обґрунтування значень коефіцієнтів моделі наведено в роботі [7].

В прогнозуванні ресурсу елемента за залежністю (5) принциповим моментом є встановлення критичного значення ширини розкриття тріщин $a_\tau = a_{cr}$ в процесі експлуатації. В нашій моделі це значення прийнято відповідно рекомендаціям українського нормативного документу системи експлуатації автодорожніх мостів ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012 [4].

В табл.1 наведені узагальнені значення параметрів, що характеризують життєвий цикл згинаних залізобетонних елементів за експлуатаційним станом.

Для проектної оцінки ресурсу використовуються експлуатаційні параметри 5-го стану (непрацездатний): характеристика безпеки $\beta = 1,7$; знос 60%; критична ширина розкриття тріщин $a_{cr} = 0,04$ см.

Зауважимо, що прийняті в документі ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012 [4] критичні значення зносу і ширини розкриття тріщин не є теоретично обоснованими, вони прийняті на основі багаторічного досвіду експлуатації автодорожніх мостів. Тому в нашій моделі ці дані розглядаються як перше наближення.

Таблиця 1 – Параметри деградації залізобетонних елементів

Експлуатаційний стан	Характеристика безпеки β	Знос елемента, %	Гранична ширина тріщин, см
Стан 1	3,8	0-3	0,01
Стан 2	3,0	4-8	0,02
Стан 3	2,4	9-27	0,02
Стан 4	2,1	28-42	0,03
Стан 5	1,7	≥ 43	0,04

Вид функції життєвого циклу залізобетонного елемента при $m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m_5 = 1$ та $a_{cr} = 0.03$ см показано на рис.1 (крива $A(t)$). Як видно з графіка, проектний ресурс елемента в цьому випадку складає 100 років. Рівність всіх коефіцієнтів моделі $m_i = 1$ тут означає, що виконуються вчасно всі ремонтні роботи встановлені нормами експлуатації, елемент знаходиться в сприятливих умовах зовнішнього середовища, має довговічний тип перерізу.

Прогноз довговічності при умові коли відсутня систематична експлуатація, дуже жорстких умов оточуючого середовища, малої довговічності поперечного перерізу (при максимальних значеннях коефіцієнтів та розрахунковій початковій ширині розкриття тріщини при $t = 0$ $a_{cr} = 0,03$) показаний на графіку рис.1 функцією $A_1(t)$. Тобто, це випадок коли модель дає мінімальні значення прогнозу часу життєвого циклу $T = T_{min}$. Ресурс елемента в цьому випадку складає $T = 76$ років.

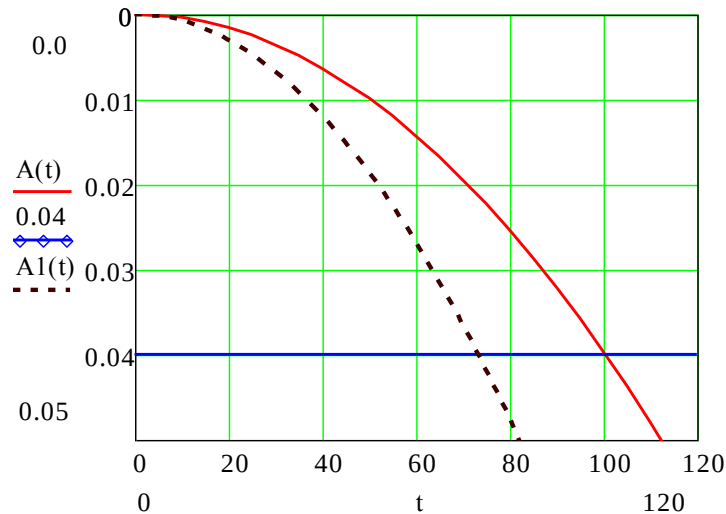


Рисунок 1 – Функції прогнозу життєвого циклу в експлуатації

Адекватність моделі перевірялась за допомогою історичних даних системи експлуатації автодорожніх мостів АЕСУМ [1]. Прогнозування залишкового ресурсу за представленою моделлю має практично достатню збіжність з натурними даними.

Ймовірнісні аспекти моделі

Ставиться задача оцінки надійності елемента за тріщиностійкістю в функції часу експлуатації. Умовою граничного стану є $a_{\tau} = a_{cr}$. Потребується знайти надійність

$$P(t) = P\{a_{cr} - A(t) \geq 0\}, \quad (6)$$

де a_{cr} – критична ширина розкриття тріщин;

$A(t)$ – функція життєвого циклу залізобетонного елемента (4).

Прийmemo усталену гіпотезу про нормальний розподіл ширини розкриття тріщин і запишемо вираз характеристики безпеки в класичній формі відповідно визначення надійності за виразом (6)

$$\beta(t) = \frac{\mu_{cr} - \mu_a(t)}{(\sigma_{cr}^2 + \sigma_a(t)^2)^{0.5}}, \quad (7)$$

де μ_{cr} – середнє значення критичної ширини розкриття тріщин;

$\mu_a(t)$ – середнє значення ширини розкриття тріщин на час $t = \tau$;

σ_{cr} – середньоквадратичне відхилення критичної ширини розкриття тріщин; $\sigma_a(t)$ – середньоквадратичне відхилення ширини розкриття тріщин на час $t = \tau$.

Середньоквадратичне відхилення критичної ширини розкриття тріщин визначається загальною формулою математичної статистики

$$\sigma_{cr} = (R_{ser}^2 V_C^2 + R_A^2 V_A^2)^{0,5} \quad (8)$$

Аналогічно визначається середньоквадратичне відхилення ширини розкриття тріщин на час $t = \tau$

$$\sigma_a(t) = [(R_{ser}^2 V_C^2 + R_A^2 V_A^2) f(t)]^{0,5} \quad (9)$$

Тут R_{ser} , R_A – характеристичні опори бетону і арматури;

V_C , V_A – коефіцієнт варіації стисненого бетону і коефіцієнт варіації розтягнутої арматури;

$f(t)$ – функція індикатор деградації залізобетонного елементу.

Числовий аналіз надійності елемента за тріщиностійкістю в функції часу експлуатації за формулою (7) показав, що надійність варіюється в межах $\beta(t) = 4,2 \dots 1,5$ в залежності від параметрів матеріалу R_{ser} , R_A , V_C , V_A , m_t та критичної ширини розкриття тріщин $a_{cr} = 0,01 \dots 0,03$ см. Отримані дані порівнювались з результатами статистичного експерименту за методом Монте-Карло. Виявлена хороша збіжність визначення характеристики безпеки за формулою (7) та за статистичним моделюванням.

Висновки

1. Виконане дослідження дає підставу стверджувати, що аналіз тріщиностійкості згинаних залізобетонних елементів мостів може стати найбільш обґрунтованою, з точки зору фізики руйнування залізобетону, базою для розробки простих інженерних моделей прогнозування ресурсу.

2. Принципово важливою стороною моделі є її універсальність відносно часу життєвого циклу. Модель може бути застосованою для прогнозу ресурсу як для оцінки залишкового ресурсу в системі експлуатації мостів так і на етапі проектування.

3. Встановлений нами в рамках запропонованої моделі зв'язок з нормативним документом експлуатації автодорожніх мостів [4] відкриває шлях,

до паралельного з цим нормативом, прогнозування залишкового ресурсу згинаних залізобетонних елементів.

Очевидно, що в науковому плані наша модель життєвого циклу може слугувати базисом для теоретичного обґрунтування критичних значень ширини розкриття тріщин і встановлення оцінок зносу згинаних залізобетонних елементів мостів, що знаходяться в експлуатації.

Ця робота була виконана під керівництвом д-ра техн. наук, професора Лантуха-Лященко А.І. Висловлюю йому мою щирю подяку.

Література

1. Боднар Л.П. Управління утриманням елементів залізобетонних мостів на основі моделей нечіткої логіки // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – Вип. 33. – С. 39-42.
2. Давиденко О.О. Аналіз довговічності автодорожніх мостів України. Міжвідомчий науково-технічний збірник «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону», №78, том 2, Київ 2013. – С. 225 – 235.
3. Дехтяр А.С. Планування експлуатації залізобетонних мостів // Наук. праці семінару “Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів і конструкцій”. - Луцьк, 16-19 вересня 2002 р.
4. ДСТУ-Н Б.В.1.3-23:2013 «Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів». – К.: Мінрегіон України, 2013.
5. Лантух-Лященко А.І. Нормативне регулювання у сфері проектування і експлуатації мостів // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2012. – Вип. 58. – С. 7 – 15.
6. Мурашов В.И. Трещиностойкость. Жесткость и прочность железобетона. – М.: Машстройиздат, 1950.
7. Янчук Л.Л. Обґрунтування моделі прогнозу життєвого циклу залізобетонних елементів мостового переходу. [Текст] / Л.Л. Янчук // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 201. – № 664. – С. 365 – 371.
8. Яцко Ф.В. Довговічність захисного шару залізобетонних елементів мостів // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. – Вип. 33. – Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 190 – 196.
9. “AASHTO LRFD Bridge Design Specifications”. – American Association of State Highway and Transportation Officials, 2008.
10. ACI 318 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. Farmington Hills, MI, 2008.
11. Comite Euro-Internationale du Beton. CEB-FIP Model Code 1990. 1993 CEB Bulletin d'Information No. 213/214.
Frosch, R. J. “Flexural Crack Control in Reinforced Concrete,” ACI Special Publication. V. 204, 2001. – P. 135 – 154.

Ткачук С.Г., д-р техн. наук, Матвєєва К.Ю.

**ВИЗНАЧЕННЯ ЗАГАЛЬНОГО РОЗМИВУ У ВИПАДКУ
ПРОХОДЖЕННЯ ТРАСИ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ У НИЖНЬОМУ
Б'ЄФІ ГРЕБЛІ**

Анотація. У статті запропонована та обґрунтована математична модель для розрахунку загальних руслових деформацій при прориві греблі, показана аналітична реалізація запропонованої моделі та наведені результати її застосування.

Ключові слова: загальний розмив, математична модель, прорив греблі, хвиля прориву.

Аннотация. В статье предложена и обоснована математическая модель для расчёта общих русловых deformаций при прорыве гребли, показана аналитическая реализация предложенной модели и приведены результаты её использования.

Ключевые слова: общий размыв, математическая модель, прорыв дамбы, волна прорыва.

Annotation. This article proposes and substantiates mathematical model for calculating the total channel deformations in the breakout of rowing, shows an analytic realization of the proposed model and results of its use.

Keywords: total scour, mathematical model, the breakout of rowing, break wave.

Вступ

При руйнуванні гребель та спорожненні водосховищ формується хвиля прориву, яка має значну руйнівну силу. Рух великих мас води з високою швидкістю призводить до утворення значних розмивів, що викликає

необхідність виконання прогнозу руслових деформацій під мостом за умов руйнування і прориву греблі.

Потоки в річках з деформуючим руслом складаються з двох фаз: рідкої і твердої. Тому для їх математичного описання необхідно, як мінімум, чотири рівняння: для кожної фази рівняння нерозривності та руху. Для всіх без винятку математичних моделей руслових деформацій домінантним рівнянням є рівняння балансу наносів. З фізичної точки зору воно являє фундаментальний закон збереження речовини, який в руслових прогнозах втілюється в закон збереження загальної кількості наносів.

Основна частина

Для русел з нерозмивними берегами рівняння балансу наносів можна записати в розгорнутому вигляді, який надає йому зручності в аналітичних перетвореннях, і тому набуло поширеного застосування в практиці інженерних прогнозів руслових деформацій. Незважаючи на те, що при його виведенні використано приклад стиснення ріки мостовим переходом, воно має загальний характер.

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

де G — повна витрата наносів в живому перерізі;

h — середня глибина живого перерізу;

B — ширина русла між урізами.

Рівняння балансу наносів (1) придатне як для визначення руслових переформовувань в природних умовах, так і прогнозів деформацій дна при будь-якому стисненні ріки гідротехнічними чи транспортними спорудами.

Динамічне рівняння для рухливих наносів представляється інтегральною залежністю, що пов'язує осереднену по ширині русла витрату наносів з гідравлічними характеристиками течії.

В залежності від співвідношення стоку води і наносів ріка вибирає той чи інший спосіб їх транспортування, що і визначає тип руслового процесу.

Сучасна гідроморфологічна теорія руслового процесу [5] виходить з того, що транспортування донних піщаних і піщано-гравелистих наносів відбувається не окремими крупинками, а їх скупченням — русловими

мезоформами, що являють собою скупчення наносів у вигляді пасм, боковиків, осередків. Їх характерні розміри співставні з глибиною русла і корелюють з розмірами крупномірильних когерентних вихрових структур руслового потоку. Переміщення наносних формувань у вигляді руслових мезоформ відбувається під дією осереднених швидкостей в природній області.

Формулу транспортуючої спроможності можна записати у наступному вигляді:

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

в якому V — середня швидкість руслового потоку; функція A може визначатися наближено по таблиці 1.

Таблиця 1 — Значення функції крупності наносів

Ґрунт	Різновид ґрунту	d , мм	A
Пісок	Дрібний	0,05-0,25	$18 \cdot 10^{-4}$ - $7,2 \cdot 10^{-4}$
	Середній	0,25-1,0	$7,2 \cdot 10^{-4}$ - $3,4 \cdot 10^{-4}$
	Крупний	1,0-2,5	$3,4 \cdot 10^{-4}$ - $2,6 \cdot 10^{-4}$
Ґравій	Дрібний	2,5-5,0	$2,6 \cdot 10^{-4}$ - $2,0 \cdot 10^{-4}$

Рівняння нерозривності для водного потоку описує дотримання кожної миті в кожному живому перерізі залежності:

$$Q = B \cdot h \cdot V. \quad (3)$$

При цьому сама витрата води в загальному випадку може змінюватись як за часом, так і по довжині.

При руйнуванні греблі виникає хвиля прориву, що рухається за законами неусталеного руху. Просування по руслам річок різноманітних хвиль завжди супроводжується явищами їх трансформації, які створюють тенденцію до зменшення максимальної витрати води по довжині річки. Отже, динамічне рівняння для рідкої фази потоку повинно описувати зміну витрати води при проходженні хвилі прориву.

Питання про врахування зміни величини максимальної витрати повеневих вод, паводків або хвиль прориву в процесі просування їх річкою виникає при вирішенні багатьох гідрологічних та гідравлічних задач.

У випадку прориву греблі максимальна витрата буде значно збільшена, а отже значно збільшаться і деформації русла, що відіб'ється на режимі експлуатації пропускних транспортних споруд.

Відомо, рух води по руслу супроводжується двома явищами — розпластуванням та перекосом. Розпластування викликано тим, що лобова частина хвилі просувається з більшою швидкістю, ніж задня частина, оскільки похил водної поверхні більший на лобовій частині. Внаслідок чого задня частина хвилі ніби відстає від лобової, довжина хвилі, тобто довжина ділянки ріки, яку займає хвиля, збільшується, а максимальний рівень та витрата зменшуються. Перекіс хвилі викликаний відносно швидким просуванням верхньої її частини, яка прилягає до гребня; причиною перекосу виступає велика глибина і відповідно велика швидкість течії біля вершини хвилі. В результаті перекосу гілка підйому на гідрографі стає більш крутою, ніж гілка спаду, а максимальний рівень та витрата води деякою мірою зменшуються.

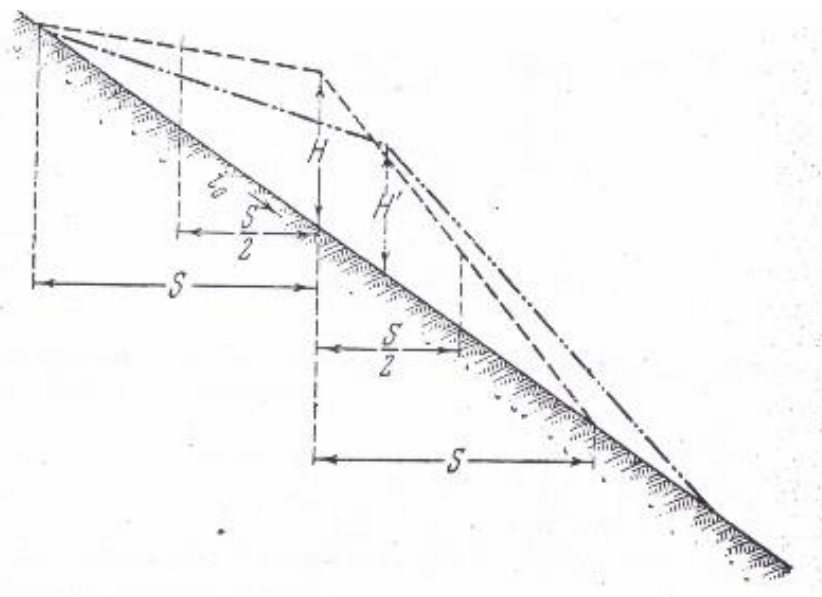


Рисунок 1 – Гідравлічна схема просування хвилі

Залежність між максимальною витратою води та відстанню від початкового перерізу, до того, який аналізується була отримана С.Н. Крицьким та М.Ф. Менкелем [2] та має наступний вигляд:

$$Q = Q_0 \cdot \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{2 \cdot Q_0^2 \cdot n^2}{W^2 \cdot i_0^2} \cdot l}} \quad (4)$$

де n — коефіцієнт шорсткості;

W — об'єм, який повинен залишатися сталим при переміщенні хвилі вздовж річки.

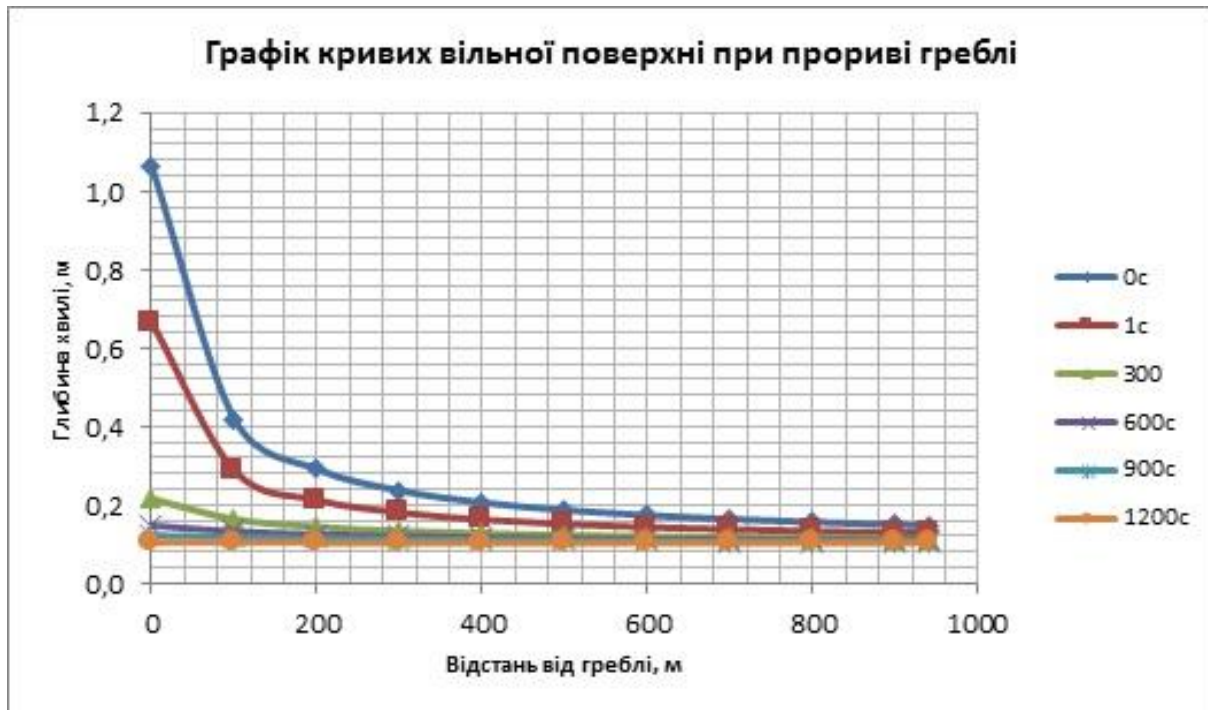


Рисунок 2 – Графік кривих вільної поверхні у нижньому б'єфі при прориві греблі

Вивчаючи вираз (4) можна зробити висновки, що основними факторами, які впливають на інтенсивність зменшення по довжині ріки максимальної витрати є гострота гідрографу, яка характеризується відношенням $Q_{\max}/W$, шорсткість русла та похил ріки. Максимальна витрата води зменшується по мірі просування хвилі вздовж ріки тим інтенсивніше, чим гостріший гідрограф, тобто чим більше співвідношення $Q_{\max}/W$, чим більший коефіцієнт шорсткості русла n та чим менший похил ріки i_0 .

Отже можемо записати систему рівнянь, що складає математичну модель загального розмиву при прориві греблі:

$$\begin{cases} \frac{\partial G}{\partial l} + B \frac{\partial h}{\partial t} = 0; \\ G = A \cdot B_p \cdot V^4; \\ Q = B \cdot h \cdot V; \\ Q = Q_0 \cdot \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{2 \cdot Q_0^2 \cdot n^2}{W^2 \cdot i_0^2} \cdot l}}. \end{cases} \quad (5)$$

Для аналітичної реалізації даної математичної моделі спершу слід визначити градієнт витрати наносів (похідну по довжині). З цією метою, використовуючи рівняння нерозривності для потоку, витрата наносів записується в такий спосіб:

$$G = A \cdot B_p \cdot \frac{Q^4}{h^4}. \quad (6)$$

Зробивши заміну $1 + \frac{2 \cdot Q_0^2 \cdot n^2}{W^2 \cdot i_0^2} \cdot l = \lambda$ для спрощення розрахунків, вираз (6) набуде вигляду:

$$G = A \cdot \frac{Q_0^4}{B_p^3 \cdot h^4 \cdot \lambda^2}. \quad (7)$$

Похідна від функції (7) буде такою:

$$\frac{dG}{dl} = \frac{A \cdot Q_0^4}{B_p^3} \cdot \left(- \frac{4 \cdot h^3 \cdot \lambda^2 \cdot \frac{\partial h}{\partial l} + 2 \cdot \lambda \cdot h^4 \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial l}}{h^8 \cdot \lambda^4} \right). \quad (8)$$

З метою спрощення виразу знаходимо похідну:

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda}{dl} &= \frac{d}{dl} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot Q_0^2 \cdot n^2}{W^2 \cdot i_0^2} \cdot l \right) = \frac{2 \cdot Q_0^2 \cdot n^2}{W^2 \cdot i_0^2} \\ d\lambda &= \frac{2 \cdot Q_0^2 \cdot n^2}{W^2 \cdot i_0^2} dl. \end{aligned}$$

Отже, тепер похідна (8) набуває наступного вигляду:

$$\frac{dG}{dl} = - \frac{4 \cdot A \cdot Q_0^4}{B_p^3 \cdot h^5 \cdot \lambda^2} \cdot \frac{dh}{dl} - \frac{2 \cdot A \cdot Q_0^4}{B_p^3 \cdot h^4 \cdot \lambda^3} \cdot \frac{2 \cdot Q_0^2 \cdot n^2}{W^2 \cdot i_0^2}. \quad (9)$$

Квазілінійне рівняння руслових деформацій виводиться з рівняння балансу наносів, після заміни в ньому похідної $\partial G/\partial l$ її виразом (9).

Поділивши всі члени на ширину русла B_p , остаточно будемо мати:

$$\frac{4 \cdot A \cdot Q_0^4}{B_p^4 \cdot h^5 \cdot \lambda^2} \cdot \frac{1}{dl} - \frac{1}{dt} = - \frac{4 \cdot A \cdot Q_0^6 \cdot n^2}{B_p^4 \cdot h^4 \cdot \lambda^3 \cdot W^2 \cdot i_0^2} \cdot \frac{1}{dh}.$$

Далі здійснюється заміна квазілінійного рівняння руслових деформацій еквівалентною йому системою звичайних диференціальних рівнянь.

$$\frac{dl}{\frac{4 \cdot A \cdot Q_0^4}{B_p^4 \cdot h^5 \cdot \lambda^2}} = dt = - \frac{dh}{\frac{4 \cdot A \cdot Q_0^6 \cdot n^2}{B_p^4 \cdot h^4 \cdot \lambda^3 \cdot W^2 \cdot i_0^2}}. \quad (10)$$

Для складання двох звичайних рівнянь треба згуртувати їх попарно в будь-якому порядку. Перше з них утворюється внаслідок комбінації крайніх членів системи (10):

$$\frac{4 \cdot A \cdot Q_0^4}{B_p^4 \cdot h^5 \cdot \lambda^2} \cdot dh = - \frac{4 \cdot A \cdot Q_0^6 \cdot n^2}{B_p^4 \cdot h^4 \cdot \lambda^3 \cdot W^2 \cdot i_0^2} \cdot dl.$$

Після скорочення подібних членів це рівняння зводиться до звичайного диференціального з відокремленими змінними:

$$\frac{dh}{h} = - \frac{d\lambda}{2\lambda}.$$

Проінтегрувавши ліву і праву частини, отримується його загальне рішення:

$$h \cdot \lambda^{0.5} = \psi_1. \quad (11)$$

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

$$\frac{4 \cdot A \cdot Q_0^4}{B_p^4 \cdot h^5 \cdot \lambda^2} \cdot dt = dl.$$

Воно теж дозволяє відокремити змінні і його інтеграл набуває виду:

$$\lambda^3 - \frac{24 \cdot A \cdot n^2}{B_p^4 \cdot W^2 \cdot i_0^2 \cdot h^5} \cdot \int Q_0^6 = \psi_2. \quad (12)$$



Рисунок 3 – Водомірний графік у створі греблі при її прориві

Загальне рішення диференціальних рівнянь з частинними похідними являє собою невизначену функцію Φ від інтегралів (11) та (12):

$$\Phi\left(h \cdot \lambda^{0.5}; \lambda^3 - \frac{24 \cdot A \cdot n^2}{B_p^4 \cdot W^2 \cdot i_0^2 \cdot h^5} \cdot \int Q_0^6\right) = 0. \quad (13)$$

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

Оскільки розмив починається безпосередньо вже після руйнування греблі, то приймемо

$t=1$, а водна поверхня приймає форму хвилі, висоту якої можна знайти наступним чином [3]:

$$h = \frac{Q}{B_p} + 0,1.$$

Розв'язавши задачу Коші для даних початкових умов отримаємо наступну залежність для визначення розмиву при прориві греблі:

$$h = \left(\frac{Q}{B_p} + 0,1\right) \cdot \left(1 + \frac{24 \cdot A \cdot n^2}{B_p^4 \cdot W^2 \cdot i_0^2 \cdot h^5 \cdot \lambda^3} \cdot (\Gamma - \Gamma_0)\right)^{\frac{1}{6}}, \quad (14)$$

де $\Gamma = \int Q_0^6 dt$ — інтегральна функція гідрографу хвильової витрати.

$\Gamma_0 = Q_0^6 \cdot 1c$ — інтегральна функція гідрографу хвильової витрати в момент руйнування греблі.



Рисунок 4 – Гідрограф загальної витрати при прориві греблі

Для здійснення розрахунків стосовно визначення загального розмиву треба знати вихідні гідравлічні параметри водотоку і хвилі прориву, такі як: водомірний графік, гідрограф, інтегральну функцію гідрографу.

Водомірний графік у випадку прориву греблі повинен показувати зміну рівня води водосховища при її виливі в залежності від часу $H = f(t)$ [4]:

$$H = \left(\frac{2 \cdot \Omega \cdot H_{np}^{0,5}}{k_{np} \cdot B_{\Gamma} \cdot H_{np}^{0,5} \cdot t + 2 \cdot \Omega} \right), \quad (15)$$

де k_{np} — коефіцієнт, що враховує відношення можливої ширини прориву до довжини греблі, який приймають: для нових земляних гребель V класу, що знаходяться в задовільних умовах експлуатації $k_{np} = 0,50$; для старих земляних гребель, що не мають класу (при млинах тощо), а також гребель V класу в незадовільному стані $k_{np} = 0,75$.

Ω — осереднена по довжині площа дзеркала водосховища.

Гідрограф хвилі прориву обчислюється наступним чином:

$$Q_{np} = k_{np} \cdot B_{\Gamma} \cdot \left(\frac{2 \cdot \Omega \cdot H_{np}^{0,5}}{k_{np} \cdot B_{\Gamma} \cdot H_{np}^{0,5} \cdot t + 2 \cdot \Omega} \right)^3 + Q_{pn}, \quad (16)$$

де Q_{pn} – руслова природна паводкова витрата.

Водомірний графік (рис.3), гідрограф загальної витрати (рис.4), графік кривих вільної поверхні (рис.2) та графік кривої розмиву дна у нижньому б'єфі при прориві греблі (рис.5) було побудовано на прикладі річки Сукіль, що протікає у Івано-Франківській області.

Висновки

Таким чином математична модель для розрахунку загального розмиву при прориві греблі – це система рівнянь, які описують дві фази потоку: рідку і тверду. В якості динамічного рівняння для рідкої фази потоку для врахування швидкої зміни його параметрів запропоновано використання рівняння додаткової витрати при проходженні хвилі прориву та наведено результати застосування цієї математичної моделі.

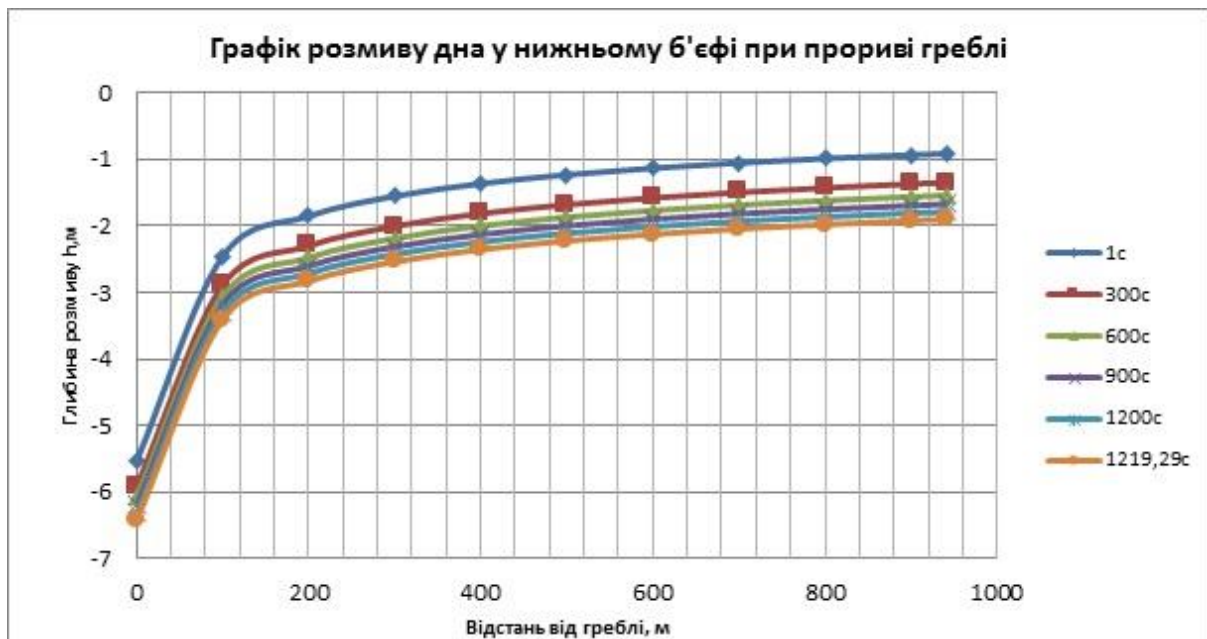


Рисунок 5 – Графік розмиву дна у нижньому б'єфі при прориві греблі

Література

1. Ткачук С.Г. Теорія розмивів на мостових переходах / С.Г.Ткачук. — Д.: АТЗТ «Видавництво «Донецчина», 2009. — 200 с.
 2. Крицкий С.Н. О распластывании волны высоких вод при движении по призматическому руслу / С.Н.Крицкий, М.Ф.Менкель. // Проблемы регулирования речного стока. — М.: Изд. АН СССР, 1956. — Вып.6. — С. 248-262.
 3. Ткачук С.Г. Гідравліка. Гідрологія. Гідрометрія: підручник/ С.Г.Ткачук. — К.: Кафедра, 2013. — 392 с.
- Ткачук С.Г. Види хвиль і побудова кривої вільної поверхні при прориві греблі/ С.Г.Ткачук, К.Ю.Матвеева. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. — К.: НТУ, 2013. — Вип.87. — С. 109-111.

1. ЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 532.5:627.13

Бондаренко Л.П., канд. техн. наук, Кондюкова І.О., канд. техн. наук

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПРИДОРОЖНЬОЇ СМУГИ В ЗИМОВИЙ ПЕРІОД РОКУ

Анотація. В роботі запропоновано математичну модель для прогнозування екологічного стану придорожньої смуги з урахуванням погодних умов та стану дорожнього покриття. Математичне моделювання проведено в рамках системного підходу. Проведено чисельний експеримент з дослідження впливу різних станів покриття на екологічний стан придорожньої смуги. На основі проведених розрахунків та аналізу експериментальних даних встановлено закони розподілу CO та NO₂ в повітрі придорожньої смуги.

Ключові слова: придорожня смуга, екологічний стан, математичне моделювання, чисельний експеримент

Аннотация. В работе предложена математическая модель для прогнозирования экологического состояния придорожной полосы с учетом погодных условий и состояния дорожного покрытия. Математическое моделирование проведено в рамках системного подхода. Проведен численный эксперимент по исследованию влияния различных состояний покрытия на экологическое состояние придорожной полосы. На основе проведенных расчетов и анализа экспериментальных данных установлено законы распределения CO и NO₂ в воздухе придорожной полосы.

Ключевые слова: придорожная полоса, экологическое состояние, математическое моделирование, численный эксперимент

Abstract. This paper presents a mathematical model for predicting ecological condition of roadside strips, taking into account weather and road surface conditions. Mathematical modelling was conducted as part of a systematic approach. The numerical experiment was provided to study the effect of different cases covering ecological conditions of roadside strips. On the basis of calculations and analysis of experimental datasets, the distribution laws of CO and NO₂ in the air near the roadside strips were determined.

Keywords: roadside strip, environmental condition, mathematical modelling, numerical experiment

Вступ

Дорожньо-транспортний комплекс здійснює суттєвий негативний вплив на навколишнє середовище, що обумовлює необхідність розробки ефективних природоохоронних заходів в дорожньо-транспортній галузі. Транспортне забруднення залежить від багатьох факторів, серед яких одним з найбільш суттєвих є стан дорожнього покриття і безпека руху. В свою чергу стан дорожнього покриття є параметром змінним і залежить від сезону та природно-кліматичних умов. Особливо небезпечним в цьому аспекті є зимовий період року, коли різко збільшується кількість ДТП. Зимове утримання автомобільних доріг є складним не лише з матеріальної та технологічної точки зору, але й з точки зору екології. Тому, дослідження забруднення придорожньої смуги в найбільш напружений з погляду умов та безпеки руху зимовий період року є досить актуальним.

Аналіз публікацій На сьогодні існує велика кількість досліджень, в яких представлені різні методи визначення і розповсюдження шкідливих домішок в атмосфері. Великий внесок у вивчення забруднення повітря зробили М.Є. Берлянд, Н.С. Буренін, Г.П. Кирилов, Н.А. Рябіков, В.Ф. Скорченко, І.Ю. Колпакова, Т.І. Черв'якова, В.В. Філіпов, а також інші вітчизняні і зарубіжні автори [1-4].

Для визначення вмісту СО над проїзною частиною автомобільних доріг були запропоновані різні емпіричні залежності, основним дорожнім параметром в яких є інтенсивність руху (табл. 1).

Таблиця 1 - Залежності для визначення рівня забруднення атмосферного повітря СО над проїзною частиною автомобільних доріг

Автори	Емпіричні рівняння
Арамян П.А.	$CO=0,49 \cdot 10^{-5} \cdot N^2 + 0,06904 \cdot N - 2,043063$
Дмитрієв М.Т.	$T=69 \cdot B \cdot N \cdot [1+1,78 \cdot (\mu-0,02)]$
Кирилов Г.П.	$CO=3,85+0,0185 \cdot N + \Sigma A_i$
Манусаджянц Ж.Г.	$CO=22,4 \cdot B \cdot M_r \cdot d \cdot N_a \cdot (1+0,0125 \cdot h)$
Сидоренко В.Ф.	$CO=7,38+0,026 \cdot N + \Sigma A_i$
Орнатський Н.П.	$CO=(7,33+0,026 N_a) \cdot K_1 K_2 \cdot K_3$ при відсутності вітру: $C_x=0,5CO-0,1X$
Сильянов В.В.	$C=CO=0,006 N_1 - 9 \cdot \lg V - 0,3U + 17$
Boveb L., Siebenberg S.	$CO=1,53 \cdot N^{0,368}$
Cassidy M.	$CO=1,1 \cdot (7+0,0025 \cdot N)$
Toyce F., William S., Sohnson D.	$CO=1,1 \cdot (0,006 \cdot N - 9 \cdot \lg V - 0,3 \cdot U + 17)$

Позначки у таблиці 1: N – інтенсивність руху, авт./доб.; T – вміст СО в частках ГДК; B – коефіцієнт, що враховує вплив забудови; μ – концентрація озону в повітрі, мг/м³; h – висота забудови, м; ΣA_i – коефіцієнт, що враховує зміну складу транспортного потоку, швидкості руху та повздовжні похили; M_r – об'єм відпрацьованих газів умовного автомобіля, м³; d – об'єм вмісту оксиду вуглецю у відпрацьованих газах, %; V – швидкість руху, км/год; α – питома вага СО, г/м³; U – швидкість вітру, м/с; K_1, K_2, K_3 – коефіцієнти, які залежать від складу транспортного потоку, впливу повздовжнього похилу, ступеня токсичності автомобільних викидів.

Однак, наведені в табл. 1 залежності не отримали широкого практичного застосування, оскільки не завжди адекватно відображають фактичне поширення та рівень забруднення атмосфери, а також не враховують вплив інших, не менш важливих, факторів.

На сьогодні при проведенні екологічних досліджень найбільш часто використовуються два методи розрахунку концентрацій шкідливих домішок в атмосфері.

Одним з перших, хто суттєво впровадив отримані результати в практику, був Сеттон С.Г. Він описав концентрацію домішки поблизу джерела забруднення Гаусівським законом розподілу [5]:

$$\theta_x = \frac{1}{\delta_x \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\delta_x^2}\right). \quad (1)$$

У разі лінійного джерела, яким є дорожнє полотно, орієнтоване вздовж осі OY , розподіл можна розглядати тільки в напрямку OX , і тоді параметр δ_x у (1) набуде вигляду:

$$\delta_x^2 = \frac{1}{2} C_x^2 (\bar{u} t)^{2-n} \quad (2)$$

де δ_x – дисперсія розподілу домішки у напрямку осі OX ; C_x – віртуальний коефіцієнт дифузії; $\bar{u}$ – середня швидкість вітру, м/с; n – безрозмірний параметр.

Однак, при розрахунку концентрацій даним методом за аномальних метеорологічних умов можуть бути значні розбіжності між експериментальними і розрахунковими даними.

Другий метод розрахунку концентрації шкідливих домішок полягає у реалізації рівняння турбулентної дифузії з урахуванням можливої зміни температури повітря, швидкості вітру, коефіцієнта обміну в приземному шарі повітря. Цей метод більш універсальний і дозволяє вирішувати задачі з різними характеристиками зовнішнього середовища і граничними умовами. Рівняння сталої дифузії має вигляд:

$$\frac{\partial z_c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial z_c}{\partial x} + v_x \frac{\partial z_c}{\partial x} + v_y \frac{\partial z_c}{\partial y} + \beta z_c + F_u, \quad (3)$$

де вісь OX – перпендикулярна до осі дороги; вісь OY – співпадає з віссю дороги; z_c – концентрація оксиду вуглецю в точці x ; k_x – коефіцієнт дифузії обміну; v_x, v_y – швидкості дифузії обміну; F_u – функція джерела забруднення; β – параметр рівняння; t – час.

Через припущення про сталість характеру процесу, що розглядається, і лінійність джерела забруднення:

$$\frac{\partial z_c}{\partial t} = 0, \quad v_y = 0, \quad (4)$$

і рівняння (3) набуває вигляду:

$$-\frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial z_c}{\partial x} - v_x \frac{\partial z_c}{\partial x} - \beta z_c = F_u. \quad (5)$$

Розв'язання рівняння атмосферної дифузії проводиться чисельними методами із застосуванням сучасної обчислювальної техніки і дозволяє отримати функціональні залежності концентрацій від основних діючих факторів.

Суттєвого розвитку процеси турбулентної дифузії домішок в атмосфері отримали в роботах Берлянда М.Е. [1], Колпакової І.Ю.

Багато робіт присвячено експериментальним дослідженням, розробці математичних моделей розподілу різних забруднюючих речовин в придорожній смузі. Проте, у всіх цих роботах відсутній комплексний підхід до екологічної оцінки придорожньої смуги і не розглядалася сезонна зміна рівня забруднення з урахуванням дії погодно-кліматичних факторів (ПКФ).

Постановка задачі Враховуючи, що на рівень забруднення придорожніх територій здійснюють вплив дорожні і транспортні фактори, оцінку їх екологічного стану доцільно проводити в рамках системного підходу. Розглянемо систему Д-А-НС («дорога – автомобіль – навколишнє середовище»), схему взаємодії якої наведено на рис.1.1.

Задачу дослідження поведінки системи Д – А – НС в зимовий період з екологічною оцінкою доцільно вирішувати у декілька етапів:

1. Виявлення зовнішніх і внутрішніх параметрів;
2. Встановлення законів функціонування підсистеми в цілому і окремих її елементів, формування математичної моделі, розробка алгоритму розрахунку і програмного забезпечення для її реалізації;

3. Дослідження тривалості знаходження дорожнього покриття в різних екологічно небезпечних станах з моделюванням відповідних їм рівнів забруднення НС викидами автотранспорту і витратою ПОМ.

Це дозволить розробити пропозиції щодо зниження рівня забруднення придорожньої смуги в зимовий період.

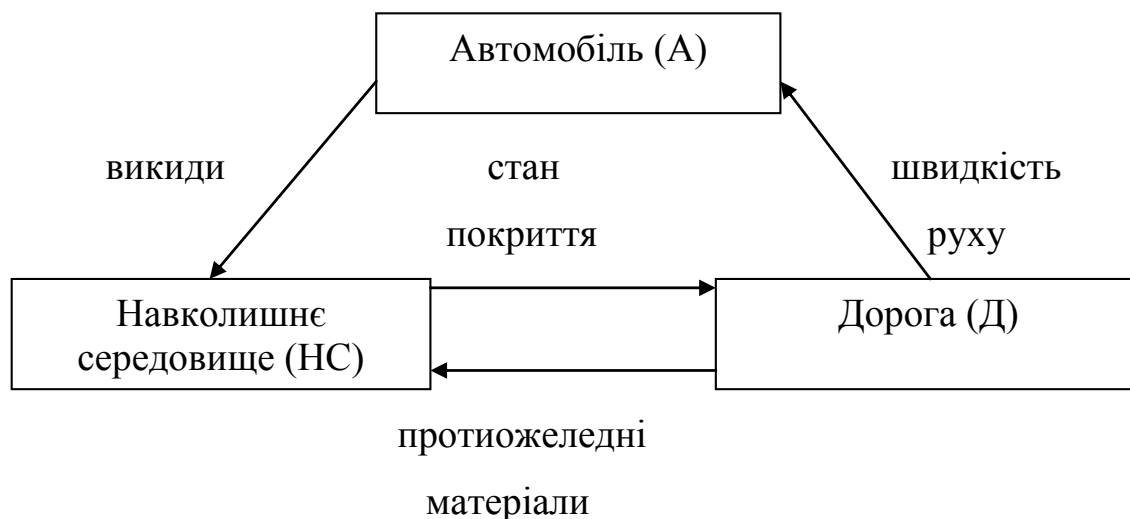


Рисунок 1 – Схема зв'язків системи «дорога – автомобіль – навколишнє середовище»

Так як між множиною елементів автомобільної дороги і навколишнім середовищем існує велика кількість різноманітних зв'язків, то ці множини можна розглядати як систему. Власні зв'язки системи і її зв'язки із зовнішнім середовищем створюють структуру системи, що розглядається. Підсистема Д – НС є складною, і при її вивченні можливе використання загальних підходів теорії моделювання складних систем. Вихідною інформацією при побудові математичних моделей процесу функціонування підсистеми Д – НС можуть слугувати дані про призначення і умови її роботи.

Як показує аналіз результатів досліджень багатьох авторів, у якості системоутворюючого фактора для вирішення дорожніх екологічних задач може бути вибрана швидкість руху. У зимовий період вона визначається станом дорожнього покриття. Для оцінки стану дорожнього покриття і відповідних йому швидкостей руху і рівня екологічного забруднення придорожньої смуги використовуватимемо дві математичні моделі, в основу яких покладено

сумісний аналіз погодної, дорожньої і транспортної інформації. Для оцінки стану дорожнього покриття скористаємося математичною моделлю, розробленою для дослідження умов утворення зимової слизькості на дорожніх покриттях [6].

У відповідності із загальною теорією складних систем, закон функціонування підсистеми Д – НС представимо узагальненим оператором F_s , який перетворить набір внутрішніх, незалежних параметрів підсистеми (метеорологічних і дорожніх факторів) у зовнішні, залежні – стани дорожнього покриття:

$$\overline{y(t)} = F_s[\overline{v(t)}, \overline{h(t)}, t], \quad (6)$$

де $\overline{y(t)} = \{y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t)\}$ – вектор стану покриття доріг у зимовий період; $\overline{v(t)} = \{v_1(t), v_2(t), \dots, v_n(t)\}$ – вектор дії зовнішнього середовища (погодно-кліматичні параметри); F_s – закон функціонування системи; $\overline{h(t)} = \{h_1(t), h_2(t), \dots, h_n(t)\}$ – вектор власних параметрів системи (дорожні і транспортні параметри); t – час.

При оцінці екологічної ситуації в придорожній смузі вектор стану покриття буде вже власним параметром підсистеми Д – А – НС, що визначає рівень забруднення. Закон функціонування цієї підсистеми аналогічним чином представимо деяким узагальненим оператором F_y , який перетворить набір внутрішніх, незалежних параметрів підсистеми (метеорологічних і дорожніх факторів) у зовнішні, залежні для оцінки екологічної ситуації у придорожній смузі:

$$\overline{e(t)} = F_y[\overline{v(t)}, \overline{h(t)}, \overline{y(t)}, t], \quad (7)$$

де $\overline{e(t)}$ – вектор зовнішніх, залежних, параметрів, використовуваних для оцінки екологічної ситуації; F_y – закон функціонування підсистеми Д – А – НС.

При оцінці екологічної ситуації в придорожній смузі вектор стану дорожнього покриття $\overline{y(t)}$ буде одним із власних дорожніх параметрів системи, який впливає, як і всі інші, на рівень забруднення навколишнього середовища в

зимовий період. У виразі (7) він виділений окремо, оскільки є результатом моделювання.

Для оцінки екологічної ситуації в зимовий період будемо враховувати наступні параметри: $H_i(t)$ – забруднення придорожньої території протиожедними матеріалами (ПОМ); $Q_i(t)$ – концентрація викидів основних газоподібних забруднювачів транспортними засобами при i -му стані дорожнього покриття.

Таким чином, вектор зовнішніх параметрів набуде вигляду:

$$\overline{e(t)} = \{\overline{H(t)}, \overline{Q(t)}\}. \quad (8)$$

Рівняння (6) - (8) є динамічними математичними моделями, що відображають поведінку системи в часі. Оператори F_S і F_y можуть бути представлені у вигляді системи рівнянь, логічних співвідношень, наявних емпіричних і аналітичних залежностей, що зв'язують вхідні і вихідні параметри підсистеми Д – А – НС, словесного опису відповідності і т. д.

Результати розрахунків Для можливості використання запропонованої математичної моделі було здійснено перевірку її адекватності на тестових задачах, для яких існують експериментальні аналоги. При цьому максимальна відносна похибка не перевищила 18%, що дає можливість рекомендувати запропоновані математичні моделі для розв'язання конкретних прикладних задач.

На наступному етапі роботі було проведено дослідження впливу різних факторів на екологічний стан придорожньої смуги. Зокрема досліджено вплив різних станів покриття на екологічний стан придорожньої смуги (рис.2, 3). Бачимо, що найвищі рівні забруднення придорожньої смуги спостерігаються при ожеледі, а найменші – при сухому покритті.

На основі проведених розрахунків та аналізу експериментальних даних було встановлено закони розподілу СО та NO₂ в повітрі придорожньої смуги. Для цього було побудовано відповідні гістограми

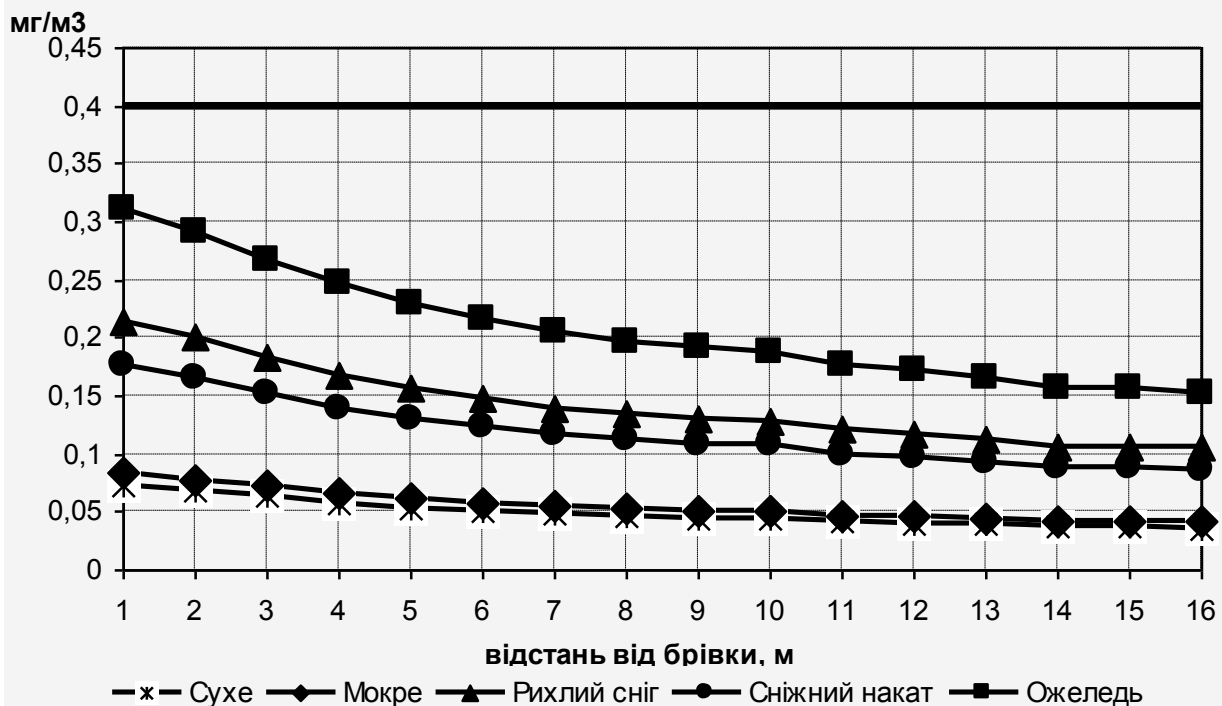


Рисунок 2 - Графіки розподілу приземних концентрацій NO₂ в придорожній смузі при різних станах покриття

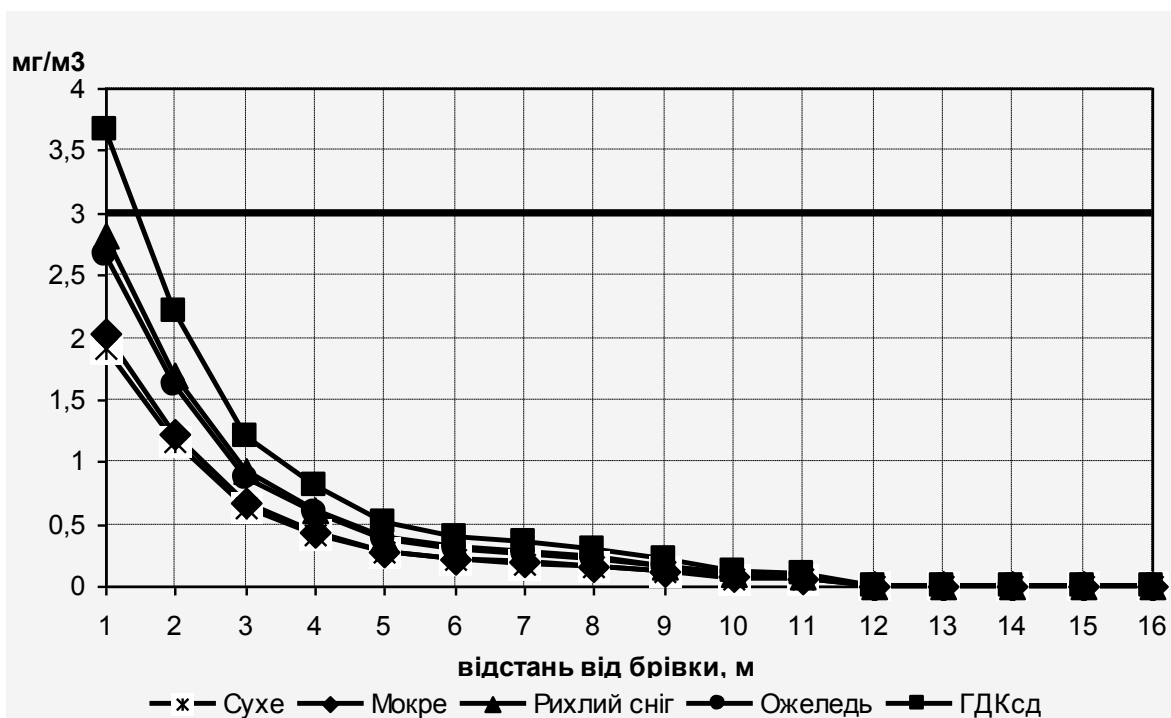


Рисунок 3 - Графіки розподілу приземних концентрацій CO в придорожній смузі при різних станах покриття

Результати статичної обробки одержаних даних наведено в таблицях (табл.2,3)

Таблиця 2 - Результати статистичної обробки концентрації викидів CO при різних станах дорожнього покриття в зимовий період

Стан покриття	Закон розподілу концентрації викидів CO	Параметри закону	Концентрація викидів CO, мг/м ³			
			Середнє значення	Довірчий інтервал розкиду середнього значення для довірчої ймовірності		
				0,85	0,90	0,95
Сухе	Нормальний	$\bar{x}=1,740$ $\sigma=0,795$	1,740	0,717+ +2,763	0,576+ +2,904	0,350+ +3,132
Мокре	Нормальний	$\bar{x}=1,835$ $\sigma=0,816$	1,835	0,756+ +2,914	0,607+ +3,063	0,367+ +3,303
Сніжний накат	Показниковий	$\mu=0,413$	2,420	0,997+ +3,843	0,800+ +4,040	0,484+ +4,356
Ожеледь	Показниковий	$\mu=0,301$	3,320	1,368+ +5,272	1,096+ +5,544	0,662+ +5,978
Рихлий сніг	Показниковий	$\mu=0,392$	2,550	1,050+ +4,050	0,843+ +4,256	0,512+ +4,588

Таблиця 3 - Результати статистичної обробки концентрації викидів NO₂ при різних станах дорожнього покриття в зимовий період

Стан покриття	Закон розподілу концентрації викидів NO ₂	Параметри закону	Концентрація викидів NO ₂ , мг/м ³			
			Середнє значення	Довірчий інтервал розкиду середнього значення для довірчої ймовірності		
				0,85	0,90	0,95
Сухе	Показниковий	$\mu=16,97$	0,050	0,021+ +0,079	0,017+ +0,083	0,010+ +0,090
Мокре	Показниковий	$\mu=17,54$	0,057	0,024+ +0,090	0,019+ +0,095	0,012+ +0,103
Сніжний накат	Нормальний	$\bar{x}=0,138$ $\sigma=0,063$	0,138	0,057+ +0,219	0,046+ +0,230	0,028+ +0,248
Ожеледь	Показниковий	$\mu=4,12$	0,243	0,100+ +0,386	0,081+ +0,405	0,049+ +0,437
Рихлий сніг	Нормальний	$\bar{x}=0,166$ $\sigma=0,076$	0,166	0,068+ +0,263	0,055+ +0,277	0,033+ +0,299

Висновки

1. На сьогодні дорожньо-транспортний комплекс є одним з найбільш небезпечних забруднювачів навколишнього середовища, що обумовлює необхідність вирішення проблем екологічної безпеки як на стадії проектування, так і в процесі експлуатації автомобільних доріг.
2. На формування транспортного забруднення придорожньої смуги здійснюють вплив три групи факторів: дорожні, природно-кліматичні і транспортні.
3. В рамках системного підходу запропоновано математичну модель для оцінки екологічного стану придорожньої смуги в зимовий період року.
4. Проведено порівняння результатів чисельних розрахунків з експериментальними даними «ДерждорНДІ» ім. М.П.Шульгіна і отримано задовільний їх збіг.
5. Найвищий рівень забруднення придорожньої смуги в зимовий період року спостерігається при ожеледі, найменший – при сухому покритті.
6. На основі статистичного аналізу встановлено закони розподілу концентрацій CO і NO₂ у придорожній смузі при різних станах покриття.

Література

1. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л., 1975. – 448 с.
 2. Буренин Н.С. Исследование загрязнения атмосферы выхлопными газами автотранспорта. Автореф. к.т.н. Гл. упр. Гидрометеорологической службы при Совмине СССР, Гл. Геофизическая обсерватория им. Воейкова. – Л., 1977. – 18 с.
 3. Васильев А.П. Проектирование дорог и влияние климата на условия движения. – М.; 1986. – 248 с.
 4. Скорченко В.Ф. Дослідження впливів дорожніх умов на забруднення навколишнього середовища автомобілями: Автореф. к.т.н. / КАДІ, К., 1980. – 229 с.
 5. Сеттон С.Г. Микрометеорология (пер. с англ.). – Л., 1958. – 35 с.
- Самодурова Т.В. Организация борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах по данным прогноза: Автореф. к.т.н. / МАДИ, М., 1992. – 235 с.

УДК 625.7/.8

Коваленко Л.О., канд. техн. наук

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДОРОЖНЫХ ФАКТОРОВ И
ИНФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ВЕЛИЧИНУ
ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Аннотация. В статье проанализировано изменение величины пропускной способности автомобильной дороги в зависимости от изменения дорожных условий и информационной загрузки водителя. Предложены мероприятия по увеличению пропускной способности автомобильных дорог

Ключевые слова: автомобильная дорога, пропускная способность, водитель, транспортный поток, информационные характеристики.

Анотація. У статті проаналізовано зміну величини пропускної здатності автомобільної дороги в залежності від зміни дорожніх умов та інформаційного завантаження водія. Запропоновано заходи по збільшенню пропускної здатності автомобільних доріг.

Ключові слова: автомобільна дорога, пропускна здатність, водій, транспортний потік, інформаційні характеристики.

Annotation. The article analyzes the change in the capacity of the road depending on changes in road conditions and driver download information. The measures to increase road capacity

Keywords: road, capacity, driver, traffic flow, information characteristics.

Пропускная способность автомобильных дорог является одним из важнейших показателей, характеризующих условия и режимы движения транспортных потоков. Чаще всего величину фактической пропускной способности определяют по данным наблюдений за движением реального транспортного потока. Основными характеристиками режимов движения транспортных потоков являются такие статистические показатели, как скорость движения, интервал между следующими друг за другом автомобилями, плотность транспортного потока. По результатам наблюдений строят графики: «дистанция – скорость», «интенсивность – скорость», «интенсивность – плотность» [1, 2].

Сложность использования данных диаграмм заключается в том, что они являются характеристиками конкретного участка дороги и определенных дорожных условий. С изменением условий движения изменяются величины дистанций и скоростей движения и, следовательно, величина пропускной способности [3, 4]. Построение основной диаграммы транспортного потока позволяет получить достаточно достоверные данные о фактической величине пропускной способности на рассматриваемом участке дороги в конкретных дорожных условиях. Недостатком данного метода является невозможность прогнозировать изменение характеристик транспортного потока, изменение величины пропускной способности с изменением дорожных условий. Поэтому совершенствование существующих и создание новых методов оценки пропускной способности существующих автомобильных дорог является достаточно актуальной задачей. На существующих автомобильных дорогах оценка пропускной способности может быть произведена по результатам вычисления информационных характеристик среды движения на рассматриваемом участке дороги [5].

Для определения величины пропускной способности участков автомобильных дорог с учетом закономерностей поведения водителя была использована методика ХНАДУ оценки условий и безопасности движения по показателям информационной загрузки водителя с учетом мотивационных сил, действующих на водителя в процессе движения [5, 6]. Рассмотрение основных закономерностей поведения водителя, таких как принцип наименьшего принуждения, принцип согласования индивидуальных и социальных норм поведения водителей, принцип функционального гомеостазиса и других

позволило определить оптимальную величину информационной загрузки водителя, которая может обеспечить наиболее безопасные и комфортные для водителя условия движения [7].

В результате расчета пропускной способности участков автомобильной дороги с различными дорожными условиями были получены зависимости изменения пропускной способности от скорости движения на этих участках, дорожных условий и информационных характеристик среды движения.

Анализ полученных данных позволяет оценить влияние дорожных факторов на пропускную способность. Очевидно, что основное влияние на изменение величины пропускной способности имеют дорожные условия, интенсивность и состав движения. Причем, именно эти показатели формируют характер информационной загрузки водителя. Количество информации может быть охарактеризовано величинами максимальной энтропии H_m , текущей энтропии H_T и абсолютной организации Q поля восприятия водителя. Соотношение между энтропией и абсолютной организацией (коэффициент стохастичности G) может служить основой для оценки условий движения.

При движении по дороге взгляд водителя в течение 95% времени находится в определенной зоне, которую называют полем концентрации внимания. Размеры ее изменяются в соответствии с ростом скорости движения. Величину длины поля восприятия водителя определяют по формуле [5]:

$$L = 15 + 4.3V, \quad (1)$$

где V – максимально возможная скорость движения на прямом горизонтальном участке дороги в эталонных погодных условиях, км/час.

Максимальная энтропия поля восприятия водителя может быть определена по формуле:

$$H_m = n^2, \quad (2)$$

где n – количество носителей информации в поле восприятия водителя.

Коэффициент стохастичности – это показатель, который характеризует соотношение между текущей энтропией среды (то есть величиной, которая

показывает степень неопределенности дорожной ситуации), и количеством информации, которое несет дорожная среда:

$$G = \frac{H_T}{Q}, \quad (3)$$

где H_T – текущая энтропия поля восприятия водителя, бит;

Q – абсолютная организация поля восприятия, бит.

Скорость поступления информации показывает количество информации, которое поступает к водителю в единицу времени (бит/с):

$$V_H = \frac{Q \cdot V_a}{L}, \quad (4)$$

где V_a – скорость движения автомобиля, км/час;

L – длина поля восприятия водителя, м.

Максимальные значения пропускной способности соответствуют суммативным нормам скоростей при движении в различных дорожных условиях. Причем, наибольшие величины пропускной способности полосы движения, которые находятся в пределах 910-990 авт/ч соответствуют скоростям движения 65-80 км/ч. Совместный анализ величин пропускной способности суммативных норм скоростей и показателей информационной загрузки водителя показал, что максимуму пропускной способности соответствуют величины коэффициента стохастичности G в пределах 1,35-1,45, что характеризует условия движения как отличные (таблица 1).

Таким образом, скорость движения 65-80 км/ч обеспечивает наибольшие значения пропускной способности участков автомобильных дорог с благоприятными дорожными условиями при оптимальной информационной нагрузке водителя. При движении в сложных дорожных условиях происходит изменение скоростей и режимов движения. Ошибки водителя в принятии решения по изменению режима и траектории движения при проезде опасных участков указывают на то, что водитель не получает своевременно информацию о степени опасности условий движения или эта информация такова, что не побуждает его эффективно действовать для предотвращения опасной ситуации в процессе движения или лучшего приспособления режима и траектории движения к сложным дорожным условиям. Это указывает на

необходимость учета мотивации деятельности водителя, психофизиологических порогов и особенностей восприятия водителем информации об условиях движения [8,9].

Одним из основных факторов, определяющих режим движения, величину пропускной способности, уровень эмоционального напряжения водителя является интенсивность движения. Информация о скоростях и манёврах встречных и попутных автомобилей, расстояний до них является наиболее значимой с точки зрения безопасности движения. Влияние интенсивности на изменение условий движения связано с изменением числа автомобилей, попадающих в пределы поля восприятия водителя (число переменных носителей информации). При числе переменных носителей информации в пределах от 2 до 4 уменьшается и стабилизируется величина психического принуждения водителя и уменьшаются удельные затраты абстрактного труда, величина пропускной способности увеличивается. Это соответствует интенсивности движения в пределах 4000-6000 авт/сут.

Кратковременная информационная перегрузка, при которой скорость поступления информации может быть близкой к пропускной способности человека в её переработке, переносится водителем безболезненно за счет использования резервных возможностей организма и практически не вызывает снижения надежности работы. Однако, продолжительная работа в условиях информационной перегрузки ведет к повышению психического напряжения, развитию утомления, снижению скорости движения и уменьшению величины пропускной способности дороги. Особенно это проявляется при интенсивности движения более 7000 авт/сут.

При интенсивности движения менее 3000 авт/сут основная часть информации, поступающая к водителю, связана с дорожными условиями. Скорость поступления этой информации невелика и не требуется больших усилий водителя по её переработке. В таких условиях при отсутствии периодически появляющихся переменных носителей информации работа водителя становится монотонной, уровень внимания и надежность водителя значительно снижается, величина пропускной способности уменьшается.

Влияние состава транспортного потока на величину пропускной способности дороги проявляется, в первую очередь, в количестве легковых автомобилей, а также наличии автопоездов. Очевидно, что при увеличении

числа легковых автомобилей, наблюдается рост пропускной способности. При уменьшении числа легковых автомобилей менее 50 % транспортного состава наблюдается резкое падение пропускной способности. Это же наблюдается при увеличении числа автопоездов, особенно, если их количество превышает 20 % состава.

Таблица 1 – Показатели информационной загрузки водителя при движении в различных дорожных условиях

Дорожные условия		Число носителей информации n , шт	Максимальная энтропия H_m , бит	Абсолютная организация Q , бит	Коэффициент стохастичности G	Суммативная норма скорости V_{Σ} , км/ч	Пропускная способность, P авт/ч
Интенсивность движения N , авт/сут	1000	9	81	38	1,13	104	800
	3000	10	100	45	1,22	79	880
	5000	11	121	50	1,40	69	910
	7000	13	169	63	1,62	61	890
	10000	15	225	81	1,81	50	860
Кол-во лег. автомобилей в составе движения, %	5	8	64	32	1,0	45	770
	30	9	81	38	1,15	52	810
	50	11	121	50	1,4	64	880
	80	13	169	65	1,65	75	990
Радиус закругления R , м	50	8	64	31	1,1	42	780
	300	9	81	36	1,2	56	830
	800	11	121	50	1,4	69	910
	2000	13	169	66	1,6	78	960
Продольный уклон i , ‰	0	11	121	53	1,4	69	910
	50	10	100	42	1,3	63	890
	100	9	81	36	1,25	53	815

Уровень психического напряжения водителя при восприятии информации зависит от двух факторов: ценности и количества информации. Количество информации зависит в основном от скорости и интенсивности движения. Наиболее ценной информацией является та, которая в большей степени влияет

на принятие водителем решений, связанных с обеспечением безопасности движения. По степени влияния дорожных факторов на величину пропускной способности элементы дорожной обстановки можно расположить следующим образом: ограничение расстояния видимости, населённые пункты, скользкость проезжей части, пересечения в одном уровне, сужение проезжей части, плохое состояние обочин, кривые в плане малых радиусов, продольные уклоны. Чем выше в данном распределении находится элемент, тем больше его влияние.

На величину пропускной способности в большей степени влияют количество и скорость поступления информации. При благоприятных дорожных условиях информационная нагрузка водителя формируется числом носителей информации. Наибольшие значения суммативных норм скоростей движения и величин пропускной способности наблюдаются при числе носителей информации в пределах поля восприятия водителя в интервале от 7 до 13. Уменьшение числа носителей информации менее 7 ведет к недостаточной информационной нагрузке водителей и развитию состояния монотонии. Увеличение числа элементов поля восприятия водителя свыше 13 сопровождается усложнением условий движения.

Оптимальные условия движения наблюдаются при числе носителей информации в пределах от 9 до 11. При этом надёжность водителя удерживается на уровне 85-95 %, а величина психического принуждения минимальна.

При постоянном числе носителей информации характер условий движения зависит от коэффициента стохастичности и абсолютной организации поля восприятия водителя. При любом числе носителей информации максимум надёжности деятельности водителя наблюдается при коэффициенте стохастичности $G = 1,3-1,45$.

Обработка экспериментальных данных по методу наименьших квадратов позволила описать зависимость величины пропускной способности от информационных показателей поля восприятия водителя. Для аппроксимации были выбраны уравнения полинома второй степени.

Величина пропускной способности при изменении интенсивности движения может быть определена по формулам:

$$P = - 722, 14 + 216, 74 G - 71, 71 G^2$$

$$P = - 537,69 + 233,52 n - 9,38 n^2, \quad (5)$$

где G – коэффициент стохастичности;

n – число носителей информации в поле восприятия водителя.

Увеличение скорости движения и пропускной способности возможно при увеличении величины абсолютной организации поля восприятия и изменении вероятности угрозы аварии за счет отдельных объектов дорожной среды. Поэтому к числу мероприятий, регулирующих величину пропускной способности, следует отнести: увеличение дальности видимости в плане и профиле, увеличение расстояния до застройки у проезжей части, повышение шероховатости покрытия и сцепных качеств, устройство пересечений в разных уровнях или оборудование пересечений в одном уровне, уширение проезжей части у мостов, рациональная расстановка дорожных знаков.

Литература

1. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
2. Проектирование автомобильных дорог. справочник инженера дорожника /Под ред. Федотова Г.А. –М.: Транспорт, 1989. – 436 с.
3. Сильянов В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1984. – 287 с.
4. Проектування автомобільних доріг: Підручник. У 2ч. Ч. 1 / О. А. Білятинський, В. Й. Заворицький, В. П. Старовойда, Я. В. Хомяк/ За ред. О. А. Білятинського, Я. В. Хомяка. – К.: Вища школа, 1997. – 518 с.
5. Гаврилов Э.В., Гридчин А.М., Ряпухин В.Н., Системное проектирование автомобильных дорог. Ч. 1.: Учебное пособие – Москва – Белгород: изд-во АСВ, 1998. – 138 с.
6. Гаврилов Э. В. Багаева В. А., Туманов В. В. Учет человеческого фактора при проектировании дорог и организации дорожного движения: Учебное пособие. – К.: УМК Во, 1988. – 76 с.
7. Лобанов Е. М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя. – М.: Транспорт, 1980. – 311 с.
8. Коваленко Л.А. Влияние мотивации на выбор водителем дистанции между автомобилями / Л.А. Коваленко // Вестник ХНАДУ: Сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2000. – Вып. 12-13. – С. 183 – 185.
9. Коваленко Л.А. Оценка пропускной способности автомобильных дорог // Вестник ХНАДУ. – 2000. – Вып. 19. – С. 62 – 64.

Пронин С.В., канд. техн. наук. (ХНАДУ)

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

Анотація: У статті розглядається підхід до побудови систем моніторингу транспорту з використанням сховищ даних.

Ключові слова: сховище даних, база даних, СУБД, моніторинг, сервер.

Аннотация: В статье рассматривается подход к построению систем мониторинга транспорта с использованием хранилищ данных.

Ключевые слова: хранилище данных, база данных, СУБД, мониторинг, сервер.

Abstract: This paper presents an approach to the construction of systems for monitoring transport using data warehouses.

Keywords: data warehouse, database, database, monitoring server.

Введение

Современные информационные технологии без лишних затрат на программное обеспечение позволяют реализовать мониторинг и оценку функционирования городского транспорта, что доказывает возможность внедрения таких систем на базе существующих компьютерных сетей в условиях большого города. Достаточным является соответствие имеющейся компьютерной сети и протокола HTTP. Со стороны респондента необходимо наличие обычного Web-браузера, на любом современном компьютере, независимо от установленной операционной системы. В качестве сервера базы данных могут использоваться коммерческие решения на базе Microsoft SQL Server 2005/2008 и старше, или свободная версия MySQL, поддерживаемая корпорацией Oracle.

Анализ публикаций

В основе современного подхода к построению аналитических систем лежит идея интегрированного хранилища данных, обеспечивающего единый доступ к информации, разбросанной по разнообразным источникам в том числе внешним. При этом существенно, что данные в хранилище имеют исторический характер, т. е. обеспечивается интеграция не только разнородных источников, но и архивных данных, возникающих в процессе функционирования той или иной оперативной системы [1-3].

Данные из оперативных систем и внешних источников подвергаются различным преобразованиям, согласованию и загружаются в централизованное хранилище, которое содержит всю информацию, необходимую для всевозможных процессов принятия решений. Для того чтобы существующие хранилища данных способствовали принятию управленческих решений, информация должна быть представлена аналитику в нужной форме, т.е. должны быть развиты инструменты доступа к данным хранилища и их обработки. Для информационного обеспечения отдельных функционально замкнутых задач используются так называемые витрины данных, в которые информация попадает либо из хранилища (зависимые витрины) либо непосредственно из источников данных, проходя предварительные согласования и преобразования. Витрины данных строятся на основе реляционных или, что более популярно, многомерных СУБД (Система управления базами данных). Дело в том, что для решения большинства задач анализа оказываются полезными принципы многомерной модели данных и соответствующие им многомерные базы данных [4-8]. На основе анализа моделей данных была выбрана темпоральная (временная) модель данных, которые хорошо учитывают изменения в данных в течении времени [9-11], что характерно для транспортной отрасли.

Архитектура СУБД транспортных организаций

При разработке хранилища данных, транспортной СУБД будем исходить из того, что её архитектура должна отвечать особенностям решаемой задачи. В данном случае этому наиболее полно соответствует архитектура «клиент-

сервер». Применительно к транспортным системам баз данных архитектура «клиент-сервер» интересна и актуальна тем, что обеспечивает простое и относительно дешевое решение проблемы коллективного доступа к базам данных в локальной сети.

Технология транспортной СУБД предлагается выстраивать на основе технологии «клиент-сервер» которая будет иметь две части – приложение-клиент (front-end) и сервер базы данных (back-end). Такой подход позволит обеспечить с одной стороны централизованное администрирование, безопасность, надежность, а с другой при применении технологии “файл-сервер” система будет обладать низкой стоимостью и возможностью распределенной обработки данных. Эти два типа качеств важны в связи с особенностями устройства транспортной отрасли. Кроме того, архитектура «клиент-сервер» значительно упрощает и ускоряет разработку приложений за счет того, что правила проверки целостности данных находятся на сервере.

При извлечении данных по результатам работы транспорта для их анализа необходимо организовать доступ к базе данных от прикладной программы анализа или пользователя производится путем обращения к клиентской части системы. В качестве основного интерфейса между клиентской и серверной частями используем язык баз данных SQL.

Серверы баз данных, интерфейс которых основан на языке SQL, обладают своими преимуществами и своими недостатками. Очевидное преимущество – стандартность интерфейса. В пределе, хотя пока это не совсем так, клиентские части любой SQL-ориентированной СУБД могли бы работать с любым SQL-сервером вне зависимости от того, кто его произвел.

Недостаток тоже довольно очевиден. При таком высоком уровне интерфейса между клиентской и серверной частями системы на стороне клиента работает слишком мало программ СУБД. Это нормально, если на стороне клиента используется маломощная рабочая станция. Но если клиентский компьютер обладает достаточной мощностью, то часто возникает желание возложить на него больше функций управления базами данных, разгрузив сервер, который является узким местом всей системы. В общем виде предлагаемая система мониторинга представлена на рис. 1.

Сервер пассажирских перевозок представляет собой программный компонент вычислительной системы, который выполняет сервисные обслуживающие функции, по запросам клиентов предоставляя им доступ к ресурсам и услугам, связанным с транспортной отраслью, такие как проведение анкетных обследований, определение местоположения транспортных средств, информация о работе транспорта и другие. Также решается задача по управлению СУБД, выполнению запросов от SQL-операторов и осуществление управления базой данных. Здесь СУБД действует в традиционной роли, заключающейся в манипулировании данными получаемыми от мониторинга результатов работы транспорта. СУБД на сервере базы данных не создает форм, отчетов или меню, а выполняет исключительно функции ядра: прием SQL-запросов и обработку строк в таблицах.

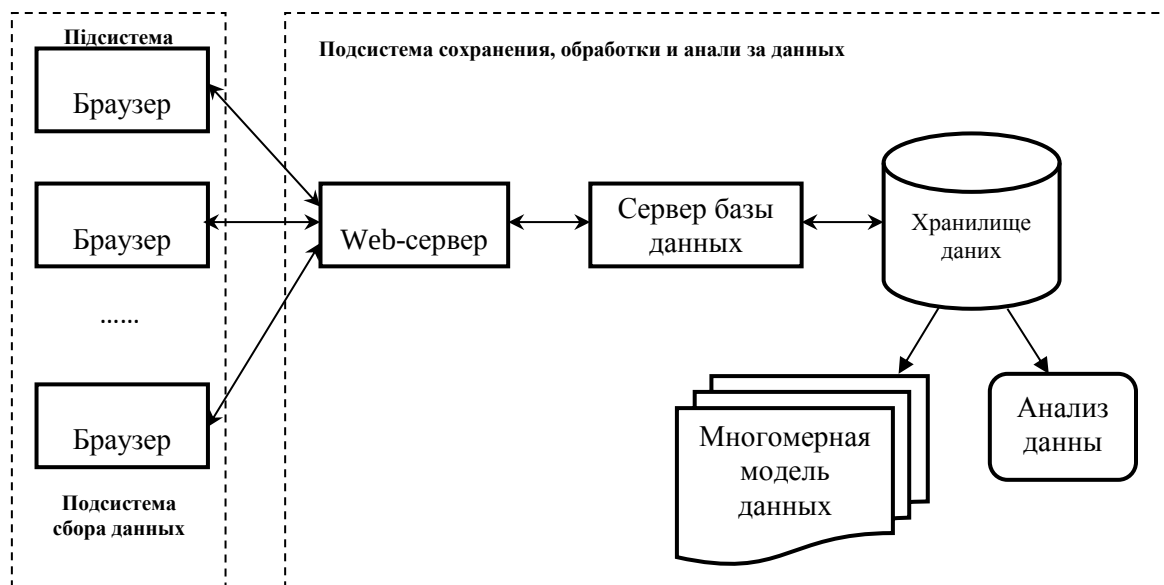


Рисунок 1 – Общая схема системы СУБД

В нашем случае Web-сервер (webserver) выполняет три основные функции. Во-первых, это HTTP-сервер: он обрабатывает протокол HTTP, принимая запросы и генерируя отклики в формате HTTP. Во-вторых, на web-сервере располагаются сценарный интерпретатор (scriptingengine), который позволяет писать код на VBScript и JavaScript и запускать его на web-сервере. Наконец, в приложениях баз данных третьей функцией web-сервера является создание, чтение, обновление и удаление экземпляров представлений. В случае,

обычно используемые, когда web-сервер работает под управлением операционной системы Windows роль HTTP-сервера почти всегда будет играть IIS, поскольку эта система является частью Windows. IIS предоставляет интерфейс под названием ISAPI (Internet Server Application Program Interface), интерфейс прикладных программ Интернет-сервера), с помощью которого другие программы могут перехватывать и обрабатывать HTTP-сообщения. Одной из таких программ является ASP (Active Server Processor, обработчик активных серверных страниц), Он обрабатывает все web-страницы с расширением .asp. Когда IIS получает такую страницу, она посылает ее ASP через интерфейс ISAPI. ASP обрабатывает страницу и генерирует отклик, который передается IIS через ISAPI и далее посылается клиенту. На рис. 2 показаны стандарты и интерфейсы прикладных программ, которые используются при передаче данных между сервером базы данных и web-сервером.

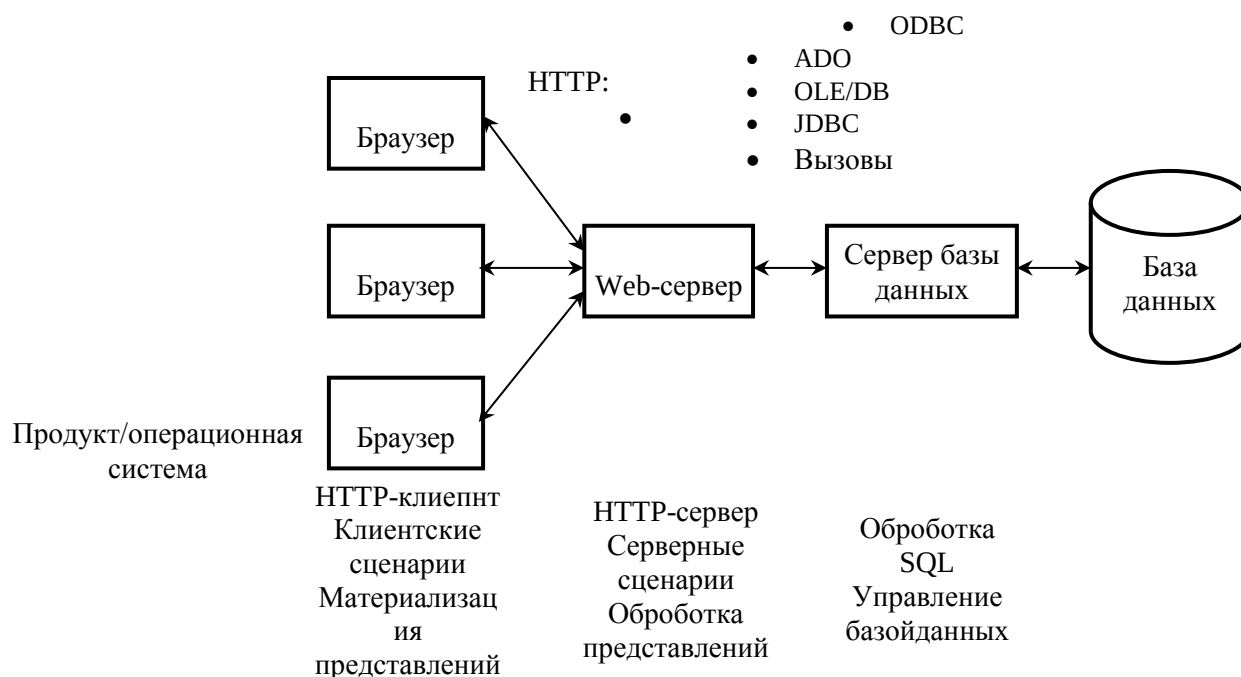


Рисунок 2 – Функции уровней (стандарты и интерфейсы)

Модель хранилища данных

Так как работа городского транспорта отличается динамикой и изменением состояний в различные моменты времени для задачи анализа

информации содержащейся в базах данных оптимально использовать темпоральные хранилища данных которые в отличие от традиционных моделей, обеспечивающих хранение лишь мгновенного снимка объектов предметной области, позволяют хранить информацию об эволюции объектов, т.е. для любого объекта, который был создан в момент времени $t(1)$ и закончил свое существование в момент времени $t(1+n)$, в БД будут сохранены все его состояния на данном временном интервале.

Тогда под темпоральностью объекта следует понимать явную или неявную связь объекта с определенными датами или промежутками времени, а темпоральные данные – это данные, которые могут изменяться с течением времени.

В соответствии с устоявшимися понятиями темпоральная модель данных (ТМД) – это модель данных, ориентированная на хранение темпоральных данных, все аспекты которой также должны быть темпоральными. В отличие от традиционной модели данных которая обычно состоит из трех компонент, таких как структура данных, операции и ограничения целостности, темпоральная модель также включает эти компоненты но с учетом изменений данных во времени и в общем имеет следующий вид:

$$MT=(DS(t), OP(t), C(t)), \quad (1)$$

где $DS(t)$ - структура данных в момент времени;

$OP(t)$ – операции над данными в момент времени;

$C(t)$ – целостность данных в момент времени.

Отсюда следует, что структура данных должна быть адаптирована таким образом, чтобы имелась возможность хранить темпоральные данные. Дополнительно для каждого ограничения целостности в нетемпоральных моделях данных темпоральная модель должна поддерживать темпоральный аналог нетемпорального ограничения. Семантика темпоральных ограничений целостности также должна быть переопределена.

Так как данные, представленные в базе данных (БД), являются неким отражением текущего состояния действительности для отображаемого состояния

системы, каждая запись можно представить в виде факта, являющийся истинным в определенный момент или интервал времени. При переходе к темпоральной БД для каждого такого факта можно указать тот промежуток времени, в который этот факт являлся истинным в моделируемом мире, представленном в БД. Подобное представление времени, когда с данными связывается промежуток времени их актуальности с точки зрения моделируемого мира, называется модельным, или действительным временем.

Другим типом линии времени, который рассматривается исследователями темпоральных БД, является транзакционное время. В любой СУБД каждой записи БД можно сопоставить тот промежуток времени, когда данная запись была представлена в БД, то есть промежуток времени между моментами добавления записи и ее удаления из БД

Еще одной проблемой является тип представления времени в модели данных. Здесь различают дискретный и интервальный способы представления времени. При простоте дискретного представления данный тип имеет один недостаток, а именно усложнение запросов и операций из-за связи темпоральных объектов с одним атрибутом времени. Поэтому наиболее распространенные и простые в реализации являются модели основанные на интервальном способе представления времени.

Наиболее распространенной и простой в реализации является модель представления темпоральных данных, предложенная Р. Снодграсом [11], которая имеет следующий вид:

$$R=(A1, ..., An, Ts, Te, Vs, Ve), \quad (2)$$

где R - битемпоральное отношение;

$A1, ..., An$ - набор атрибутов;

T – битемпоральный атрибут, определенный на множестве битемпоральных элементов;

Ts, Te, Vs, Ve - дополнительные атрибуты времени, содержащие дату начала и окончания транзакционного и модельного времени.

Вывод

В статье был рассмотрен и предложен подход к созданию систем мониторинга автомобильного транспорта на основе хранилищ данных.

Литература

1. Р. Пэддок Visual FoxPro 6.0 Разработка корпоративных приложений / Р. Пэддок, Д. Петерсен, Р. Тэлмейдж – М.: «ДМК», 1999. – 87 с.
2. Диго С. М. Проектирование и использование баз данных / С.М. Диго - Учебник. М.: Финансы и статистика, 1995. – 38 с.
3. Інтелектуальна технологія управління громадським пасажирським транспортом великих міст та регіонів України: звіт з наукової роботи № 09-53-07 / ХНАДУ - № держреєстрації 0107U001008 – Харків, 2008.– 257 с.
4. Вендров А. М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем / А.М. Вендров – М.: «Финансы и статистика», 2000. – 130 с.
5. Билл Инмон. Производительность систем хранилищ данных. Performance In The Data Warehouse Environment / Билл Инмон. – 2000. – №4. – С. 41 – 48.
6. Вон Ким. Три основных недостатка современных хранилищ данных. Performance In The Data Warehouse Environment / Вон Ким. – 2000. – №4. – С. 120 – 127.
7. А. А. Барсегян, Методы и модели анализа данных / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов – С.-Петербург: БХВ Петербург, 2004. – 134 с.
8. А. Бергер, MS SQL Server 2005 Analysis Services и многомерный анализ данных / А. Бергер, И. Горбач – С.-Петербург: БХВ Петербург, 2007. – 235 с.
9. Спандерашвили, Д.В. Особенности построения системы сбора статистики телекоммуникационной компании./ Д.В. Спандерашвили. // Информатика: проблемы, методология, технологии. Материалы пятой региональной научно-методической конференции. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2005. – Ч 2. – С.136-141. – ISBN 5-9273-0681-0.
10. Долгий А.И. Программный комплекс автоматического анализа георадиолокационных данных «GEORAILWAY+»/ Долгий А.И., Хатламаджиян А.Е., Окост М.В. // Тезисы докладов четвертой международной научно-практической конференции «Инженерная и рудная геофизика – 2008». – Геленджик, 2008.
11. Snodgrass R. Developing Time-Oriented Database Applications in SQL/ R Snodgrass – Morgan Kaufmann Publishers, 1999.