РОЗВІДУВАННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ ДОРІГ ТА ПЕРЕХОДІВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ

УДК 625.731

Каськів В.І., канд. техн. наук

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗПОДІЛУ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТІВ У РОБОЧОМУ ШАРІ ВИСОКИХ НАСИПІВ З ВРАХУВАННЯМ ІНФІЛЬТРАЦІЇ ВОЛОГИ ДОЩІВ

Анотація. На основі теоретичних і експериментальних досліджень побудовано математичну модель розподілу вологості ґрунтів робочого шару високих насипів автомобільних доріг. Встановлено характер впливу вологи опадів на ґрунти земляного полотна, який включає в себе визначення інтенсивності дощів, величини і глибини інфільтрації, розподілу вологості при наявності неводотривкого і водотривкого дорожніх одягів.
Ключові слова: автомобільна дорога, високий насип, вологість, ґрунт, дощ, інфільтрація, математична модель, робочий шар.

УДК 625.731

Каськив В.И., канд. техн. наук

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТОВ В РАБОЧЕМ СЛОЕ ВЫСОКИХ НАСЫПЕЙ С УЧЕТОМ ИНФИЛЬТРАЦИИ ВЛАГИ ДОЖДЕЙ

Аннотация. На основании теоретических и экспериментальных исследований построена математическая модель распределения влажности грунтов рабочего слоя высоких насыпей автомобильных дорог. Установлен характер влияния осадков на грунты земляного полотна, который включает в себя определение интенсивности дождей, величины и глубины инфильтрации, распределения

влажности при наличии водопроницаемой и водонепроницаемой дорожной одежды.

Ключевые слова: автомобильная дорога, высокая насыпь, влажность, грунт, дождь, инфильтрация, математическая модель, рабочий слой.

UDC 625.731

Kaskiv V.I., Cand. Eng. Sci. (Ph.D)

MATHEMATICAL MODEL DISTRIBUTION SOIL HUMIDITY IN THE WORKING LAYER HIGH EMBANKMENTS TAKING INTO ACCOUNT MOISTURE INFILTRATION OF THE RAIN

Absract. Because of theoretical and experimental researches the mathematical model of distribution of soil moisture of working layer high embankments of highways is constructed. The character of influence of rains on soils of the subgrade is established which includes the definition of intensity of rains, magnitude and depth of infiltration, distribution of moisture for want of availability of water-permeable and water-impermeable road pavement.

Key words: road, high embankment, moisture, soil, rain, infiltration, mathematical model, working layer.

Вступ

При будівництві автомобільних доріг основні затрати матеріальних і трудових ресурсів, як правило, пов'язані з влаштуванням дорожніх одягів. Аналіз сучасного стану мережі автомобільних доріг загального користування свідчить, що підвищення міцності і строку служби дорожніх одягів досі є актуальною задачею.

При проектуванні дорожньої конструкції враховують вплив навантажень, регіональних природних умов і водно-теплового режиму (ВТР) на надійність і довговічність доріг. Міцність, надійність і довговічність дорожніх одягів, більшим чином це стосується нежорстких дорожніх одягів, суттєво залежать від міцності ґрунтів земляного полотна, зокрема в його робочому шарі. Як правило, максимальна сезонна вологість ґрунтів спостерігається у весняний

(розрахунковий) період. Міцність ґрунтів у цей період суттєво впливає на міцність дорожнього одягу. Звідси постає одна із головних проблем дорожнього будівництва – збільшення міцності ґрунтів земляного полотна в розрахунковий період і підвищення стабільності його властивостей в річному циклі. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми – раціональне регулювання ВТР дорожньої конструкції.

Основна частина

В більшості випадків при регулюванні ВТР дорожньої конструкції приділяють увагу капілярному і пароподібному зволоженню. І дійсно, при близькому заляганні ґрунтових вод їх вплив на вологість ґрунтів земляного полотна може бути вирішальним. Між тим, зволоженням від дії дощів, також не слід нехтувати. Це джерел зволоження є основним для ґрунтів робочого шару високих насипів у теплий період року.

Для України характерний континентальний тип річного ходу опадів, тобто максимальна їх кількість випадає в теплий період року, з квітня по жовтень. У цей період їх випадає від 60 % до 85 % річної кількості, тому саме на цьому періоді і акцентується увага в цій роботі.

Аналіз робіт, присвячених питанням інфільтрації вологи дощів в земляне полотно показав, що в дорожній галузі не існує єдиного підходу до призначення інтенсивності дощу (i). Величина i коливається в межах від 0,17 мм/хв до 1,66 мм/хв за різними відомими розрахунками для одного і того ж дощу. Аналогічна ситуація і в метеорології, де нижня межа, при якій дощі можна вважати зливовими коливається в межах від 0,03 мм/хв до 1,67 мм/хв. В зв'язку з цим, при розв'язанні задач розрахунків інфільтрації вологи в земляне полотно доцільніше використовувати деяку інтенсивність опадів без розподілу їх на обложні чи зливові (не приймаючи до уваги розрахунки для визначення об'ємів зливових вод на водозборах і товщини плівки з умов забезпечення безпеки руху, тому що там інші передумови).

Результати обробки плювіограм дали можливість отримати залежності для знаходження розрахункової приведеної інтенсивності – $i_{\text{пр.р}}$. [1].

При розрахунках ВТР дорожніх конструкцій, найбільш обґрунтованим у теоретичному плані є метод розрахунку вологонакопичення, який

запропонований В.М. Сіденком на основі теорії тепло- і масопереносу в капілярно-пористих середовищах.

З метою можливості використання методології цього методу, запропоновано замінити коефіцієнт вологопровідності, який відображає здатність ґрунтів до капілярного підняття, а не до інфільтрації, коефіцієнтом дифузії ґрунтової вологи (дифузивністю) – *D*. Обґрунтованість і правомірність цього підтверджується багатогранною практикою досліджень в гідрології. Причому визначення дифузивності базується на характерних для кожного ґрунту характеристиках, що дозволяє значно підвищити точність результатів, які отримують.

Оскільки, за розрахунковий прийнято теплий період року, то можна стверджувати, що до моменту встановлення деякої вологості набагато раніше встановлюється певний розподіл температури, тобто у тілі земляного полотна встановлюється стаціонарний теплообмін ($\partial T/\partial t = 0$).

Вплив атмосферних опадів враховували шляхом введенням функції $f(t)$, яка залежить від кількості опадів, що випали, їх інфільтрації, стоку, випаровування і транспірації. Саму функцію $f(t)$ пропонується знаходити за розробленою автором методикою, основні положення якої базуються на роботах Б.Ф. Перевозникова [2] і В.І. Рувинського [3], а також методу водного балансу:

$$f(t) = \beta\, \Im, \tag{1}$$

де β – коефіцієнт розподілу інтенсивності зволоження по площі зволоження, який залежить від інтенсивності і тривалості зволоження, 1/(м год);

$\Im$ – кількість опадів, що просочились у ґрунт робочого шару, м.

Враховуючи (1) і те, що $\partial T/\partial t = 0$, було отримане вихідне рівняння математичної моделі:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = D\frac{\partial^2 W}{\partial z^2} + f(t), \tag{2}$$

де W – вологість ґрунту, долі одиниць;

t – час, год;

D – коефіцієнт дифузії капілярної вологи, м^2/год;

z – глибина (змінна координата), м.

При дії атмосферних опадів має місце інфільтраційний водно-тепловий режим. При цьому режимі для високих насипів можна виділити дві розрахункові схеми, які обумовлюють різні початкові і граничні умови рівняння (2).

Перша схема передбачає відсутність дорожнього одягу або коли він водопроникний, а також вона буде правомірною для тільки що зведених дорожніх насипів, насипів залізниць, узбіч чи укосів насипів і виїмок, які знаходяться в експлуатації.

Розглядаючи граничну задачу, коли вологість поверхневого шару земляного полотна після проходження дощу наближається до вологості повного вологонасичення ($W_{пв}$), можна виділити два розрахункові випадки. Перший – коли утворюється тимчасова калюжа і є застій води, а також при довгих затяжних дощах, тоді вологість поверхневого шару досягає $W'_{пв} = 0{,}9\ W_{пв}$.

Дослідженнями L. Rehati [4] було встановлено, що коефіцієнт водонасичення ґрунту не перевищує значення 0,9 із-за наявності в його порах повітря. Другий – у всіх інших випадках, і тоді $W'_{пв} = (0{,}65–0{,}85)\ W_{пв}$. На підставі досліджень, автором встановлено, що значення цього коефіцієнта залежать від виду ґрунту і інтенсивності опадів.

Виходячи з припущення, що вологість в межах робочого шару змінюється незначно і дорівнює деякій початковій вологості W_0 (вплив ґрунтових вод не враховується, так як насип високий) сформульовані початкові і граничні умови:

$$W(z, 0) = W_0\ ;\ W(0, t) = W'_{пв}\ ,\ W(\lambda, t) = W_0, \qquad (3)$$

де λ – глибини інфільтрації опадів, тобто глибина до граничного значення якої дія опадів впливає на вологість ґрунтів.

Друга схема передбачає присутність водотривкого дорожнього одягу, що веде до деякої зміни граничних умов, а саме під дорожнім одягом:

$$W(0, t) = W_0 + m_D\, t, \qquad (4)$$

де m_D – коефіцієнт, що дорівнює горизонтальній складовій дифузивності.

Щоб розв'язати рівняння (2) з врахуванням (3) або (4) необхідно спочатку визначити глибину інфільтрації вологи опадів. Для цього приймали наступні припущення, які, як правило, роблять при розв'язанні такого класу задач:

1. Насип розглядали як напівпростір, тобто z змінюється по глибині безмежно, $0 < z < \infty$.

2. У початковий період часу, у насипу (у межах робочого шару) розподіл вологи по глибині постійний і дорівнює W_0 , $W(z, 0) = W_0$.

3. Після закінчення опадів вологість верхнього шару земляного полотна: $W(0, t) = 0{,}9\ W_{пв} = W'_{пв}$.

4. При визначенні кінцевої глибини інфільтрації опадів, тобто коли процес умовно завершився, приймають в рівнянні (2) $f(t)$ = const.

У результаті розв'язання рівняння (2) було отримане рівняння для знаходження глибини інфільтрації:

$$W(z,t) = W'_{пв} + (W_0 - W'_{пв}) \cdot \left[erf\left(\frac{z}{2\sqrt{Dt}} \right) \right] - f(t)t. \qquad (5)$$

Оскільки рівняння (5) містить z в неявному вигляді, то для його знаходження необхідно використати припущення про однаковий розподіл вологи з глибиною і метод послідовного наближення. Так як в рівнянні (5) всі члени, крім z, відомі сталі величини, то послідовно збільшуючи z від 0 до λ знаходимо таке його значення, при якому ліва і права частини (4) одинакові і рівні W_0. Отримана величина z і буде шуканою глибиною інфільтрації атмосферних опадів. Правомірність цих тверджень підтвердили проведені експерименти.

Отримавши λ, були розраховані формули розподілу вологості ґрунту для I і II схем.

Результатом досліджень є математична модель розподілу вологості ґрунтів робочого шару високих насипів автомобільних доріг з врахуванням інфільтрації вологи атмосферних опадів:

$$\left.\begin{aligned}
&i_{пр.р} = \varphi(S,t);\\
&f(t) = \psi(t,\beta,i_{пр.р,}Q,E);\\
&W(z,t) = W_{ПВ} + A\left[erf\left(\frac{z}{2\sqrt{Dt}}\right)\right] - f(t)t;\\
&W(z,t) = W_{ПВ} + \frac{A\,z}{\lambda} + \frac{2\,A}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty} B\,C + f(t)\,L\sum_{n=1}^{\infty} N\,C\\
&W(z,t) = W_0 + m_D t\left(1-\frac{z}{\lambda}\right) - \frac{2\,m_D t}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty} BC + f(t)L\sum_{n=1}^{\infty} N\,C\\
&A = (W_0 - W_{ПВ}), \quad B = sin\left(\frac{n\pi z}{\lambda}\right);\\
&C = \frac{2\lambda^2}{D\pi^3}, \quad L = n^{-1}\,exp\left(-\frac{Dn^2\pi^2}{\lambda^2}t\right);\\
&N = n^{-3}\left((-1)^n - 1\right)\cdot\left[exp\left(-\frac{Dn^2\pi^2}{\lambda^2}t\right) - 1\right].
\end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

де S – середня висота шару опадів, мм;

Q – стік, мм;

E – випаровування, мм.

Висновки

Розроблена математична модель розподілу вологості ґрунтів робочого шару високих насипів автомобільних доріг від дії атмосферних опадів на основі методу розрахунку вологонакопичення в капілярно-пористих середовищах за допомогою заміни коефіцієнта вологопровідності коефіцієнтом дифузії ґрунтової вологи, який відображає здатність ґрунтів до інфільтрації.

Запропоновано метод реалізації даної математичної моделі, який дав можливість отримати розрахункову залежність для визначення глибини інфільтрації вологи дощів.

Експериментальні дослідження розподілу вологості в ґрунтах від дії вологи дощів, разом з теорією планування експерименту, дозволили провести оцінку відповідності результатів теоретичних розрахунків з даними експерименту. Ці співставлення підтвердили адекватність розробленої математичної моделі і показали придатність запропонованих методів дослідження для розв'язування наукових та інженерних задач.

Література

1. Каськів В.І. Удосконалення показників робочої зони високих насипів з врахуванням інфільтрації атмосферних опадів : дис... канд. техн. наук : 05.22.11 / Каськів Володимир Іванович. – К., 1998. – 147 с.
2. Перевозников Б. Ф. Расчеты максимального стока при проектировании дорожних сооружений. – М. : Транспорт, 1975. – 304 с.
3. Рувинский В.И. Прогнозирование водно-теплового режима автомобільних дорог для обоснования специальних методов его регулирования в районах с сезонним промерзанием : дис... д-ра техн. наук : 05.23.14. – М., 1987. – 490 с.
4. Rehati L. Ground Water In Civil Engineering. – Amsterdam-Oxford-New York : Elselvier Scintific Publishing Company, 1983. – 478 p.

Рецензенти:
Кузло М.Т., д-р техн. наук, Національний університет водного господарства та природокористування.
Балашова Ю.Б., канд. техн. наук, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури.

Reviewers:
Kuzlo M.T., Dr. Tech. Sci., National University of Water and Environmental Engineering.
Balashova Yu.B., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture.

Стаття надійшла до редакції: **21.03.2017 р**.

УДК 528.912: 372.862

Мусієнко І.В., канд. техн. наук

ФОРМУВАННЯ НАВИЧОК ЧИТАННЯ РЕЛЬЄФУ МІСЦЕВОСТІ ЗА ТОПОГРАФІЧНИМИ КАРТАМИ

Анотація. У статті основну увагу приділено формуванню навичок читання рельєфу місцевості по топографічних картах і планах в електронному або паперовому вигляді.
Об'єкт дослідження - топографічна карта (план).
Мета роботи - з обширного курсу топографії та геоморфології виділити, структурувати і сформувати знання, по вмінню уявного перетворення 2D інформації на топографічній карті (плані) в 3D інформацію для вирішення практичних інженерних задач в будівництві.
У статті зроблена спроба з'єднання деяких законів геоморфології з топографією. Геоморфологічні особливості екзогенного флювіального рельєфу переведені в закономірності змін кривизни горизонталей. Це зроблено з метою вдосконалення навичок читання рельєфу місцевості по горизонталях. Для повноти інформації структуровані знання з топографії за ознакою формування навички читання рельєфу місцевості за такими розділами: 1) перетин горизонталей; 2) умовні знаки, пов'язані з рельєфом місцевості; 3) масштаб; 4) елементи рельєфу.
В якості практичної реалізації отриманих знань запропоновано алгоритм оконтурювання площі водозбірного басейну з метою проектування водопропускної споруди через автомобільну або залізну дорогу.
Ключові слова:. топографія, геоморфологія, рельеф, горизонталь, читання рельєфу, топографічна карта, топографічний план

УДК 528.912: 372.862

Мусиенко И.В., канд. техн. наук

ФОРМИРОВАНИЕ НАВЫКОВ ЧТЕНИЯ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ ПО ТОПОГРАФИЧЕСКИМ КАРТАМ

Аннотация. В статье сделан упор на формирование навыка чтения рельефа местности по топографическим картам и планам в электронном или бумажном исполнении.
Объект исследования – топографическая карта (план).

Цель работы – из общирного курса топографии и геоморфологии выделить, структурировать и сформировать знания, относящиеся к умению мысленного преобразования 2D информации на топографической карте (плане) в 3D информацию для решения практических инженерных задач в строительстве.

В статье сделана попытка соединения некоторых законов геоморфологии с топографией. Геоморфологические особенности экзогенного флювиального рельефа переведены в закономерности изменений кривизны горизонталей. Это сделано с целью совершенствования навыка чтения рельефа местности по горизонталям. Для полноты информации структурированы знания из топографии по признаку формирования навыка чтения рельефа местности по следующим разделам: 1) сечение горизонталей; 2) условные знаки, связанные с рельефом местности; 3) масштаб; 4) элементы рельефа.

В качестве практической реализации полученных знаний предложен алгоритм оконтуривания площади водосборного бассейна с целью проектирования водопропускного сооружения через автомобильную или железную дорогу.

Ключевые слова: топография, геоморфология, рельеф, горизонталь, чтение рельефа, топографическая карта, топографический план

UDC 528.912: 372.862

Musiienko I.V., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.)

CREATION OF READING SKILLS OF TERRAIN RELIEF FROM TOPOGRAPHIC MAPS

Abstract. The article emphasizes the creation of reading skills of terrain relief from electronic or paper topographic maps (plans).

Object of the study – topographic map (plan).

The purpose of the study – to allocate (with structuring and forming) the knowledges from the topography and geomorphology course. These knowledges must create skills of transformation in the mind of 2D information on a topographic map (plan) into 3D information for solving practical engineering problems in building.

The attempts to combine some laws of geomorphology with topography are considered in the article. The geomorphological features of the exogenous fluvial relief are translated into contour line curvature changes regularities. It is done to improve the relief reading skill by contour line. Knowledges from topography is structured by relief reading skill attribute in the following sections: 1) cross-section of contours; 2) conventional signs associated with relief; 3) scale; 4) relief elements.

As a practical implementation catchment basin delineating algorithm is proposed for culvert through the road or railway designing.

Keywords: topography, geomorphology, relief, contour line, relief reading, topographic map, topographic plan

Не смотря на широкое использование компьютерных технологий в строительстве, применения цифровых моделей рельефа и местности, работе в системах автоматизированного проектирования, строитель-проектировщик (особенно линейных сооружений) обязан уметь «читать» топографические карты и планы. Для «чтения» условных знаков, представляющих ситуацию местности, необходимо просто знать справочную информацию. Для «чтения» условных знаков, представляющих рельеф местности, нужен уже целый навык, который вырабатывается в течение продолжительного времени.

Чтение рельефа местности заключается в переведении плоского изображения горизонталей на карте в мысленное объёмное изображение. Чтение рельефа местности, в частности, заключается в определении уклона местности. Для строителя-проектировщика особенно важно понимать, в каком направлении на местности будет течь ливневая или талая вода в любой области топографической карты (плана), поскольку ряд практических задач построено на этом представлении (например, задача определения площади водосборного бассейна).

В современных изданиях по геодезии и топографии нет упора на формирование навыка чтения рельефа местности, присутствуют лишь общие схемы сечений горизонталей [1-4].

Для чтения рельефа необходимо знать:

1) сечение горизонталей;

2) условные знаки, связанные с рельефом местности;

3) масштаб;

4) элементы рельефа;

5) закономерности смены форм рельефа в пространстве.

Сечение горизонталей показывает превышение одной горизонтали над другой горизонталью (соседней). На топографических картах сечение горизонталей изображается в средине карты внизу за пределами рамки карты надписью: «Сплошные горизонтали проведены через N метров» (рисунок 1).



Рисунок 1 – Пример центральной нижней позарамочной надписи топографической карты

Условных знаков, относящихся к рельефу местности несколько десятков. Среди них много редко встречаемых (например, условный знак №337 «Кратеры грязевых вулканов и сопок» или условный знак №361 «Заструги» [5]), поэтому они представляют собой лишь справочную информацию. Однако есть ключевые условные знаки, знание которых необходимо для чтения рельефа местности.

Атомарным элементом рельефа является горизонталь, т.е. кривая линия, соединяющая точки одинаковой абсолютной высоты. Для чтения рельефа важно отличать три основных вида горизонталей: основные (рисунок 2, а), утолщённые (рисунок 2, б) и дополнительные или половинные (рисунок 2, в).



Рисунок 2 – Основные виды горизонталей

Утолщённые горизонтали (рисунок 2, б) отсчитывают через пятикратный интервал основного сечения, а половинные (рисунок 2, в) – через половину высоты основного сечения.

Основной элемент, имеющий практическую значимость для проектировщика-строителя, имеет условный знак – «берг штрих» (рисунок 3) – короткий отрезок, идущий от горизонтали в сторону склона. Общее правило идентификации направления движения воды по склону – перпендикулярность горизонталям.



Рисунок 3 – Основные виды горизонталей

Численный масштаб изображается в центральной нижней позарамочнай надписи топографической карты (рисунок 1). Знание масштаба необходимо для идентификации крутизны склонов. Заложение горизонталей - расстояние между двумя соседними горизонталями, которое зависит от высоты сечения горизонталей и крутизны склона. Измерение этого расстояния позволяет определить крутизну склона.

Элементов рельефа много (как и условных знаков, относящихся к рельефу), но следует выделить главные: холм-котловина, хребет-лощина, седловина. В холме (котловине), как правило, самое малое замкнутое кольцо имеет берг штрих, показывающий направление движения воды (рисунок 4).



Рисунок 4 – Основные элементы рельефа: холм и котловина

Отметка высоты – это тоже характеристика для чтения рельефа местности (рисунок 5). Через этот условный знак можно рассчитать высоту ближайшей горизонтали, зная сечение горизонталей. Например, на рисунке 5 а) первая замкнутая горизонталь холма при сечении горизонталей 2.5 м будет равна 160 м, а на рисунке 5 б) будет равна 162.5 м.



Рисунок 5 – Отметки высот на примере холма и котловины

Хребет (рисунок 6, а) и лощина (рисунок 6, б) как холм с котловиной два противоположных элемента рельефа. Данные элементы рельефа не всегда

представлены бергштрихами. Об идентификации этих элементов без бергштрихов речь пойдёт дальше.



Рисунок 6 – Основные элементы рельефа: хребет-лощина

Выделяют также такой элемент рельефа, как седловина (рисунок 7). Две возвышенности, расположенные близко друг к другу действительно напоминают форму седла. Идентификация седловины на топографической карте сразу помогает разобраться с направлением движения ливневых и талых вод.

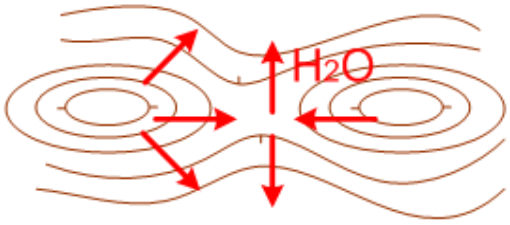


Рисунок 7 – Основные элементы рельефа: седловина

Часто встречаются склоны, на которых тяжело определить движение водотока. В таких случаях помогает определение направления подписи горизонталей. Цифра подписи горизонтали указывает направление склона сверху вниз относительно расположения этой цифры (рисунок 6, а). Например, если цифра подписи горизонтали перевёрнута, то направление склона будет идти сверху цифры вниз (рисунок 6, б).

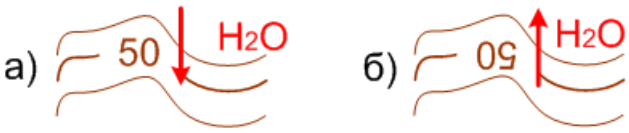


Рисунок 8 – Подписи горизонталей

Наличие вблизи исследуемого места водотоков, лощин, рек, озёр, болот и т.д. показывает низкие места по отношению к прилегающей территории, поэтому определяет направление склона вблизи этих мест (на рисунке 9 направление уклона показано стрелкой).

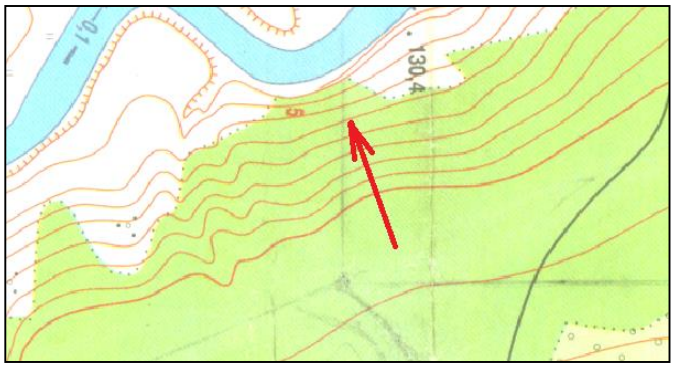


Рисунок 9 – Пример склона к реке

Крутизну откосов характеризует уклон – отношение превышения к заложению (в прямоугольном треугольнике – отношения вертикального катета к горизонтальному). Динамику изменения уклона характеризует расположение горизонталей друг к другу, чем они расположены ближе друг к другу, тем уклон местности больше (рисунок 10).

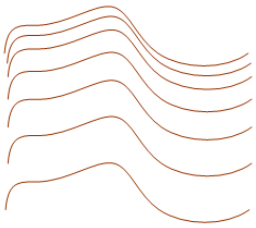


Рисунок 10 – Пример склона с переменным уклоном

Закономерности смены форм рельефа в пространстве базируются на основе экзогенных процессов на поверхности Земли: действием осадков, действием ветра, действием как поверхностных, так и подземных вод, выветриванием и др. процессами, ведущими к нижнему денудационному уровню (базису эрозии) [6]. Выделим лишь две закономерности флювиального (от лат. fluvius – река, поток) рельефа.

1. Закономерность очерёдности лощин и хребтов (рисунок 11).

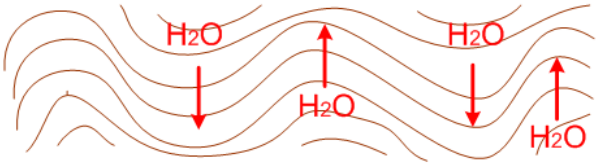


Рисунок 11 – Пример очерёдности лощин и хребтов

При наличии волнистого рисунка горизонталей (рисунок 9) вершины волн, направленные в одну сторону, будут одним элементом рельефа (либо лощиной, либо хребтом), и наоборот, вершины волн, направленные в другую сторону, будут противоположным элементом рельефа. Это правило прочтения рельефа можно ещё назвать правилом буквы S: если один изгиб лощина, то противоположный изгиб – хребет, и наоборот. По закономерности очерёдности лощин и хребтов необходимо идентифицировать лишь один элемент рельефа для того, чтобы определить все соседние элементы рельефа.

2. Закономерность разности форм лощины и хребта. В условиях степной и лесо-степной зон нашей страны, если один из смежных элементов рельефа имеет более крутой склон, то с большой степенью вероятности это будет лощина (рисунок 12). Это связанно с экзогенными процессами Земли.

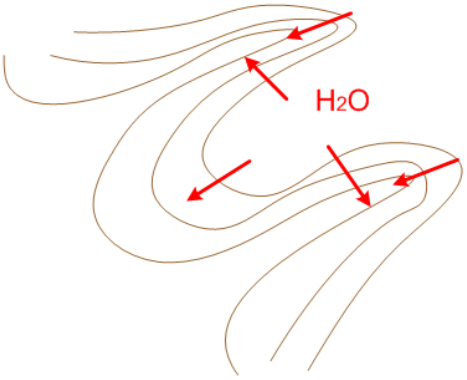


Рисунок 12 – Пример идентификации лощин по крутизне склонов

На основании изложенных знаний об изображении рельефа местности на топографических картах можно более успешно формировать навык чтения рельефа, выстраивать алгоритмы решения практических задач.

Алгоритм оконтуривания площади водосборного бассейна с целью проектирования водопропускного сооружения через автомобильную или железную дорогу:

а) находим пикетажное положение водопропускного сооружения (самое низкое место на рассматриваемом участке по чёрному профилю или разрезу);

б) находим полупространство с которого к насыпи автомобильной или железной дороги притекает вода (для этого необходимо определить направление уклона вдоль линии лога);

в) слева и справа от места расположения трубы находим границы водораздела, используя закон очерёдности лощин и хребтов, соединяем точки на границе водораздела в местах наименьшего радиуса горизонтали;

г) соединяем границы водораздела на вершинах холмов (рисунок 13).

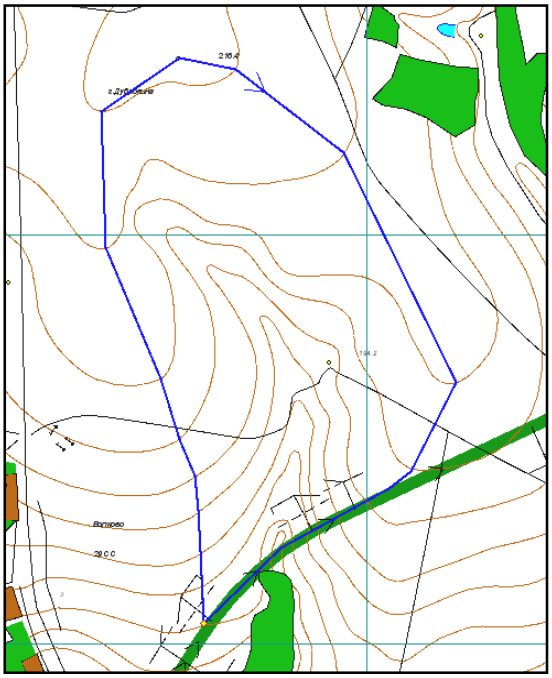


Рисунок 13 – Пример оконтуривания площади водосборного бассейна в САПР АД CREDO III

Вышеприведенный пример подчёркивает современность исследуемой проблемы, которая актуальна, не смотря на использование при решении прикладных задач современных САПР АД.

Дан блок знаний из области топографии и инженерной геоморфологии, предназначенный для формирования навыка чтения рельефа местности по топографическим (электронным) картам с целью решения прикладных задач в строительстве. Данный блок структурирован по пяти подблокам: 1) сечение горизонталей; 2) условные знаки, связанные с рельефом местности; 3) масштаб; 4) элементы рельефа; 5) закономерности смены форм рельефа в пространстве. Для целости восприятия рассмотрены общеизвестные разделы топографии рельефа. Вместе с тем даны и новые знания, связанные с геоморфологией Земли

в виде закономерностей смены форм флювиального рельефа в пространстве. В качестве практической реализации полученных знаний предложен алгоритм оконтуривания площади водосборного бассейна с целью проектирования водопропускного сооружения через автомобильную или железную дорогу.

Література

1. Courses handbook 2017 SPAT4004 (v.2) Applied Geodetic Surveying. http://handbook.curtin.edu.au/units/31/318280.html. Ссылка действительна на 1.03.2017 г.

2. Атрошко, Е.К. Курс инженерной геодезии: учеб.-метод. пособие для студентов строительных специальностей БелГУТа. В 2 ч. Ч. I / Е. К. Атрошко, М. М. Иванова, В. Б. Марендич ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 140 с.

3. Федотов, Г.А. Инженерная геодезия: Учебник/Г.А. Федотов. – 2-е изд., исправл. – М.: Высш. шк., 2004. – 463 с.

4. Инженерная геодезия и геоинформатика: Учебник для вузов / Под ред. С.И. Матвеева. – М.: Академический Проект; Фонд «Мир», 2012. – 484 с.

5. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. – М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2004. – 286 с.

6. Макарова Н.В., Суханова Т.В. Геоморфология: учебное пособие / Н.В. Макарова, Т.В. Суханова; отв. ред. В.И. Макаров, Н.В. Короновский. – 2-е изд. – М.: КДУ, 2009. – 414 с.

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

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

Стаття надійшла до редакції: **21.02.2017 р**.

УДК 625.7/.8

Смірнова Н.В., д-р техн. наук, **Павленко Н.В.**, канд. техн. наук

ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ ТА РОЗРАХУНКОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ В ЗАДАЧАХ ОБГРУНТУВАННЯ КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ

Анотація. У статті розглянуто процедуру оцінку вихідних даних для розробки техніко-економічних обґрунтувань капітального ремонту на прикладі автомобільної дороги державного значення. Визначено перспективну інтенсивність руху.
Ключові слова: автомобільна дорога, перспективна інтенсивність руху, транспортний потік.

УДК 625.7/.8

Смирнова Н.В., д-р техн. наук, **Павленко Н.В**., канд. техн. наук

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ И РАСЧЕТНОЙ НАГРУЗКИ В ЗАДАЧАХ ОБОСНОВАНИЯ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА

Аннотация. В статье рассмотрена процедура оценки исходных данных для разработки технико-экономических обоснований капитального ремонта на примере автомобильной дороги государственного значения. Определена перспективная интенсивность движения.
Ключевые слова: автомобильная дорога, перспективная интенсивность движения, транспортный поток.

UDC 625.7/.8

Smirnova N.V., Dr. Tech. Sci., **Pavlenko N.V.,** Cand. Eng. Sci. (Ph.D.)

IDENTIFYING PROMISING AND ESTIMATED TRAFFIC LOAD IN CAPITAL REPAIR PROBLEMS RATIONALE

Abstract. In the article by looking assessment of baseline data for the development of feasibility studies for major repairs on the example of the road of national importance. Identifying the perspective traffic intensity.
Keywords: road, perspective traffic intensity, traffic flow.

Вступ

Підвищення технічного рівня існуючих доріг входить до числа пріоритетних напрямів розвитку дорожньої галузі України. Якість проектів ремонту та реконструкції на багато років визначає основні транспортно-експлуатаційні якості автомобільної дороги. Одна з трудомістких і основних задач у цих проектах – це визначення перспективної інтенсивності руху транспортних потоків між кореспондуючими пунктами.

Середньорічне підвищення рівня інтенсивності дорожнього руху на основних автомобільних дорогах країни останнім часом становить до 20 відсотків. У складі транспортних потоків зростає частка великовагових та великогабаритних транспортних засобів, що призводить до швидкого руйнування автомобільних доріг та мостів, які розраховані на значно менші обсяги навантаження.

Основна частина

Автомобільна дорога розподіляється на контрольовані ділянки, на кожній з яких визначають місцезнаходження облікового пункту.

При розташуванні облікового пункту враховано наступне:

– відсутність наземного пішохідного переходу;

– наявність приміщення для ведення обліку та встановлення необхідної апаратури. При відсутності приміщення користуються тимчасовими пунктами обліку руху [5].

Проведено спостереження та представлена схема розподілу інтенсивності руху на з’їздах близ Олександрівки.

Склад руху і коефіцієнти приведення транспортних засобів до легкового автомобіля при проектуванні автомобільних доріг слід визначати згідно таблиці 1.2 ДБН В.2.3-4 -2015 [1].

Для визначення існуючої пропускної здатності автомобільних доріг загального користування застосовувались «Методичні рекомендації з визначення існуючої та прогнозування перспективної інтенсивності руху» МР А.2.1.-218- 02070915-729-2008 [4] та «Методика визначення завантаженості та пропускної здатності автомобільних доріг» М 218-02070915-674:2010 [2].

При проведенні оперативного обліку в статичних умовах підраховані транспортні засоби в обох напрямках руху. Швидкість автомобіля, з якого проводиться облік руху по можливості, дорівнювала середній швидкості руху зустрічного транспортного потоку згідно з ПОР-218-141-2000 «Порядок обліку руху транспортних засобів на автомобільних дорогах загального користування» [5].

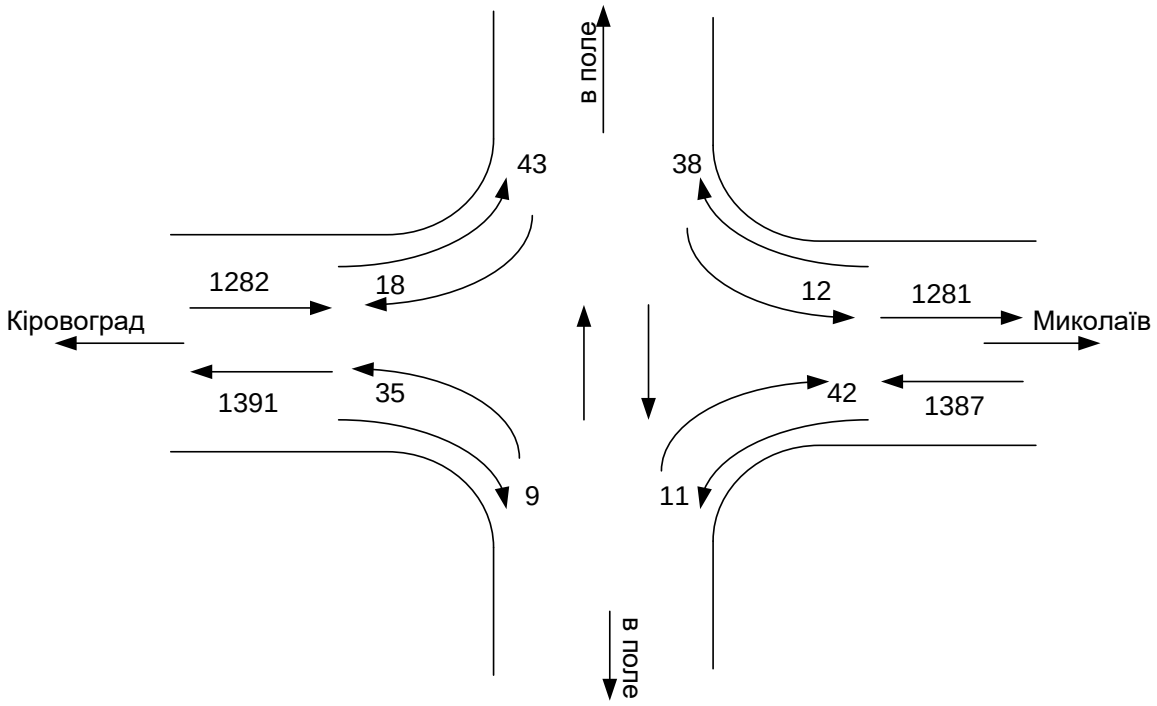


Рисунок 1 – Картограма інтенсивності руху розподілу по напрямах

Таблиця 1 – Місця виміру інтенсивності руху автотранспорту на автомобільній дорозі Н-14 Олександрівка - Кіровоград - Миколаїв

№ п/п	Назва автомобільної дороги	Умовний км
1	Н-14 Олександрівка - Кіровоград - Миколаїв	М
2	Н-14 Олександрівка - Кіровоград - Миколаїв	N

Після визначення годинної інтенсивності руху, за допомогою відповідних поправочних коефіцієнтів визначено добову, добову середньотижневу, добову середньомісячну та добову середньорічну інтенсивність руху.

Зведені дані оперативного обліку руху на ділянках автомобільних доріг Н-14 Олександрівка - Кировоград - Миколаїв з урахуванням поправочних коефіцієнтів відповідно з картки форми Ів, наведено у таблиці 2.

Згідно з чинною методикою оцінки вихідних даних для розробки техніко-економічних обґрунтувань будівництва та реконструкції автомобільних доріг М 218-02070915-458:2006 [3] при розрахунках економічної ефективності будівництва чи реконструкції автомобільних доріг слід дотримуватись народногосподарського підходу.

Таблиця 2 – Зведена відомість результатів визначення середньорічної добової інтенсивності руху дорожніх транспортних засобів на основних перегонах автомобільної дороги державного значення в межах Миколаївської області

Індекс дороги	Місце визначення інтенсивності руху, ум. км	Середньорічна добова інтенсивність за типами транспортних засобів										Разом
		Легкові	Мікро-автобуси	Автобуси середні	Автобуси важкі	Вантажні легкі	Вантажні середні	Вантажні важкі	Автопоїзди		Мотоцикли та інші ТЗ	
									Тягачі з напівпричепом	Тягачі з причепом		
A	B	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	R
H14	M	1524	20	32	23	181	301	211	166	120	90	2668
H14	N	2126	11	9	12	287	748	541	128	207	16	4085

Згідно [3] основним показником при проектуванні доріг, що визначає категорію дороги, вимоги до її геометричних параметрів, транспортно-експлуатаційних характеристик, і облаштуванню дороги спорудами дорожнього сервісу, є перспективна інтенсивність руху. За основну розрахункову приймають середньорічну добову інтенсивність руху на останній рік розрахункового періоду.

Також, основним показником, що визначає технічні параметри автомобільної дороги, що будується, є інтенсивність руху автомобілів, розрахована на три контрольних терміни: звітний рік, 10- та 20-річні перспективи з встановленням сезонної та добової нерівномірності [3].

В умовах ринкової економіки визначення розрахункової інтенсивності руху на основі виявлених в процесі економічних вишукувань обсягів перевезень вантажів та пасажирів неможливе через об’єктивні причини, головними з яких є конфіденційність інформації, велика кількість малих підприємств, трудомісткість роботи та мала вірогідність отримуваних відомостей. З урахуванням вказаних причин для визначення фактичної інтенсивності руху в доповнення до даних обліку, проведено детальне обстеження інтенсивності руху на ділянці дороги, що проектується.

Згідно методичних рекомендацій з визначення існуючої та прогнозування перспективної інтенсивності руху МР А.2.1-218-02070915-729:2008 [4] на

даному етапі виконано визначення існуючої та прогнозування перспективної інтенсивності руху.

Середньорічна добова інтенсивність руху автомобільної дороги державного значення Н-14 Олександрівка – Кіровоград – Миколаїв, км М – км N у Миколаївській області встановлена на основі аналізу ряду попередніх років, перспективних прогнозів, а також експертних оцінок.

Прогнозування інтенсивності руху транспортних потоків є типовою задачею проектування та експлуатації автомобільних доріг. Прогнозування базується на даних обліку середніх значень добової інтенсивності. При розробці техніко-економічних обґрунтувань реконструкції або капітального ремонту окремих ділянок автомобільних доріг пропонується використовувати метод прогнозування інтенсивності руху – метод екстраполяції. При наявності даних багаторічного обліку руху прогнозування інтенсивності руху автомобілів рекомендується здійснювати на основі математичної екстраполяції з використанням рівнянь функцій різного виду [4].

Типову залежність зміни в часі інтенсивності руху прийнято у вигляді геометричної прогресії:

$$N_t = N_0\left(1+\frac{p}{100}\right)^t, \qquad (1)$$

де N_t – інтенсивність в рік t, авт/добу,

N_0 – інтенсивність в початковий рік обліку (t = 0), авт/добу,

p – темп зростання інтенсивності руху, середній за час обліку, %,

t – перспективний період, років.

Згідно чинних [4] середньорічний приріст інтенсивності руху слід приймати на основі аналізу змін інтенсивності руху за даними обліку руху.

Згідно чинних [4] при розрахунках існуючої інтенсивності руху показники рівня насичення відповідними типами автотранспортних засобів слід встановлювати на основі даних статистичного обліку або матеріалів ДІБДР МВС України.

Для складання системи рівнянь мінімізації відхилень даних обліку інтенсивності від теоретичної залежності криволінійну залежність (1) перетворено в прямолінійну логарифмуванням та складено систему рівнянь мінімізації відхилень даних обліку інтенсивності за теоретичною залежністю:

$$\begin{cases} Bma+bA=C, \\ Da+Ab=D, \end{cases} \quad (2)$$

де $m = n - 1$, $A=\sum_{t=0}^{m} t$, $B=\sum_{t=0}^{m} \lg N_t$, $C=\sum_{t=0}^{m} t^2$, $D=\sum_{t=0}^{m} t \cdot \lg N_t$,

n - кількість років обліку інтенсивності руху.

Аналіз оцінки похибки показав, що прогнозована інтенсивність руху на даній ділянці знаходиться в межах довіри до прогнозу з заданою довірчою вірогідністю.

При прогнозуванні інтенсивності руху на 10-річну перспективу рівень насичення легковими автомобілями рекомендується збільшувати в 1,4 – 1,6 рази, а вантажними автомобілями в 1,3 – 1,5 рази, при прогнозуванні на 20-річну перспективу в 2,0 – 2,4 рази та в 1,6 – 1,8 рази відповідно. При прогнозуванні інтенсивності руху на інші перспективні періоди ці показники рекомендується приймати виходячи з наведених даних шляхом інтерполяції та екстраполяції [4].

Таблиця 3 – Дані обліку і розрахунок інтенсивності, км М

Номер року	Роки	Інтенсивність N_t, авт/добу	t_i	lg N_t	t^2	$t_i \cdot \lg N_t$
0	2017	2668	0	7,889084	0	0
10	2027	2987	10	8,002025	100	80,02025
20	2037	3356	20	8,118505	400	162,3701
21	2038	3396	21	8,130354	441	170,7374

Таблиця 4 – Дані обліку і розрахунок інтенсивності, км N

Номер року	Роки	Інтенсивність N_t, авт/добу	t_i	lg N_t	t^2	$t_i \cdot \lg N_t$
0	2017	4085	0	8,315077	0	0
10	2027	4565	10	8,426174	100	84,26174
20	2037	5102	20	8,537388	400	170,7478
21	2038	5162	21	8,549079	441	179,5307

Згідно [1] (Додаток Е) розрахунок перспективної інтенсивності руху виконано з урахування норм строків експлуатації дорожніх одягів між капітальними ремонтами.

Висновки

1. На основі аналізу техніко-економічного обґрунтування щодо перспективної інтенсивності руху для подальших розрахунків дорожнього одягу капітального типу згідно ДБН прийнято групу розрахункового навантаження $А_1$ з параметрами: розрахункове навантаження на найбільш завантажену вісь

130 кН, нормативне статичне навантаження на поверхню покриття від колеса розрахункового автомобіля – 65 кН, тиск повітря в шині – 0,9 МПа, діаметр відбитка колеса – 0,303 м, діаметр відбитка колеса рухомого автомобіля – 0,346 м.

2. На основі проведених обчислень та аналізу даних згідно чинних ДБН обґрунтовано, що норми строків експлуатації дорожніх одягів для нежорсткого дорожнього одягу складають 14 років, та для жорсткого дорожнього одягу (цементобетон) 21 рік відповідно.

3. Аналіз результатів визначення середньорічної добової інтенсивності руху дорожніх транспортних засобів на основних перегонах автомобільної дороги державного значення Н-14 Олександрівка – Кіровоград – Миколаїв в межах Миколаївської області показав, що кількість великих вантажних автомобілів та автопоїздів (від 20 до 60 т) в потоці на підходах до міста Миколаїв складає більш 21,4%, на підходах до міста Олександрівка понад 15,6 %.

4. Згідно ДБН п.4.3.4 «…для автомобільних доріг, на яких у складі транспортних потоків очікується понад 15 % великовантажних транспортних засобів, параметри навантаження від яких перевищують розрахункові параметри навантаження згідно 4.3.2 (зерновозів, контейнеровозів, рефрижераторів тощо) за навантаження від розрахункового автомобіля призначають навантаження від найважчого транспортного засобу, систематична експлуатація якого прогнозується на даному об’єкті, і на таких дорогах необхідно передбачати лише жорсткий дорожній одяг».

Література

1. ДБН В.2.3-4-2015 Автомобільні дороги.
2. М 218-02070915-674:2010 «Методика визначення завантаженості та пропускної здатності автомобільних доріг».
3. М 218-02070915-458:2006 «Методика оцінки вихідних даних для розробки техніко-економічних обґрунтувань будівництва та реконструкції автомобільних доріг».
4. МР А.2.1.-218- 02070915-729-2008 «Методичні рекомендації з визначення існуючої та прогнозування перспективної інтенсивності руху».
5. ПОР-218-141-2000 «Порядок обліку руху транспортних засобів на автомобільних дорогах загального користування».

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

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

Стаття надійшла до редакції: **11.03.2017 р**.

УДК 625.745

Ткачук С.Г., д-р техн. наук

ТЕОРЕТИЧНА ФОРМУЛА ГРАНИЧНОЇ ГЛИБИНИ МІСЦЕВОГО РОЗМИВУ БІЛЯ МОСТОВИХ ОПОР В ЗВ'ЯЗНИХ ГРУНТАХ

Анотація. На підставі аналізу вад існуючих формул місцевого розмиву у зв'язних грунтах, пропонується теоретична залежність для визначення граничної глибини вирви біля мостових опор. В її основу покладена гіпотеза, що вся питома на одиницю об'єму потоку енергія витрачається на роботу по руйнуванню і виносу одиниці об'єму зв'язних наносів з вирви місцевого розмиву.

Ключові слова: місцевий розмив, гранична глибина вирви, зв'язні наноси, місцевий розмив.

УДК 625.745

Ткачук С.Г., д-р техн. наук

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФОРМУЛА ПРЕДЕЛЬНОЙ ГЛУБИНЫ МЕСТНОГО РАЗМЫВА У МОСТОВЫХ ОПОР В СВЯЗНЫХ ГРУНТАХ

Аннотация. На основании анализа недостатков существующих формул местного размыва в связных грунтах, предлагается теоретическая зависимость для определения предельной глубины воронки у мостовых опор. В ней используется гипотеза, что вся удельная на единицу оъёма потока энергия расходуется на работу по разрушению и выносу единицы объёма связных наносов из воронки местного размыва.

Ключевые слова: местный размыв, предельная глубина воронки, связные наносы, местный размыв.

UDC 625.745

Tkachuk S. H., Dr. Tech. Sci.

THE THEORETICAL FORMULA FOR THE LIMITING DEPTH LOCAL EROSION AT BRIDGE PIERS IN COHESIVE SOILS

Abstract. Based on the analysis of drawbacks of existing formulas of local scour in cohesive soils, a theoretical dependence for determining the maximum depth of a crater near the piers. It uses the hypothesis that all the specific per unit flux station energy is spent for work on the destruction and removal of unit volume of cohesive sediment out of local erosion crater.

Keywords: local scour, the maximum depth of the crater, cohesive sediments, local scour.

Проблема розмивів на мостових переходах постала в кінці XIX століття внаслідок бурхливого розвитку залізничного транспорту. За більш ніж столітній період була розроблена і реалізована на практиці теорія загального розмиву, але визначення глибини місцевого розмиву біля опор на фундаментах у зв'язних грунтах так і залишилась на рівні емпіричних (теоретико-емпіричних) залежностей. Серед них насамперед треба згадати теоретико-емпіричну формулу І.А.Ярославцева [1], яка, незважаючи на свою недосконаліть, 20 років застосовувалась в проектуванні мостових переходів:

$$h_{м.р} = K_{\phi} K_{v} \left(a + K_{H} \frac{V^2}{g} - 30 d_{85} \right), \qquad (1)$$

де K_{ϕ} – коефіцієнт форми опори, що дорівнює для круглого її перерізу 10,0, а для прямокутного – 12,4; K_V = f (V^2/gb) і K_H = f (H/b) – коефіцієнти швидкості і глибини потоку; a = 0,6 – 1,0 – стала, що характеризує форму епюри швидкостей в руслі і на заплавах; V – середня швидкість потоку; $V_{о.зв}$- нерозмиваюча швидкість для зв'язного грунту; g – прискорення вільного падіння. Згідно формули (1) глибина вирви місцевого розмиву зменшується із збільшенням глибини потоку, що суперечить спостереженням і фізиці процесу. Через це при

виведенні спрощеного варіанту формули (1) приймалося, що для великих глибин потоку (принаймні 15 – 20 м) коефіцієнт глибини K_H = 0,05, а + K_H = 0,65, а коефіцієнт швидкості на підставі експериментальних досліджень І.А.Ярославцева

$$K_V = 0{,}58\left(\frac{V^2}{gb}\right)^{-0{,}1}.$$

Тоді глибина вирви місцевого розмиву

$$h_{м.р} = 3{,}8\,K_\phi\left(\frac{V^2}{g}\right)^{0{,}9} b^{0{,}1} - 6\frac{V_{0,зв}^2}{g} \qquad (2)$$

Формула (2) не покращує отриману раніше формулу (1), тому що поширює і на малі глибини потоку значення коефіцієнту K_H, обчисленого для великих глибин, чим робить ще більшим розходження розрахункових глибин розмиву з фактичними глибинами вирви в напрямку їх зменшення.

І.А.Ярославцев загалом правильно пояснює причини місцевого розмиву. Він має рацію, коли стверджує, що надлишковий тиск від набігаючого на опору потоку трансформується в спадні струмини, які біля дна утворюють комірцевоподібні вихори, що і розмивають дно біля опори. Цілком справедливо втрата енергії в такій спотвореній течії приймається пропорційною глибині вирви розмиву. Але в його розрахунковій формулі (1) ці втрати енергії для незв’язних наносів залежать лише від розмірів алювію, хоча у відповідності із законами механіки зміна енергії дорівнює роботі задіяних в процесі сил.

У формулі (3) для зв’язних грунтів відсутня їх визначальна характеристика коефіцієнт зчеплення $C_{зч}$, який замінюється нерозмиваючою швидкістю $V_{0\ зв}$, отриманою для рівномірного потоку, що дуже відрізняється від вихрового руху у вирві місцевого розмиву.

В.С.Муромов [2] для визначення місцевого розмиву у зв’язних грунтах запропонував формулу

$$h = h_0\left(2\frac{V}{V_{0,зв}} - 1\right)^{0{,}75} K_\phi K_\alpha, \qquad (3)$$

в якій нерозмиваюча швидкість $V_{о.зв}$ обчислюється за переробленою формулою Ц.Є.Мірцхулави [3]

$$V_{0,зв} = \frac{0,4}{\varepsilon}(3,34 + lg\,H)\sqrt{0,15 + C_p}, \quad (4)$$

де ε – коефіцієнт зменшення нерозмиваючої швидкості; $C_р$ – розрахункове зчеплення в грунті, що в цій формулі має розмірність 10^4 Па; $K_ф$ і $K_α$ – коефіцієнти форми опори і косини набігання потоку; h_0 – гранична глибина місцевого розмиву біля циліндричної опори в незв'язному грунті при $V = V_0$, що подається залежністю

$$h_0 = \frac{6,2\beta_1 H}{\left(\frac{V_0}{w}\right)^{\beta_1}}, \quad (5)$$

де H – глибина потоку; $\beta_1 = 0,18(b/H)^{0,87}$; V_0 – нерозмиваюча швидкість за формулою Б.І.Студенічнікова:

$$V_0 = 3,6\sqrt[4]{Hd}, \quad (6)$$

в якій d – середній діаметр наносів, м; w – гідравлічна крупність, що у формулі (5) приймається для еквівалентного по розмиває мості незв'язного грунту, середній діаметр якого (в метрах) знаходиться з формули (6)

$$d_e = \frac{V_0^4}{168H} \quad (7)$$

Застосування еквівалентного діаметру суперечить лабораторним дослідженням Ц.Є.Мірцхулави, який експериментально довів, що розмір відокремлюваних частинок зв'язного грунту не може перевищувати 4 мм, а за методом В.С.Муромова можна отримати частинки розміром в декілька десятків міліметрів.

М.М.Журавльов рекомендує при визначенні місцевих розмивів у зв'язних грунтах використовувати отримані ним формули для незв'язних наносів [4], в яких донна каламутнююча швидкість для зв'язних грунтів виводиться з умови пропорційності нерозмиваючим швидкостям. Так, для донної каламутнюючої швидкості

$$V_{дк.зв} = V_{дк}\frac{V_{0,зв}}{V_0} \quad (8)$$

де $V_{дк.\ зв}$ і $V_{дк.}$ – донні каламутнюючі швидкості у зв'язних і незв'язних грунтах; $V_{0.\ зв}$ і V_0 – нерозмиваючі швидкості у зв'язних і незв'язних грунтах, причому остання без пояснень записується у вигляді

$$V_0 = 1.15\sqrt[4]{Hd},$$

що суперечить формулі Б.І.Студенічнікова (6). Враховуючи за даними Ц.Є.Мірцхулави, що середній діаметр відокремлених частинок зв'язного грунту дорівнює 4 мм, для яких гідравлічна крупність становить w = 0,22 м/с, М.М.Журавльов виводить середню каламутнюючу швидкість

$$V_{к.зв} = 2{,}03H^{0{,}14}V_{0.зв}, \qquad (9)$$

яка і підставляється до формул

$$h = 1{,}1\sqrt{bH}\left(\frac{V}{V_{к.\ зв}}\right)^n K_Ф K_\alpha \qquad \text{при } V > V_0, \qquad (10)$$

$$h = 1{,}1b^{0{,}6}H^{0{,}4}\left(\frac{V}{V_{к.\ зв}}\right)^n K_ф K_\alpha \qquad \text{при } V \geq V_0\,. \qquad (11)$$

Показник степені n = 1при відношенні швидкостей > 1 і n = 2/3 при відношенні швидкостей ≤ 1.

Розглянутим методам визначення місцевого розмиву властива одна спільна вада – стабілізація глибини вирви пояснюється досягненням на її дні нерозмиваючої швидкості, в основі якої закладається формула Б.І.Студенічнікова (6), що є справедливою для рівномірних потоків в руслах з незв'язними наносами.

Процес руйнування зв'язних грунтів досліджувався в роботах І.І.Леві [5] і Ц.Є.Мірцхулави [4], але місцевий розмив зв'язних грунтів біля мостових опор залишився поза їх увагою.

Процес місцевого розмиву в околі мостових опор є результатом активної взаємодії трьох агентів: потоку, опори та розмивного дна. Цей нестаціонарний в реальному часі процес має складну трьохвимірну структуру і розгортається на тлі загального розмиву та природного руслового процесу. Крім того, формування вирви місцевого розмиву в часовому мікромасштабі виявляє явно випадкову природу, принаймні, через анізотропну турбулентність потоку, що обтікає опору,

та випадковість гідрологічних характеристик паводків і повеней. З огляду на ці об'єктивні складнощі, створення більш-менш адекватної математичної моделі місцевого розмиву досі не реалізовано. Тому в теоретичному сенсі мова може йти лише про граничну глибину вирви, яка на кожному конкретному мостовому переході досягається за таких гіпотетичних умов:

– пік паводку триває невизначено довго, принаймні, стільки, скільки необхідно для стабілізації розмиву;

– відмітки дна русла за межами вирви не змінюються, тобто загальний розмив і руслові переформування не розглядаються;

– частинки руслового алювію виносяться з вирви місцевого розмиву по найкоротшій вертикальній траєкторії;

– вся питома (на одиницю об'єму) енергія потоку витрачається на роботу по підняттю з вирви до рівня дна недеформованого русла одиниці об'єму наносів;

– втрати енергії річкового потоку в межах вирви місцевого розмиву не враховуються.

Нормування енергії річкового потоку і вирви розмиву по об'єму є наріжним у визначенні граничної глибини, бо дозволяє уникнути необхідності в обчислюванні всього об'єму вирви, контури якої розрахувати досить складно.

Таким чином, енергія на одиницю об'єму водного потоку становить:

$$E_0 = \rho g\left(h + \frac{\alpha V^2}{2g}\right). \qquad (12)$$

Для підняття одиниці об'єму ґрунту на висоту, що дорівнює глибині вирви Δh, необхідно виконати роботу:

$$A = g\left(\rho_S - \rho\right)\Delta h + C_{зч} \qquad (13)$$

де ρ і ρ_s – густина води і наносів; g – прискорення вільного падіння; h – природна глибина руслового потоку при розрахунковому рівні води; V – середня швидкість потоку; Δh – глибина вирви розмиву; α – коректив кінетичної енергії; $C_{зч}$ – питомий коефіцієнт зчеплення, що враховує віднесену до об'єму роботу на руйнування зв'язних наносів, значення якого наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Грунт	Показник текучості	Характеристики	Значення $C_{зч}$, кПа при коефіцієнті пористості e						
			0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Супісок	$0 \le J_L \le 0{,}25$	$C_{зч}$	21	17	15	13	-	-	-
	$0{,}25 < J_L \le 0{,}75$	$C_{зч}$	19	15	13	11	9	-	-
Суглинок	$0 \le J_L \le 0{,}25$	$C_{зч}$	47	37	31	25	22	19	-
	$0{,}25 < J_L \le 0{,}5$	$C_{зч}$	39	34	28	23	18	15	-
	$0{,}5 < J_L \le 0{,}75$	$C_{зч}$	-	-	25	20	16	14	12
Глина	$0 < J_L \le 0{,}25$	$C_{зч}$	-	81	68	54	47	41	36
	$0{,}25 < J_L \le 0{,}5$	$C_{зч}$	-	-	57	50	43	37	32
	$0{,}5 < J_L \le 0{,}75$	$C_{зч}$	-	-	45	41	36	33	29

При досягненні граничної величини місцевого розмиву вся питома енергія потоку (12) витрачається на роботу (13) руйнування та екскавації наносів з вирви. Тому, прирівнявши залежності (12) і (13), матимемо формулу для відносної граничної глибини місцевого розмиву:

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{\rho}{(\rho_s - \rho)}(1 + 0{,}5Fr) - \frac{C_{зч}}{(\rho_s - \rho)gh}, \qquad (14)$$

де $Fr = \alpha V^2/gh$ – число Фруда (параметр кінетичності), яке з фізичної точки зору є відношенням питомих (віднесених до одиниці ваги потоку) подвійної кінетичної енергії до потенціальної.

При спрямуванні числа Фруда до нуля у формулі (14) відносна глибина місцевого розмиву збігає до конечної границі

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{\rho}{\rho_s - \rho} - \frac{C_{зч}}{(\rho_s - \rho)gh},$$

що суперечить фізичному змісту - тому що рівність числа Фруда Fr = 0означає відсутність течії в руслі, а отже відсутність і причини місцевого розмиву. Щоб усунути цю суперечність слід розглянути іншу енергетичну характеристику потоку, що подається відношенням повної питомої (на одиницю ваги) енергії потоку до його питомої кінетичної, яку О.А.Угінчус [6] назвав показником збереження потенціальної енергії τ:

$$\tau = \frac{h + \frac{\alpha V^2}{2g}}{\frac{\alpha V^2}{2g}}. \qquad (15)$$

Між показником збереження потенціальної енергії потоку і числом Фруда існує проста залежність:

$$Fr = \frac{2}{\tau - 1}, \qquad (16)$$

$$Fr = \frac{2}{\tau - 1}, \qquad (16)$$

яка графічно відтворена на рис. 1



Рисунок 1 – Залежність числа Фруда від τ

Графік функції (16) на рис. 1 свідчить, про практичну незалежність показника збереження потенціальної енергії потоку від числа Фруда, якщо його значення $Fr \leq 0{,}01$, що дозволяє в діапазоні чисел Фруда від 0 до 0,01 величину τ вважати сталою, рівною τ = 200.

Послуговуючись величиною τ, формула (14) перетворюється на:

$$\eta_{\Gamma} = \frac{\Delta h}{h} = \frac{\rho}{\rho_s - \rho}\tau\frac{Fr}{2} - \frac{C_{зч}}{(\rho_s - \rho)gh}. \qquad (17)$$

В останню формулу при числах Фруда $Fr \leq 0{,}01$ треба підставляти τ = 200, при $Fr > 0{,}01$ величина τ обчислюється за формулою (16), переписаною в такий спосіб:

$$\tau = \frac{Fr + 2}{Fr}. \qquad (18)$$

При Fr = 0 відносна глибина вирви у формулі (17) дорівнює від'ємній величині

$$\eta_{\text{г}} = -\frac{C_{\text{зч}}}{(\rho_s - \rho)gh},$$

що треба розуміти як відсутність місцевого розмиву. Дійсно, якщо в ній глибину потоку h виразити через число Фруда, то матимемо залежність

$$\eta_{\text{г}} = -\frac{C_{\text{зч}} Fr}{(\rho_s - \rho)V^2},$$

яка при $Fr = 0$ стає математично невизначеною, а у фізичному сенсі неможливою.

У формулах (14) і (17) відсутня ширина лобової грані опори, тому що вони отримані з фізичних величин (енергія і робота) нормованих по об'єму. До того ж, якщо прийняти, що лобова грань опори впливає на місцевий розмив, то це повинна бути не її ширина, а її форма, яка враховується коефіцієнтом форми опори $K_{\text{ф}}$.

Зіставити результати розрахунків за формулою (17) з натурними глибинами вирв місцевого розмиву із кадастру М.М.Журавльова досить не просто через вкрай не точні дані про коефіцієнт зчеплення зв'язних наносів $C_{\text{зч}}$, що залягають в річищі біля опори. Про це пише і сам М.М.Журавльов [4]. Проблема полягає в тому, що зчеплення залежить не тільки від хімічного і гранулометричного складу грунту, але й від показника текучості в природному стані J_L, точно визначити який, дотримуючись обов'язкової процедури підготовки зразків до лабораторного аналізу, дуже важко.

Таким чином, можна зробити такі висновки.

1) Теоретична формула для визначення глибини вирви місцевого розмиву біля мостових опор у зв'язних грунтах (17) є науково обґрунтованою, бо отримана на підставі закону збереження енергії.

2) Для доведення адекватності формули (17) необхідні додаткові натурні дослідження, під час яких величина коефіцієнту зчеплення $C_{\text{зч}}$ визначалась би на місці будь-яким досконалим експрес-методом.

Література

1. Ярославцев И.А. Расчёт местного размыва у мостовых опор. ЦНИИС, Сообщение № 80. – М.: 1956. – 16 с.

2. Технические указания по расчёту местного размыва у опор мостов, струенаправляющих дамб и траверсов. ВСН 62/69 Минтрансстрой. – М.: 1970. – 40 с.

3. Мирцхулава Ц.Е. Размыв русел и методика оценки их устойчивости. – М.: Колос, 1967. – 178 с.

4. Журавльов М.М. Местный размыв у опор мостов. – М.: Транспорт, 1984. – 110 с.

5. Леви И.И. Динамика русловых потоков. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957. – 252 с.

6. Угинчус А.А. Применение показателя сохранения потенциальной энергии потока. – М.-Л.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1951. – 148с.

Рецензенти:
Савенко В.Я., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.
Кузло М.Т., д-р техн. наук, Національний університет водного господарства та природокористування.

Reviewers:
Savenko V,Ya., Dr. Tech. Sci., National Transport University.
Kuzlo M.T., Dr. Tech. Sci., National University of Water and Environmental Engineering.

Стаття надійшла до редакції: **24.03.2017 р**.

УКД 528.14

Ужвиева Е.Н., канд. техн. наук

АНАЛИЗ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ И УРАВНИВАНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ, ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ АНАЛИТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Аннотация. В статье приведен анализ комбинированной обработки и уравнивания геодезических, фотограмметрических измерений аналитическим способом. Рассмотрен нормальный и равномерно отклоненный случай съемки. В качестве геодезической исходной информации используются горизонтальные и вертикальные углы измеренные теодолитом с двух точек базиса фотографирования на множество опорных маркированных точек.
Объект исследования – геодезические и фотограмметрические измерения.
Цель работы – обработка геодезических и фотограмметрических измерений.
Метод исследования – аналитический метод обработки геодезических и фотограмметрических измерений.
Ключевые слова: базис фотографирования, среднеквадратическая ошибка, фотограмметрические измерения, фотограмметрическая модель.

УКД 528.14

Ужвієва О.М., канд. техн. наук

АНАЛІЗ КОМБІНОВАНОЇ ОБРОБКИ ТА УРІВНЮВАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ, ФОТОГРАМЕТРІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ АНАЛІТИЧНИМ СПОСОБОМ

Анотація. У статті наведено аналіз комбінованої обробки і зрівнювання геодезичних, фотограмметричних вимірів аналітичним способом. Розглянуто нормальний і рівномірно відхилений випадок зйомки. В якості геодезичної початкової інформації використовуються горизонтальні і вертикальні кути виміряні теодолітом з двох точок базису фотографування на безліч опорних маркірованих точок.

Об'єкт дослідження - геодезичні і фотограмметричні виміри.
Мета роботи - обробка геодезичних і фотограмметричних вимірів.
Метод дослідження - аналітичний метод обробки геодезичних і фотограмметричних вимірів.
Ключові слова: базис фотографування, помилка середньоквадратична, фотограмметричні виміри, фотограмметрична модель.

UDC 528.14

Uzhviieva O.M., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.)

THE ANALYSIS OF THE COMBINED PROCESSING AND EQUALIZING OF GEODETIC, PHOTOGRAMMETRICHESKY MEASUREMENTS BY ANALYTICAL WAY

Abstract. In article the analysis of the combined processing and equalising geodetic, photogrammetric measurements by analytical way is resulted. The normal and in regular intervals rejected case of shooting is considered. As the geodetic initial information horizontal and vertical corners measured by a theodolite from two points of basis of photographing onset of the basic marked points are used.
Object of the study - geodetic and photogrammetric measurements.
Purpose of the study - processing geodetic and фотограмметрических measurements.
Method of the study - an analytical method of processing geodetic and photogrammetric measurements.
Keywords: basis of photographing, the srednekvadratichesky error, photogrammetrichesky measurements, photogrammetrichesky model.

Точность аналитической обработки стереопар зависит от многих факторов и прежде всего от точности определения геодезических координат опорных точек, а также от их количества и расположения в пределах перекрытия двух снимков.

В прикладной фотограмметрии в основном используется раздельный способ обработки и уравнивания геодезических и фотограмметрических измерений. Конечным результатом обработки геодезических измерений является определение координат опорных точек, которые в дальнейшем

используются как исходные данные для решения различных фотограмметрических задач для определения элементов внешнего ориентирования модели. В настоящее время в области прикладной наземной фотограмметрии широко используются высокоточные съемочные измерительные фотокамеры типа UMK-10/I318, UMK-20/13I8 которые позволяют получать снимки, по точности соизмеримые с точностью геодезических измерений. Поэтому в таких случаях целесообразно использовать способ совместной обработки и уравнивания исходной информации, так как это в конечном итоге позволит повысить точность определения геодезических координат опорных точек и осуществить более объективную оценку точности решения фотограмметрических задач. В статье рассмотрен аналитический способ обработки и уравнивания геодезических и фотограмметрических измерений с оценкой точности полученных результатов. Сущность аналитического способа совместной обработки исходной информации заключается в решении задачи в два этапа, неразрывно связанных между собой [1,2].

На основе измеренных теодолитом горизонтальных и вертикальных углов на каждую опорную точку вычисляются координаты их изображений на так называемых «геодезических снимках», которые позволяют искусственным образом получить «геодезическую стереопару». «Геодезический снимок» представляет собой центральную проекцию опорных точек объекта съемки на сферу единичного радиуса (рис. 1).

На первом этапе выполняется обработка и уравнивание геодезической информации не по обычным геодезическим формулам, а по формулам двойной обратной фотограмметрической засечки, учитывающим проективные свойства связок проектирующих лучей следующим образом.

Координаты точек «геодезического снимка» связаны с измеренными горизонтальными и вертикальными углами направлений по формулам [1-4]

$$x = \cos\beta\cos\nu;\ y = \sin\beta\cos\nu;\ \ z = \sin\nu, \tag{1}$$

где β и ν – соответственно горизонтальный и вертикальный углы, измеренные теодолитом на данную опорную точку;

x, y, z – координаты опорной точки на «геодезическом снимке».

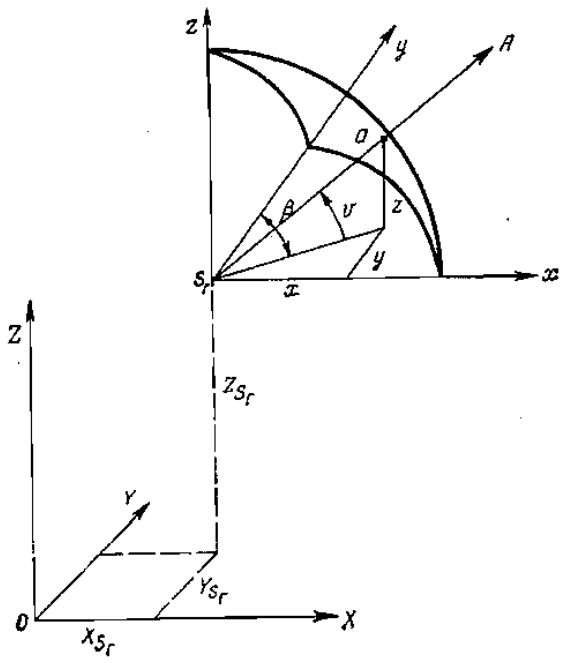


Рисунок 1 – Центральная проекция опорных точек объекта съемки на сферу единичного радиуса

Система координатных осей «геодезического снимка» *Sxyz* определяется ориентацией теодолита. Ось z близка к вертикали, а оси x и y определяются положением шкалы горизонтального круга. Для того чтобы система координат «геодезического снимка» была близка к системе координат фотоснимка нормального случая наземной стереосъемки, необходимо при наведении визирной оси теодолита на другой конец базиса иметь отсчет по горизонтальному кругу 90° и 270° соответственно на левом, и правом концах базиса фотографирования. Все элементы внутреннего ориентирования «геодезического снимка» в этом случае равны нулю. Элементами внешнего ориентирования «геодезического снимка» являются координаты центра проекции (точки S_r) в системе координат объекта (O*XYZ*), и углы α, ω, χ, и последовательных поворотов вокруг осей z, x, y Элементы внешнего ориентирования «геодезического снимка» однозначно определяют положение и ориентацию его координатной системы в системе координат объекта O*XYZ*. В качестве последней можно использовать координатную систему одного из «геодезических снимков» или принять систему координат, связанную с характерными точками, линиями, плоскостями объекта съемки. В первом случае элементы внешнего ориентирования этого снимка становятся равными нулю, что упрощает вычислительный процесс.

Вычисленные по формуле (1) координаты точек «геодезических снимков» сначала используются для определения их элементов взаимного ориентирования, а затем для вычисления координат точек «геодезической модели».

Элементы взаимного ориентирования «геодезических снимков» могут определяться в базисной системе координат или в системе координат левого снимка. В базисной системе координат вычислительный процесс упрощается, и поэтому ее целесообразно использовать в данном случае, т. е. задача решается согласно условию [1]

$$\Phi = Y_1'Z_2' - Z_1' - Y_2'. \tag{2}$$

В функции (2) пространственные координаты точек на левом (X_1', Y_1', Z_1') и правом (X_2', Y_2', Z_2') «геодезических снимках» связаны с соответствующими им плоскими координатами следующими соотношениями

$$\begin{bmatrix} X_1' \\ Y_1' \\ Z_1' \end{bmatrix} = A_{\alpha_1'\chi_1'} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} X_2' \\ Y_2' \\ Z_2' \end{bmatrix} = A_{\alpha_2'\omega_2'\chi_1'} \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} \tag{3}$$

В свою очередь элементы матриц поворота левого $A_{\alpha_1'\chi_1'}$ и правого $A_{\alpha_2'\omega_2'\chi_1'}$ снимков вычисляются по соответствующим угловым приближенным элементам взаимного ориентирования на основе известных формул направляющих косинусов.

Используя выражение (2), можно составить следующее уравнение поправок [5]

$$a\delta\alpha_1' + b\delta\chi_1' + c\delta\alpha_2' + d\delta\omega_2' + f\delta\chi_2' + l = v, \tag{4}$$

где a, b, c, d, f – частные производные от функции (2) по соответствующим переменным $\alpha_1', \chi_1', \alpha_2', \omega_2', \chi_2'$;

$\delta\alpha_1', \delta\chi_1', \delta\alpha_2', \delta\omega_2', \delta\chi_2'$ – поправки к неизвестным элементам взаимного ориентирования;

l – свободный член уравнения поправок, т. е. значение функции (2), определенное по приближенным значениям элементов взаимного ориентирования [4].

Таким образом, одна опорная геодезическая точка позволяет составить одно уравнение поправок вида (4) с 5 неизвестными, поэтому, для того чтобы решить задачу, необходимо пять опорных точек, размещенных по краям «геодезической стереопары». Обычно используется большее количество опорных точек (например, n = 6-18), для них составляют, согласно выражению (4), систему уравнений, которую можно представить в матричном виде как [6]

$$AX + L = V, \tag{5}$$

где

$$A = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & d_1 & f_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & d_2 & f_2 \\ \vdots & & & & \\ a_n & b_n & c_n & d_n & f_n \end{bmatrix}; \; X = \begin{bmatrix} \delta\alpha'_1 \\ \delta\chi'_1 \\ \delta\alpha'_2 \\ \delta\omega'_2 \\ \delta\chi'_2 \end{bmatrix}; L = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ \vdots \\ l_n \end{bmatrix}; \; V = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix}.$$

Определение элементов взаимного ориентирования по способу наименьших квадратов выполняется согласно выражению

$$\Delta X = -\left(A^{\mathrm{T}} P A\right)^{-1} A^{\mathrm{T}} P L. \tag{6}$$

В каждой последующей итерации используются элементы взаимного ориентирования, исправленные за найденные в предыдущей итерации поправки. В результате решения задачи должны быть определены окончательные значения элементов взаимного ориентирования.

В последнем приближении вычисляются квадрат ошибки единицы веса по формуле [6]

$$\mu^2 = \frac{V^{\mathrm{T}} P V}{n - 5}. \tag{7}$$

И дисперсионно-ковариационная матрица элементов взаимного ориентирования по формуле

$$D(\Delta X) = \mu^2 \left(A^{\mathrm{T}} PA\right)^{-1}. \tag{8}$$

Свободные члены в последнем приближении не должны превышать удвоенного значения и ошибки единицы веса μ. Если они превышают 2μ на отдельных точках, то это свидетельствует о недопустимых ошибках в угловых геодезических измерениях на опорные точки. В тех случаях, когда ошибки не удается обнаружить на этих отдельных точках, их исключают из повторных вычислений.

Вычисление координат точек «геодезической модели» осуществляется по формуле

$$R_{\Gamma} = 0{,}5\left(N_1 R_1' + N_2 R_2' + B\right), \tag{9}$$

где B – модуль базиса фотографирования.

При определении координат точек геодезической модели уточняется ее масштаб по измеренным на объекте отрезкам по формулам

$$t_1 = \left|L_i^2\right|\left(\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2 + \Delta Z_i^2\right)^{-1/2}; \qquad \mathrm{I} = \left(\left|L_1\right|t_1 + \left|L_2\right|t_2 + \cdots + \left|L_n\right|t_n + \left|B\right|\right)\frac{I}{\sum_1^n \left|L_i\right| + \left|B\right|}, \tag{10}$$

где t — масштабный коэффициент;

$i = 1, 2, \ldots n$ – номера отрезков;

$\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta Z_i$ – разности координат между концами отрезков;

$\left|L_i\right|$ – модуль отрезка;

$\left|B\right|$ – модуль базиса.

Используя масштабный коэффициент вводят поправки в вычисленные координаты точек геодезической модели по формулам

$$X_{\Gamma} = Xt; Y_{\Gamma} = Yt; Z_{\Gamma} = Zt, \tag{11}$$

где $X_{\Gamma}, Y_{\Gamma}, Z_{\Gamma}$ – координаты геодезической модели, исправленные за масштаб;

X, Y, Z – координаты точек геодезической модели, вычисленные по формуле (9).

На втором этапе производится обработка и уравнивание фотограмметрической исходной информации. При этом измерения фототеодолитных снимков рекомендуется выполнять на автоматизированных прецизионных стереокомпараторах с инструментальными ошибками порядка 0,002 мм. Определение инструментальной точности стереокомпаратора по методике [4] должно предшествовать измерению снимков на приборе.

Стереоскопические измерения опорных маркированных точек, определяемых и связующих точек, а также координатных меток должно осуществляться в два обхода. За окончательные значения измеренных координат принимаются их среднеарифметические значения. Результаты стереоскопических измерений фототеодолитных снимков используются в дальнейшем для решения задач, связанных с внутренним ориентированием снимков, определения элементов взаимного ориентирования снимков, построения фотограмметрической модели и внешнего ориентирования модели.

Внутреннее ориентирование снимков осуществляется по формулам

$$\left.\begin{aligned} x &= MO_x + a_{11}x' + a_{12}z' \\ z &= MO_z + a_{21}x' + a_{22}z' \end{aligned}\right\}, \qquad (12)$$

где x, z – исправленные координаты точек;

x', z' – измеренные на приборе координаты точек снимка;

$a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}$ – коэффициенты аффинного преобразования;

MO_x, MO_z – постоянные величины.

Систему уравнений, составленную для четырех и более измеренных координатных меток, согласно (12), можно представить в матричном виде [4]

$$BX + L = V, \qquad (13)$$

Система уравнений (13) решается аналогичным образом как система уравнений (5) под условием $V^{\mathrm{T}}PV = \min$, т. е.

$$\Delta \mathrm{X} = -\left(B^{\mathrm{T}}PB\right)^{-1} B^{\mathrm{T}}PL, \qquad (14)$$

а ошибка квадрата единицы веса в этом случае будет равна [4-6]

$$\mu^2 = \frac{V^{\mathrm{T}}PV}{2n-6}. \qquad (15)$$

Определение элементов взаимного ориентирования фототеодолитных снимков и вычисление координат точек фотограмметрической модели

осуществляется по аналогичной методике с использованием тех же формул, которые изложены выше для «геодезических снимков», т. е. по формулам (5) и (9).

Внешнее ориентирование фотограмметрической модели производится по опорным точкам, на основе выражений (11) с использованием в этом случае методики и формул, подробно изложенных в [4]. В [4] подробно изложена методика и формулы, по которым осуществляется переход от фотограмметрических координат к геодезическим.

При определении веса P^{Γ} геодезических и веса P^{Φ} фотограмметрических определений координат точек, то можно найти средневесовое значение координат опорных точек и охарактеризовать в отдельности точность определения координат точек геодезической и внешне ориентированной фотограмметрической модели. Для этой цели целесообразно воспользоваться квадратами ошибок единицы веса по способу наименьших квадратов в процессе оценок элементов взаимного ориентирования геодезических и фототеодолитных снимков, а именно [6]

$$P^{\Gamma} = K / \mu^{\Gamma 2};\ P^{\Phi} = K / \mu^{\Phi 2}, \tag{16}$$

где K — коэффициент пропорциональности.

Известно, что в этом случае вес функции можно определить по формуле

$$P^{\Gamma\Phi} = 1 / \mu_z^{\,2}. \tag{17}$$

Использование в (17) μ_i^2 обусловлено тем, что среднеквадратические значения вертикальных параллаксов $q = (z_1 - z_2)$.

Средневесовое значение координат опорных маркированных точек определяется по формулам [4,6]

$$X_c = \frac{X^{\Gamma}P^{\Gamma} + X^{\Phi}P^{\Phi}}{P^{\Gamma} + P^{\Phi}};\ Y_c = \frac{Y^{\Gamma}P^{\Gamma} + Y^{\Phi}P^{\Phi}}{P^{\Gamma} + P^{\Phi}};\ Z_c = \frac{Z^{\Gamma}P^{\Gamma} + Z^{\Phi}P^{\Phi}}{P^{\Gamma} + P^{\Phi}}. \tag{18}$$

Среднеквадратические ошибки координат геодезической модели подсчитываются по формуле

$$m_i^{\Gamma} = \left(\mu_i \mu^{\Gamma}\right) / \left(\mu^{\Gamma 2} + \mu^{\Phi 2}\right)^{1/2}. \tag{19}$$

Среднеквадратические ошибки координат точек фотограмметрической модели подсчитываются по формуле

$$m_i^{\Phi} = \left(\mu_i \mu^{\Gamma}\right) / \left(\mu^{\Gamma 2} + \mu^{\Phi 2}\right)^{1/2}. \quad (20)$$

Среднеквадратическая ошибка координат точек средневесовй модели подсчитывается по формуле

$$m_{i_c} = \left(m_i^{\Gamma 2} + m_i^{\Phi 2}\right)^{1/2} = \frac{m_i^{\Gamma}}{\left(1 + \mu^{\Gamma 2} / \mu^{\Phi 2}\right)^{1/2}}.$$

Анализ теории аналитического способа обработки геодезических и фотограмметрических измерений. Рассмотрен; нормальный и равномерно отклоненный случай съемки. В качестве геодезической исходной информации используются горизонтальные и вертикальные углы измеренные теодолитом с двух точек базиса фотографирования на множество опорных точек.

Обработка снимков выполняется двумя аналитическими способами:

– раздельный способ обработки геодезической и фотограмметрической исходной информации;

– комбинированной обработки геодезических и фотограмметрических измерений.

Литература

1. Лобанов А. Н. Фотограмметрия: Учебник для вузов. 2 е изд., перераб. и доп./ А.Н. Лобанов. – М.: Недра, 1984. – 552 с.

2. Большаков В. Д., Гайдаев П. А. Теория математической обработки геодезических измерений./ В. Д. Большаков, П. А. Гайдаев. –М.: – Недра, – 1977. – 267 с.

3. Киенко Ю. П. Аналитические методы определения координат в наземной стереофотограмметрии / Ю. П. Киенко. – М.: – Недра, – 1972. – 395 с.

4. Назаров А.С. Фотограмметрия: учеб. пособие для студентов вузов / А.С. Назаров. – Мн.: ТетраСистемс, 2006. – 368 с.

5. Машимов М. М. Уравнивание геодезических сетей.— М.: Недра, 1989. – 267 с.

6. Яковлев Н. В. Высшая геодезия: Учебник для вузов / Н.В. Яковлев. – М.: Недра, 1989.– 445 с.

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

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

Стаття надійшла до редакції: **06.03.2017 р**.

ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

УДК 625.7/.8:658.562

Батракова А.Г., д-р техн. наук, **Процюк В.О.**

ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПОЛЬОВОГО ГЕОРАДАРУ

Анотація. У статті запропоновано рішення задачі визначення вологості ґрунту земляного полотна із застосуванням польового георадара, обґрунтовано модель, що визначає зв'язок вологості з діелектричною проникністю ґрунту.
Ключові слова: діелектрична проникність, вологість ґрунту земляного полотна.

УДК 625.7/.8:658.562

Батракова А.Г., д-р техн. наук, **Процюк В.А.**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛЕВОГО ГЕОРАДАРУ

Аннотация. В статье предложено решение задачи определения влажности грунта земляного полотна с применением полевого георадара, обоснована модель, определяющая связь влажности с диэлектрической проницаемостью грунта.
Ключевые слова: диэлектрическая проницаемость, влажность грунта земляного полотна.

UDC 625.7/.8:658.562

Batrakova A. H., Dr. Tech. Sci., **Protsiuk B. A.**

DETERMINATION OF MOISTURE CONTENT OF THE SOIL SUBGRADE WITH THE USE OF FIELD GPR

Abstract. The paper proposes solution of the problem of the soil moisture content evaluation of a roadbed with the use of a field GPR. A model that determines the

relationship between moisture and the dielectric permittivity of the soil is proved.
Keywords: the dielectric permittivity, soil moisture.

Вступ

Для конструювання та розрахунку дорожнього одягу, здійснення заходів з ремонту та експлуатаційного утримання необхідна інформація щодо зміни вологості ґрунту земляного полотна у річному циклі. Технологія інженерно-вишукувальних робіт передбачає одноразове визначення вологості ґрунту. Разом з тим, фактична вологість ґрунту в процесі експлуатації автомобільної дороги досить часто значно відрізняється від значень, що зафіксовані під час інженерно-геологічних вишукувань [1]. Розрахунки [2] доводять, що збільшення вологості лише на 4 % для супіщаних ґрунтів й на 6 % для суглинистих ґрунтів і глин призводить до зменшення модуля пружності ґрунту на 23 МПа – 44 МПа відповідно та, як наслідок, до зменшення загального еквівалентного модуля пружності конструкції дорожнього одягу з капітальним типом покриття до 14 %, а для дорожнього одягу з покриттям перехідного типу – майже вдвічі. Таким чином, обмежена інформація про вологість ґрунту земляного полотна призводить до зниження експлуатаційної надійності дорожнього одягу, збільшення витрат на підтримання його нормативного транспортно-експлуатаційного стану протягом терміну служби [3]. З іншого боку, на даний час існує ефективний інструмент одержання інформації про будову конструкції дорожнього одягу та її параметри – георадар. Він дозволяє здійснювати лінійний моніторинг стану шарів покриття, основи й ґрунтів.

Постановка задачі та методи вирішення

Оцінку вологості ґрунту із застосуванням польового георадару пропонується виконувати у такій спосіб [4]:

а) використовувати рішення задачі товщинометрії конструктивних шарів дорожнього одягу, засноване на розрахунку коефіцієнтів відбиття і коефіцієнтів проходження електромагнітних хвиль через досліджувану конструкцію [4];

б) оцінювати діелектричну проникність (ε) на межі «конструкція дорожнього одягу – ґрунт земляного полотна» [4];

в) оцінювати вологість підстильного ґрунту на межі «конструкція дорожнього одягу – ґрунт земляного полотна», використовуючи зв'язок:

$$\varepsilon = f(W, \rho, \Gamma, B), \quad (1)$$

де W – об'ємна (вагова) вологість ґрунту, %;

ρ – щільність ґрунту, кг/м^3;

Γ – гранулометричний склад ґрунту;

B – вид ґрунту (супісок, суглинок, глина).

При оцінюванні вологості ґрунту необхідно вирішити зворотну задачу – за відомою функцією відгуку – діелектричною проникністю (ε), відновити значення вологості (W) за апріорно відомими параметрами ґрунту, що не змінюються в процесі експлуатації (вид ґрунту та його гранулометричний склад). Відомо, що діелектричні властивості ґрунтів визначаються діелектричними властивостями компонент, що входять до його складу. Для обґрунтування моделі діелектричних властивостей ґрунтів, розглянемо діелектричні властивості компонент ґрунту як чотирифазної системи, яку складають частинки мінерального скелета ґрунту, вільна вода, зв'язна вода та повітря. Згідно з [5] дійсна частина діелектричної проникності таких породоутворюючих мінералів як кварц, польові шпати, монтморилоніт, каолініт в діапазоні частот від 1 ГГц до 50 ГГц має величину близько 3,6 [6, 7], а уявна частина в цьому ж діапазоні від 0,05 до 0,25 [7, 8]. Через значні експериментальні труднощі діелектричні властивості зв'язаної води досліджено недостатньо [9, 10]. Згідно з [9, 11] ці властивості визначаються властивостями поверхні, з якою взаємодіє вода, і ступенем зв'язку води з цією поверхнею. Якщо для вільної води діелектрична проникність дорівнює 81, то для зв'язаної води – від 3 до 40 в залежності від товщини водяної плівки [12].

Модель Шмугге враховує наявність як вільної, так й зв'язаної води [13]. При цьому перша з них має табличне значення діелектричної проникності (81), а друга – істотно менше значення, яке знаходиться в межах значень діелектричної проникності льоду і води. Відповідно до цієї моделі, комплексна діелектрична проникність ґрунту визначається [5, 14]:

а) при виконанні умови $W \le W_t$ – вільна вода відсутня:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{гр} &= W\varepsilon_{зв} + (P\text{-}W)\varepsilon_a + (1-P)\varepsilon_м, \\ \varepsilon_{зв} &= \varepsilon_л + (\varepsilon_в - \varepsilon_л) \times \frac{W}{W_t} \times \gamma; \end{aligned} \quad (2)$$

б) при виконанні умови: $W > W_t$ – за наявності вільної води:

$$\varepsilon_{гр} = W_t\varepsilon_{зв} + \varepsilon_в(W - W_t) + (P\text{-}W)\varepsilon_а + (1-P)\varepsilon_м;$$

$$\varepsilon_{зв} = \varepsilon_л + (\varepsilon_в - \varepsilon_л)\times\gamma\ , \qquad (3)$$

де W – об'ємна вологість ґрунту, частки од.;

W_t – об'ємна перехідна вологість, частки од. Під перехідною вологістю ґрунту (W_t) розуміється граничне значення вологості, за якого в ґрунті присутня тільки зв'язана вода, що утримується силами міжмолекулярної взаємодії;

$\varepsilon_{гр}, \varepsilon_{зв}, \varepsilon_в, \varepsilon_м, \varepsilon_а, \varepsilon_л$ – діелектрична проникність ґрунту, зв'язаної води, вільної води, мінеральної частини ґрунту, повітря і льоду відповідно;

P – пористість ґрунту, частки од.;

γ – параметр, що характеризує гранулометричний склад ґрунту.

Перехідна вологість (W_t) і параметр (γ) визначаються [14]:

$$W_t = 0{,}49\times V + 0{,}165; \qquad \gamma = -0{,}57\times V + 0{,}481, \qquad (4)$$

де V – визначається з співвідношення [14]:

$$V = 0{,}06774 - 0{,}00064\times SAND + 0{,}00478\times CLAY\ , \qquad (5)$$

де $SAND, CLAY$ – вагові частки гранулометричних фракцій ґрунту (пісчані та глинисті відповідно). До піщаної фракції автори роботи [227] відносять частки ґрунту діаметром $d_{SAND} > 0{,}005$ см, до глинистої фракції – $d_{\text{CLAY}} < 0{,}0002$ см.

Перевагою даної моделі є можливість врахування щільності і гранулометричного складу ґрунтів під час оцінки діелектричної проникності ґрунту. Як відзначають автори роботи [15], модель може бути використана в алгоритмах обробки даних радіолокаційного і радіометричного зондування ґрунтового покриву для ε' в діапазоні частот від 0,3 ГГц до 1,4 ГГц, для ґрунтів, вміст глинистої фракції в яких не перевищує 34 %.

З другого боку, модель Бірчака для багатокомпонентних середовищ може бути представлена для ґрунтів, до складу яких входить мінеральна частина ґрунту, вільна вода, зв'язана вода і повітря, у вигляді [16]:

$$\varepsilon_{гр}^{\alpha} = V_м\times\varepsilon_м^{\alpha} + V_а\times\varepsilon_а^{\alpha} + V_{зв}\times\varepsilon_{зв}^{\alpha} + V_в\times\varepsilon_в^{\alpha}, \qquad (6)$$

де $V_м, V_а, V_{зв}, V_в$ – об'ємна частка мінеральної частини ґрунту, повітря,

зв'язаної і вільної води відповідно, частки од.

α – експериментально підібраний параметр [17], приймається α=0,5.

Прийнявши об'ємну частку зв'язаної води рівною ваговій перехідній вологості ($V_{зв} = W_t$), об'ємну частку вільної води ($V_в = W - W_t$) та виразивши об'ємні частки мінеральної частини ґрунту і повітря через пористість ґрунту ($P = 1 - \frac{P_{сгр}}{P_м}$) отримаємо:

а) без урахування зв'язаної води:

$$\sqrt{\varepsilon_{гр}} = W \times (\sqrt{\varepsilon_в} - 1) + \frac{P_{сг}}{P_м} \times (\sqrt{\varepsilon_м} - 1) + 1; \quad (7)$$

б) з урахуванням зв'язаної води:

1) для $W \le W_t$ – вільна вода відсутня:

$$\sqrt{\varepsilon_{гр}} = W \times (\sqrt{\varepsilon_{зв}} - 1) + \frac{P_{сг}}{P_м} \times (\sqrt{\varepsilon_м} - 1) + 1; \quad (8)$$

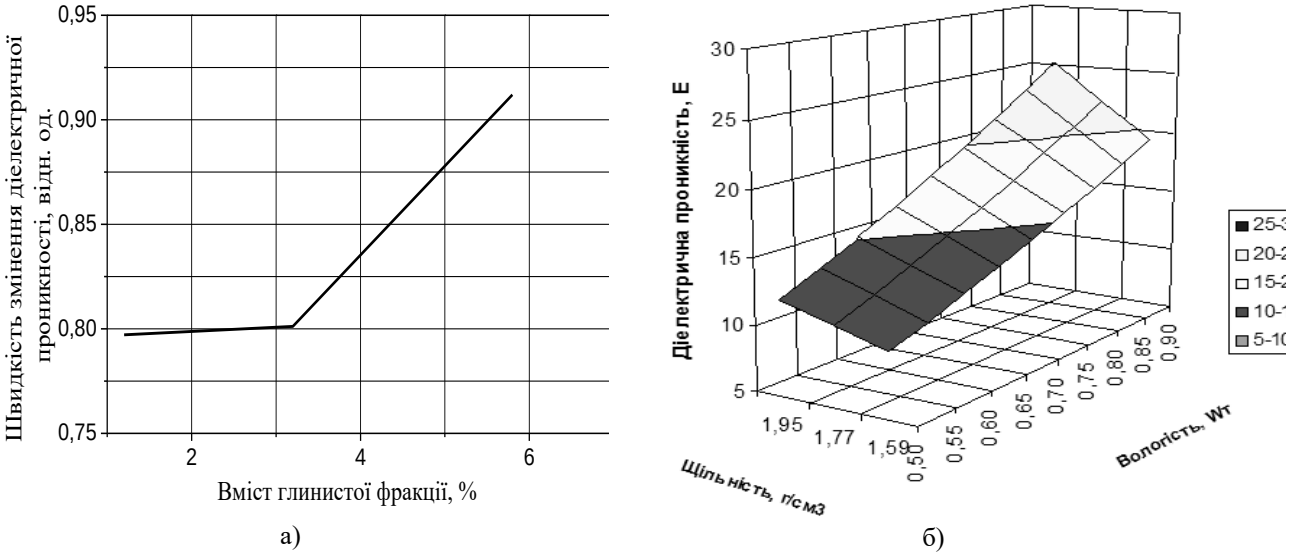
2) для $W > W_t$ – за наявності вільної води:

$$\sqrt{\varepsilon_{гр}} = W \times (\sqrt{\varepsilon_в} - 1) - W_t \times (\sqrt{\varepsilon_в} - \sqrt{\varepsilon_{зв}}) + \frac{P_{сг}}{P_м} \times (\sqrt{\varepsilon_м} - 1) + 1. \quad (9)$$

Рішення (7-9) узгоджується з результатами досліджень, наведених в роботах [18, 19] та дозволяє встановити значення діелектричної проникності ґрунту в залежності від його гранулометричного складу, та об’ємної вологості.

Аналіз моделі доводить, що зі збільшенням вмісту глинистої фракції збільшується діелектрична проникність ґрунту. При цьому швидкість зростання діелектричної проникності ($\Delta\varepsilon/\Delta W$) має нелінійний характер та збільшується зі збільшенням вмісту глинистої фракції (рис. 1). Вклад щільності ґрунту у величину діелектричної проникності (у реальному діапазоні значень щільності ґрунту у земляному полотні) становить від 3 % до 10 %, зменшуючись зі зменшенням об’ємної вологості ґрунту, тоді як збільшення вологості призводить до зростання діелектричної проникності понад 200 % (рис. 1).

Результати проведеного аналізу не суперечать загально прийнятим уявленням щодо впливу вологості на діелектричну проникність ґрунту та використовуються в алгоритмі визначення фізико-механічних характеристик ґрунту земляного полотна за результатами георадарного зондування.



а) б)

а) вплив вмісту глинистої фракції ґрунту на швидкість зростання діелектричної проникності при збільшенні частки об'ємної вологості ґрунту;
б) зв'язок діелектричної проникності з щільністю та вологістю ґрунту. Ґрунт – супісок

Рисунок 1 – Аналіз узагальненої моделі діелектричних властивостей ґрунту

Для перевірки адекватності теоретичної моделі діелектричних властивостей ґрунту були використані результати лабораторних вимірювань вологості ґрунту за допомогою георадару «ОДЯГ-1» з центральною частотою антен 1,2 ГГц. В процесі лабораторних вимірювань визначалася діелектрична проникність ґрунтів з різною вологістю (рис.2).

Результати зіставлялися з розрахунковими значеннями діелектричної проникності (2.26-2.28). Перехідна вологість визначена за (2.13) в залежності від гранулометричного складу ґрунту, діелектрична проникність вільної води – за (2.11), (2.12). Діелектрична проникність основних породоутворюючих мінералів коливається від 3-4 до 10-12 (для кварцу від 4,3 до 5,6, для польових шпатів від 4,5 до 7,2, для слюди від 5,4 до 11,5 [6]). Щільність мінеральних частинок ґрунту коливається в незначних межах, тому для розрахунків прийнято: для супіску 2,65 г/см^3, для суглинків – 2,70 г/см^3, для глин – 2,75 г/см^3 [20].

Коефіцієнт кореляції між теоретичною залежністю та експериментальними даними становить: для супіску R=0,976; для суглинку R =0,91; для глини R=0,97. Даний зв'язок характеризується як тісний, тобто теоретична модель адекватна експериментальним даним та може використовуватися при оцінюванні вологості ґрунтів земляного полотна за результатами георадарного зондування.

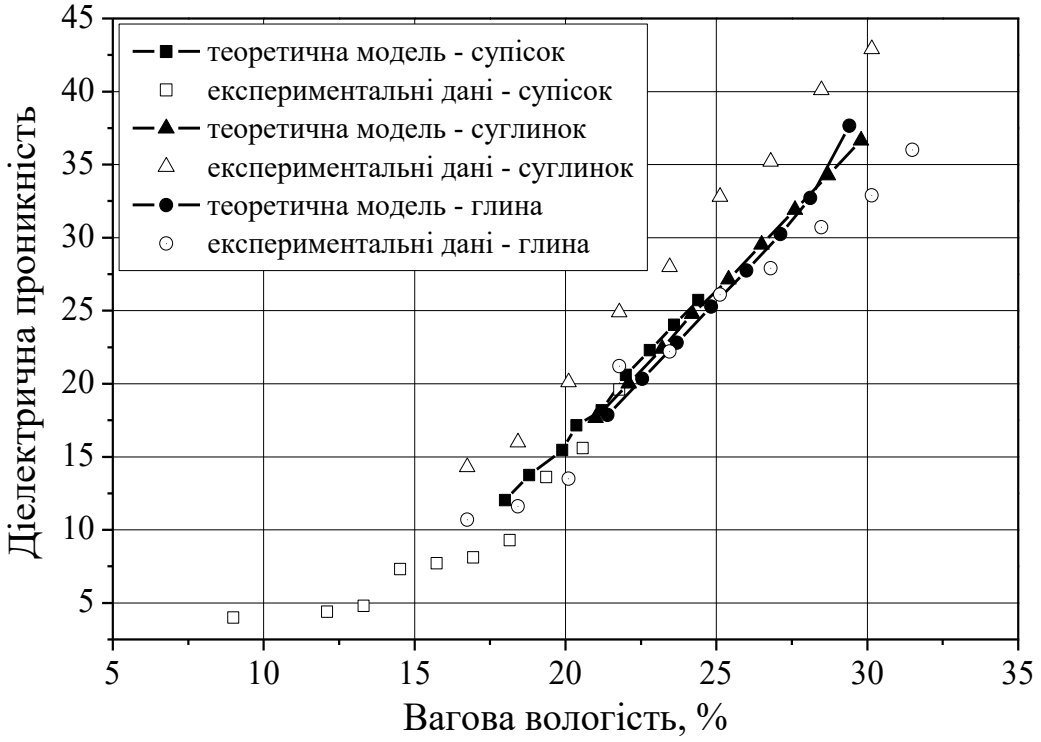


Рисунок 2 – Зв'язок діелектричної проникності з ваговою вологістю ґрунтів

Для оцінки вологості ґрунту земляного полотна за результатами георадарного зондування, припускаючи, що діелектрична проникність ґрунту визначена [4], скористуємося (7-9), виразивши об'ємну вологість:

а) для $W \le W_t$ – вільна вода відсутня:

$$W = \frac{\left(\sqrt{\varepsilon_{гр}} - \sqrt{\varepsilon_{м}}\right)}{\left(\sqrt{\varepsilon_{в}} - 1\right)} + P \times \frac{\left(\sqrt{\varepsilon_{м}} - 1\right)}{\left(\sqrt{\varepsilon_{в}} - 1\right)} = \frac{\left(\sqrt{\varepsilon_{гр}} - 1\right)}{\left(\sqrt{\varepsilon_{в}} - 1\right)} - \frac{P_{сг}}{P_{м}} \times \frac{\left(\sqrt{\varepsilon_{м}} - 1\right)}{\left(\sqrt{\varepsilon_{в}} - 1\right)}; \quad (10)$$

б) для $W > W_t$ – за наявності вільної води:

$$W = \frac{\left(\sqrt{\varepsilon_{гр}} - \sqrt{\varepsilon_{м}}\right)}{(\sqrt{\varepsilon_{в}} - 1)} + W_t \times \frac{(\sqrt{\varepsilon_{в}} - \sqrt{\varepsilon_{зв}})}{(\sqrt{\varepsilon_{в}} - 1)} + P \times \frac{\left(\sqrt{\varepsilon_{м}} - 1\right)}{(\sqrt{\varepsilon_{в}} - 1)} =$$
$$= \frac{\left(\sqrt{\varepsilon_{гр}} - 1\right)}{(\sqrt{\varepsilon_{в}} - 1)} + W_t \times \frac{(\sqrt{\varepsilon_{в}} - \sqrt{\varepsilon_{зв}})}{(\sqrt{\varepsilon_{в}} - 1)} - \frac{P_{сг}}{P_{м}} \times \frac{\left(\sqrt{\varepsilon_{м}} - 1\right)}{(\sqrt{\varepsilon_{в}} - 1)}. \quad (11)$$

Тоді алгоритм оцінки вологості ґрунту земляного полотна за величиною діелектричної проникності містить в собі основні етапи:

а) визначення діелектричної проникності ґрунту за результатами георадарного зондування [4];

б) розрахунок основних параметрів узагальненої моделі діелектричних властивостей ґрунту (4-5);

в) оцінка вологості ґрунтів за (10-11).

Висновки

Перевагою узагальненої моделі діелектричних властивостей ґрунту, що поєднує модель Шмугге та модель Бірчака для багатокомпонентних середовищ, є можливість врахування вільної та зв'язаної води, щільності і гранулометричного складу ґрунтів для оцінки діелектричної проникності. Рішення оцінки вологості ґрунтів земляного полотна за допомогою польового георадару спирається на метод пошарового перерахування тимчасових затримок і амплітуд сигналів, відбитих від границь шарів конструкції, у значення товщини конструктивних шарів і їх ефективної діелектричної проникності та узагальнену модель діелектричних властивостей ґрунтів, що відображає зв'язок діелектричної проникності ґрунтів з їх вологістю

Література

1. Батракова А.Г. Оценка состояния дорожных одежд с привлечением георадарных технологий: монография / А.Г. Батракова. – Х. : ХНАДУ, 2013. – 156 с.

2. Процюк В.О. Дослідження впливу вологості підстильного ґрунту та товщини шарів основи на загальний модуль пружності конструкції дорожнього одягу / В.О. Процюк // Сучасні технології будівництва й експлуатації автомобільних доріг: матеріали міжнародної науково-технічної конференції. – Х.: ХНАДУ, 2013. – С. 27-31.

3. Ефименко С.В. Обоснование расчетных значений характеристик глинистых грунтов для проектирования дорожных одежд автомобильных дорог (на примере Западной Сибири): автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.23.11. / Ефименко Сергей Владимирович. – Омск, 2006. – 23 с.

4. Батракова А.Г. Методологія моніторингу дорожніх одягів нежорсткого типу із застосуванням георадіолокаційних технологій: дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.11 / Батракова Анжеліка Геннадіївна. – Х., 2014. – 390 с.

5. Боярский Д.А. Влияние связанной воды на диэлектрическую проницаемость влажных и мерзлых почв / Д.А. Боярский, В.В. Тихонов. – М.: ИКИ РАН, 2003.– 48 с.

6. Справочник физических констант горных пород / Под ред. С. Кларка. – М.: Мир, 1969. – 544 с.

7. Campbell M.J. Electrical properties of rocks and their significance for lunar radar observations / M.J. Campbell, J. Ulrichs // J. Geophys. Research. – 1969. – Vol. 74. N. 25. – PP. 5867–5881.

8. Виняйкин Е.Н. Ослабление миллиметровых и сантиметровых радиоволн и изменение их фазы в среде, состоящей из сухих и обводненных пылевых частиц / Виняйкин Е.Н., Зиничева М.Б., Наумов А.П. – Нижний Новгород: НИР ФИ, 1993. – 40 с.

9. Черняк Г.Я. Радиоволновые методы исследований в гидрогеологии и инженерной геологии / Г.Я. Черняк, О.М. Мясковский. – М.: Недра, 1973. – 176 с.

10. Шутко А.М. СВЧ-радиометрия водной поверхности и почвогрунтов / А.М. Шутко. – М.: Наука, 1986. – 192 с.

11. Белая М.Л. Молекулярная структура воды / М.Л. Белая, В.Г. Левадный // Новое в жизни, науке, технике. Сер. Физика. – 1987. – № 11. – С. 3–61.

12. Королев В.А. Связанная вода в горных породах: новые факты и проблемы / В.А. Королев // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 9. – С. 79-85.

13. Schmugge T.J. Survey of methods for soil moisture determination / T.J. Schmugge, T.J. Jackson, H.L. McKim // – Water Resources Res. / Vol. 16. – PP. 961-979.

14. Wang J.R. An empirical model for the complex dielectric permittivity of soils as a function of water content / J.R. Wang, T.J. Schmugge // IEEE Trans on Geosci and Remote Sensing. – 1980. – Vol. 18, N 4. – PP. 288-295.

15. Миронов В.Л. Область применения диэлектрической модели Шмагге для влажных почв / В.Л. Миронов, А.Ю. Анисимова, С.В. Фомин, Л.Г. Косолапова // Решетневские чтения. – Красноярск: Сибирский государственный аэрокосмический университет им. акад. М.Ф. Решетнева. – 2009. – № 13. – С. 187-188.

16. Birchak J.R. High dielectric constant microwave probes for sensing soil moisture / J.R. Birchak, G.G. Gardner, J.E. Hipp, J.M. Victor // Proc. IEEE. – 1974. – Vol. 62. – PP. 93-98.

17. Wong K.T. Ground Penetrating Radar (GPR) – a Tool for Pavement Evaluation and Design / K.T. Wong, E. Urbaez // Shaping the future: Linking policy, research and outcomes : 25th ARRB Conference, Perth, Australia : Proceedings. – 2012. – PP. 1–13.

18. Беляева Т.А. Определение параметров моделей диэлектрической проницаемости почв с различной плотностью и различным содержанием гумуса по данным экспериментальных измерений в частотном диапазоне 0,1-20 ГГц / Т.А. Беляева, А.П. Бобров, П.П. Бобров, О.В. Галеев, В.Н. Мандрыгина // Исследование Земли из космоса. – 2003. – № 5. – С. 28-34.

19. Бобров П.П. Диэлектрическая проницаемость почв лесотундровой зоны Красноярского края [Электронный ресурс]. / П.П. Бобров, В.Н. Мандрыгина, В.Д Стасюк, В.И. Убогов // Электронный научный журнал «Вестник Омского государственного педагогического университета». – Омск, 2006. – Режим доступа: www.omsk.edu

20. Вырко Н.П. Дорожное грунтоведение с основами механики грунтов : Учебник / Н.П. Вырко, И.И. Леонович. – Минск : Высшейшая школа, 1977. – 224 с.

Рецензенти:
Кузло М.Т., д-р техн. наук, Національний університет водного господарства та природокористування.
Балашова Ю.Б., канд. техн. наук, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури.

Reviewers:
Kuzlo M.T., Dr. Tech. Sci., National University of Water and Environmental Engineering.
Balashova Yu.B., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture.

Стаття надійшла до редакції: **13.02.2017 р**.

УДК 625.8

Жданюк В.К., д-р техн. наук, **Костін Д.Ю.**

ВПЛИВ МОДИФІКАЦІЇ БІТУМІВ НА ВЛАСТИВОСТІ ТА КОЛІЄСТІЙКІСТЬ ЩЕБЕНЕВО-МАСТИКОВИХ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ

Анотація. В статті наведені результати експериментальних досліджень впливу модифікації бітуму полімером «Kraton D1101» та водним катіонним латексом «Butonal NS 198» на фізико-механічні властивості і колієстійкість щебенево-мастикового асфальтобетону виду ЩМА-40.

Об'єкт дослідження – щебенево-мастикові асфальтобетони виду ЩМА-40 приготовлені на основі модифікованих бітумів.

Мета роботи – дослідження впливу модифікації бітумів на показники властивостей та колієстійкість ЩМА-40.

Методи дослідження – стандартні методи визначення фізико-механічних властивостей та колієстійкості асфальтобетонів.

В останнє десятиліття покриття дорожніх одягів, що влаштовані з використанням щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей, зарекомендували себе як найбільш стійкі до транспортних і кліматичних навантажень. На сьогодні залишається недостатньо вивченим вплив модифікації бітумів полімерами на властивості та колієстійкість ЩМА-40. Порівняльний аналіз результатів експериментальних досліджень фізико-механічних властивостей показує, що ЩМА-40 на основі бітуму марки БНД 60/90 з 3 % полімеру «Kraton D1101» характерна в 1,39 рази більше значення границі міцності при стиску за температури 20 ºС, та в 1,74 рази за температури 50 ºС, порівняно з асфальтобетоном на основі не модифікованого бітуму. При цьому, ЩМА-40 на основі бітуму марки БНД 60/90 з 3 % катіонного латексу «Butonal NS 198» перевищує традиційний за показником границі міцності при стиску за температури 20 ºС в 1,35 рази та в 1,6 рази за температури 50 ºС. Застосування полімерів для модифікації бітуму забезпечує зростання колієстійкості досліджуваного ЩМА-40, порівняно з щебенево-мастиковим асфальтобетоном аналогічної гранулометрії на основі бітуму без полімерних модифікаторів. Глибина колії після 30000 проходів колеса в ЩМА-40, приготовленого на бітумі модифікованому полімером «Kraton D1101», зменшується, в 3,07 рази при модифікації бітуму 2 % полімеру та в 3,56 рази при модифікації бітуму 3 % полімеру, порівняно з асфальтобетоном на вихідному бітумі БНД 60/90. Модифікація бітуму катіонним латексом «Butonal NS 198» дещо менш ефективно впливає на колієстійкість ЩМА-40,

порівняно з термоеластопластом «Kraton D1101», так, глибина колії в ЩМА-40, приготовленому на бітумі, модифікованому латексом «Butonal NS 198», після 30000 проходів колеса зменшується в 1,9 рази при 2 % полімеру та в 2,25 рази при 3 %, порівняно з асфальтобетоном на вихідному не модифікованому бітумі марки БНД 60/90.

Результати досліджень свідчать про достатньо високу ефективність прийнятих для досліджень полімерних добавок. При збільшенні концентрації полімерних добавок у складі бітуму показники міцності та колієстійкість ЩМА-40 закономірно зростають.

Ключові слова: щебенево-мастиковий асфальтобетон, полімер «kraton d1101», водний катіонний латекс «butonal ns198», фізико-механічні властивості, гранулометричний склад, колієстійкість.

УДК 625.8

Жданюк В.К., д-р техн. наук, **Костин Д.Ю.**

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ БИТУМОВ НА СВОЙСТВА И КОЛЕЕУСТОЙЧИВОСТЬ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментальных исследований влияния модификации битума полимером «Kraton D1101» и водным катионным латексом «Butonal NS 198» на физико-механические свойства и колееустойчивость щебеночно-мастичного асфальтобетона вида ЩМА-40.

Объект исследования – щебеночно-мастичные асфальтобетоны вида ЩМА-40 приготовленные на основе модифицированных битумов.

Цель работы – исследования влияния модификации битумов на показатели свойств и колееустойчивость асфальтобетонов.

Методы исследования – стандартные методы определения физико-механических свойств и колееустойчивости асфальтобетонов.

В последнее десятилетие покрытия дорожных одежд, которые устроенные с использованием щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, зарекомендовали себя как наиболее стойкие к транспортным и климатическим нагрузкам. На сегодня остается не достаточно изученным влияние модификации битумов полимерами на свойства и колееустойчивость ЩМА-40. Сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований физико-механических свойств показывает, что

ЩМА-40 на основе битума марки БНД 60/90 с 3 % полимера «Kraton D1101» характерны в 1,39 раз большие значения предела прочности при сжатии при температуре 20 ºС и в 1,74 раза при температуре 50 ºС,сравнительно с асфальтобетоном на основе не модифицированного битума. При этом. ЩМА-40 на основе битума марки БНД 60/90 с 3 % катионного латекса «Butonal NS 198» превышает традиционный за показателем предела прочности при сжатии при температуре 20 ºС в 1,35 раз и в 1,6 раз при температуре 50 ºС. Использование полимеров для модификации битума обеспечивает повышение колееустойчивости исследуемого ЩМА-40,сравнительно с щебеночно-мастичным асфальтобетоном с аналогичной гранулометрией на основе битума без полимерных модификаторов. Глубина колеи после 30000 проходов колеса в ЩМА-40, приготовленного на битуме модифицированном полимером «Kraton D1101», уменьшается, в 3,07 раз при модификации битума 2 % полимера и в 3,56 раз при модификации битума 3 % полимера, сравнительно с асфальтобетоном на исходном битуме БНД 60/90. Модификация битума катионным латексом «Butonal NS 198» после 30000 проходов колеса уменьшается в 1,9 раз при 2 % полимера и в 2,25 раз при 3 %, сравнительно с асфальтобетоном на исходном не модифицированном битуме марки БНД 60/90.

Результаты исследований свидетельствуют о достаточно высокой эффективности принятых для исследований полимерных добавок. При увеличении концентрации полимерных добавок в составе битума показатели прочности и колееустойчивость ЩМА-40 закономерно возрастают.

Ключевые слова: щебеночно-мастичный асфальтобетон, полимер «kraton d1101», водный катионный латекс «butonal ns 198»,физико-механические свойства, гранулометрический состав, колееустойчивость.

UDK 625.8

Zhdaniuk V.K., Dr. Tech. Sci., **Kostin D.U.**

THE BITUMEN MODIFICATION INFLUENCE ON THE STONE MASTIC ASPHALTS PROPERTIES AND RUTTING RESISTANCE

Abstract. The results of the experimental study of the bitumen modification by “Kraton D 1101’ polymer and water cationic latex “Butonal NS 198” influence on the properties and rutting resistance of the SMA of the SMA-40 type are given in the article.

Subject of research – stone mastic concretes of the SMA-40 type made on the basis of modified bitumens.

Purpose of work – investigation of the modified bitumens influence on the properties indexes rutting resistance of the SMA-40.

Methods of research – standard methods of the asphalt concrete physical and mechanical properties and rutting resistance determination.

In the last decade the road pavements built with stone mastic asphalt mixes application have shown a good performance as a most stable to traffic and climatic loadings. At the moment the influence of the bitumen modification by polymers on the properties and rutting resistance of the SMAM-40 is not sufficiently investigated. Comparative analysis of the results of the physical and mechanical properties shows that SMA-40 on the bitumen BND-60/90 base with 3 % of polymer "Kraton D 1101" is characterized by in 1/39 times higher compressive strength index at the temperature 20 ºC and in 1/74 times at the temperature 50 º C in comparison with unmodified bitumen. Herewith SMA-40 on the bitumen 60/90 base with 3 % of cationic latex "Butonal NS198" exceeds the traditional one as for compression strength index at the temperature 20 ºC in 1,35 times and at the 50 ºC – in 1,6 times. The polymers application for the bitumen modification provides the rutting resistance increasing of the SMA-40 in comparison with stone mastic asphalt with analogous granulometric composition based on bitumen without polymer modifiers. The rut depth after 30000 wheel passes in SMA-40 made on the bitumen modified by "Kraton D1101" polymer decreases on 3,07 times at the bitumen modification by 2 % of polymer and in 3,56 times at the bitumen modification by 3 % of polymer in comparison with asphalt concrete on the initial bitumen BND 60/90. The modification of bitumen by cationic latex "Butonal NS198" produces less effective influence on the rutting resistance of the SMA-40 in comparison with thermoelastoplast "Kraton D 1101", thus the rut depth in the SMA-40 made on the bitumen modified by "Butonal NS198" latex after 30000 wheel passes decreases in 1?9 times at the 2 % of polymer and in 2,25 times at 3 % of polymer in comparison with asphalt concrete on the initial bitumen of the BND 60/90 type.

The results of the investigations show the sufficiently high efficiency of the polymer additives accepted for research. With polymer additives concentration increasing in the bitumen composition the indexes of the compression strength and rutting resistance of the SMA-40 are increasing regularly.

Keywords: stone mastic asphalt, polymer «kraton d1101», water cationic latex «butonal ns 198», physical and mechanical properties, granulometric structure, rutting resistance.

Постійне зростання частки великовагових транспортних засобів у складі транспортного потоку потребує будівництва більш довговічних конструкцій дорожніх одягів на мережі автомобільних доріг загального користування. В останнє десятиліття покриття дорожніх одягів, що влаштовані з використанням

щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей, зарекомендували себе як найбільш стійкі до транспортних і кліматичних навантажень. Більша довговічність щебенево-мастикових асфальтобетонних покриттів дорожніх одягів забезпечується завдяки високій зсувостійкість таких асфальтобетонів на ділянках гальмування транспортних засобів, довготривалій водостійкості, морозостійкості і колієстійкості.

Згідно [1] в Україні нормовано вимоги до щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей (ЩМАС) та асфальтобетонів (ЩМА), які поділяються на п’ять видів (в залежності від максимального розміру щебеню): ЩМАС-5, ЩМАС-10, ЩМАС-15, ЩМАС-20 та ЩМАС-40. Серед зазначених асфальтобетонних сумішей остання ЩМАС-40 призначена для влаштування нижніх шарів дорожніх одягів або верхніх шарів основи. Новий вид ЩМАС-40 поки що не набув широкого застосування у дорожньому будівництві, оскільки є дещо дорожчим, порівняно з традиційними крупнозернистими асфальтобетонними сумішами. Каркасна структура ЩМА-40, що створена значним вмістом у його складі зерен щебеню кубоподібної форми, забезпечує йому меншу міцність при випробуваннях на одноосьовий стиск. Раніше виконаними дослідженнями [2,3] встановлено, що така структура матеріалу здатна сприймати більші зсувні зусилля в шарах дорожнього одягу, порівняно з традиційними щільними крупнозернистими асфальтобетонами. На сьогодні залишається недостатньо вивченим вплив модифікації бітумів полімерами на властивості та колієстійкість ЩМАС-40.

Метою даної роботи являється дослідження впливу модифікації бітумів на показники властивостей та колієстійкість ЩМА-40.

Для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей використовували гранітний щебінь фракцій 5-8 мм, 8-11 мм, 11-16 мм і відсів подрібнення виробництва ООО «Гайворонський гранітний кар’єр», гранітний щебінь фракції 20-40 мм виробництва ООО «Малокаховський гранітний кар’єр», вапняковий мінеральний порошок, стабілізуючу волокнисту добавку «Viatop-66» і нафтовий дорожній бітум марки БНД 60/90 Лисичанського НПЗ. Для порівняльних досліджень бітум марки БНД 60/90 модифікували полімером «Kraton D1101» і водним катіонним латексом «Butonal NS198». При модифікації бітуму концентрація полімеру «Kraton D1101», а також латексу «Butonal NS198» у перерахунку на полімер, становила 2 та 3 %.

При модифікації бітуму БНД 60/90 полімером «Kraton D1101», а також катіонним латексом «Butonal NS198», спостерігається підвищенням його марочної в'язкості (таблиця 1). Збільшення концентрації модифікуючих добавок у складі бітуму супроводжується зменшенням глибини занурення голки пенетрометра та зростанням температури розм'якшення. Дещо більш інтенсивне зростання показника температури розм'якшення та зменшення пенетрації відбувається при введенні до складу бітуму термоеластопласту «Kraton D1101».

Таблиця 1 – Властивості в'яжучих, прийнятих для дослідження

Найменування показника	БНД 60/90	БНД 60/90 + 2% Butonal NS198	БНД 60/90 + 3% Butonal NS198	БНД 60/90 + 2% Kraton D1101	БНД 60/90 + 3% Kraton D1101
Пенетрація за температури 25 °С, 1/10 мм	78	56	52	53	45
Температура розм'якшення, °С	49	55	60	61	63

Для приготування асфальтобетонних зразків був прийнятий гранулометричний склад мінеральної частини ЩМАС-40, представлений в таблиці 2.

Таблиця 2 – Гранулометричний склади мінеральної частини ЩМА-40

Повні проходи через сита	40 мм	20 мм	15 мм	10 мм	5 мм	2,5 мм	1,25 мм	0,63 мм	0,315 мм	0,14 мм	0,071 мм	<0,071 мм
Граничні значення	90-100	55-77	36-57	22-38	16-27	13-19	11-21	10-19	9-17	8-15	7-12	0
Прийняті значення	95	66	47	30	22	19	16	15	13	12	10	0

Результати порівняльних досліджень впливу бітумів, модифікованих катіонним латексом «Butonal NS198» та термоеластопластом «Kraton D1101», на фізико-механічні властивості ЩМА-40 наведені в таблицях 3 та 4.

Аналіз результатів експериментальних досліджень показують, що ЩМА-40 на основі бітуму БНД 60/90 за показниками фізико-механічних властивостей відповідає вимогам ДСТУ Б.В.2.7-127-2015 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови», що висуваються до асфальтобетону для районів А-1, А-2, А-3 та А-6 з урахуванням кліматичних

умов роботи асфальтобетонних покриттів. Використання для приготування ЩМАС-40 бітуму, модифікованого 2 та 3 % катіонного латексу «Butonal NS198», забезпечує відповідність показників фізико-механічних властивостей ЩМА-40 вимогам стандарту, що висуваються для всіх районів за кліматичними умовами роботи асфальтобетонних покриттів. Зі збільшенням вмісту катіонного латексу «Butonal NS198» у складі бітуму спостерігається зростання показників границі міцності при стиску та розколюванні ЩМА-40, а також показника умовного зчеплення при зсуві та водостійкості при тривалому водонасиченні. Збільшення вмісту катіонного латексу «Butonal NS198» у складі бітуму також сприяє зменшенню показника стікання в'яжучого в ЩМАС-40.

Таблиця 3 – Фізико-механічні властивості ЩМА-40 на основі бітуму, модифікованого катіонним латексом «Butonal NS 198»

Найменування показника	ЩМА-40 на БНД 60/90	ЩМА-40 на БНД 60/90 + 2% Butonal NS 198	ЩМА-40 на БНД 60/90 + 3% Butonal NS 198
Водонасичення, % по об'єму	2,8	2,3	2,2
Границя міцності при стиску, МПа, при температурі: 20°С, 50°С,	 2,3 0,5	 2,8 0,7	 3,1 0,8
Умовний коефіцієнт внутрішнього тертя	0,95	0,95	0,95
Умовне зчеплення при зсуві за температури 50°С, МПа	0,09	0,13	0,16
Границя міцності на розтяг при розколюванні за температури 0°С, МПа	2,8	3,7	4,0
Водостійкість при тривалому водонасиченні	0,89	0,92	0,96
Показник стікання в'яжучого	0,13	0,09	0,07
Вміст в'яжучого, %	5,2	5,2	5,2

Результати досліджень впливу бітуму, модифікованого полімером «Kraton D1101» на властивості ЩМА-40 також свідчать про зростання показників міцності, умовного зчеплення при зсуві та водостійкості при тривалому водонасиченні при збільшенні вмісту термоеластопласту в бітумі, а також викликає зменшення показника стікання в'яжучого в ЩМАС-40. Порівняльний аналіз результатів експериментальних досліджень показує, що ЩМА-40 на основі бітуму марки БНД 60/90 з 3% полімеру «Kraton D1101» характерна в 1,39 рази більше значення границі міцності при стиску за температури 20 ºС, та в 1,74 рази за температури 50 ºС, порівняно з асфальтобетоном на основі не

модифікованого бітуму. При цьому, ЩМА-40 на основі бітуму марки БНД 60/90 з 3% катіонного латексу «Butonal NS 198» перевищує традиційний за показником границі міцності при стиску за температури 20 ºС в 1,35 рази та в 1,6 рази за температури 50 ºС. Застосування для приготування щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші бітуму, модифікованого 3 % досліджуваних полімерних добавок, забезпечує зменшення показника стікання в'яжучого практично в 2 рази, порівняно з ЩМАС-40 на основі вихідного бітуму марки БНД 60/90.

Таблиця 4 – Фізико-механічні властивості ЩМА-40 на основі бітуму, модифікованого полімером «Kraton D1101»

Найменування показника	ЩМА-40 на БНД 60/90	ЩМА-40 на БНД 60/90 + 2% Kraton D1101	ЩМА-40 на БНД 60/90 + 3% Kraton D1101
Водонасичення, % по об'єму	2,8	2,5	2,3
Границя міцності при стиску, МПа, при температурі: 20°С, 50°С,	 2,3 0,50	 3,0 0,76	 3,2 0,87
Умовний коефіцієнт внутрішнього тертя	0,95	0,95	0,96
Умовне зчеплення при зсуві за температури 50°С, МПа	0,09	0,14	0,17
Границя міцності на розтяг при розколюванні за температури 0°С, МПа	2,8	3,9	4,2
Водостійкість при тривалому водонасиченні	0,89	0,91	0,95
Показник стікання в'яжучого	0,13	0,08	0,06
Вміст в'яжучого, %	5,2	5,2	5,2

Експериментальна оцінка колієстійкості за допомогою прилада-колієміра конструкції кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг ХНАДУ свідчить про те (рис. 1 та 3), що при збільшенні кількості проходів колеса по одному сліду при еквівалентному навантаженні 57,5 кН глибина колії закономірно збільшується в усіх досліджуваних асфальтобетонах.

З наведених залежностей видно, що застосування полімерів для модифікації бітуму забезпечує зростання колієстійкості досліджуваного ЩМА-40, порівняно з щебенево-мастиковим асфальтобетоном аналогічної гранулометрії на основі бітуму без полімерних модифікаторів. Глибина колії після 30000 проходів колеса в ЩМА-40, приготовленого на бітумі модифікованому полімером «Kraton D1101», суттєво зменшується, а саме, в

3,07 рази при модифікації бітуму 2 % полімеру та в 3,56 рази при модифікації бітуму 3 % полімеру (рис. 2), порівняно з асфальтобетоном на вихідному бітумі БНД 60/90. При цьому, за абсолютною величиною глибина колії в асфальтобетоні на бітумі з 3% «Kraton D1101» не перевищує 3 мм.

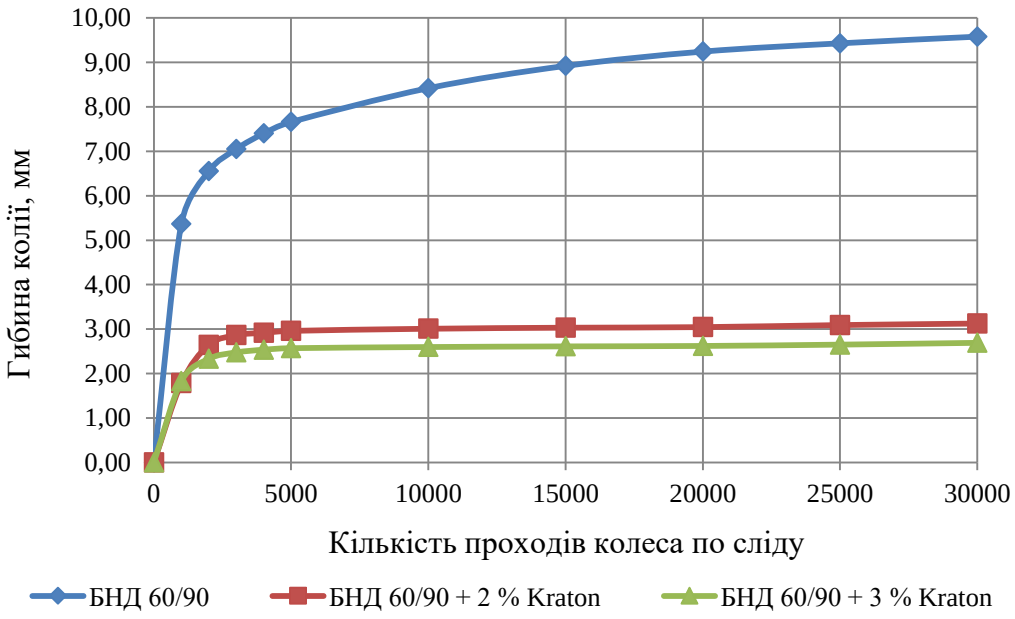


Рисунок 1 – Залежності глибини колії в ЩМА-40 на бітумі БНД 60/90, модифікованому полімером «Kraton D1101 CM», від кількості проходів колеса за температури 65 °С

Модифікація бітуму катіонним латексом «Butonal NS 198» дещо менш ефективно впливає на коліестійкість ЩМА-40, порівняно з термоеластопластом «Kraton D1101». Так, глибина колії в ЩМА-40, приготовленому на бітумі, модифікованому латексом «Butonal NS 198», після 30000 проходів колеса зменшується в 1,9 рази при 2 % полімеру та в 2,25 рази при 3 % (рис.4), порівняно з асфальтобетоном на вихідному не модифікованому бітумі марки БНД 60/90.

Результати досліджень свідчать про достатньо високу ефективність прийнятих для досліджень полімерних добавок. Модифікація бітуму полімером «Kraton D1101» або катіонним латексом «Butonal NS 198» забезпечує зростання показників міцності, умовного зчеплення при зсуві та водостійкості при тривалому водонасиченні, а також викликає зменшення показника стікання в'яжучого в ЩМАС-40, порівняно з ЩМАС-40 на основі вихідного бітуму. За критерієм стійкості до колієутворення щебенево-мастиковий асфальтобетон на модифікованих бітумах суттєво перевищує ЩМА-40 на основі вихідного бітуму.

При збільшенні концентрації полімерних добавок у складі бітуму показники міцності та колієстійкість ЩМА-40 закономірно зростають.

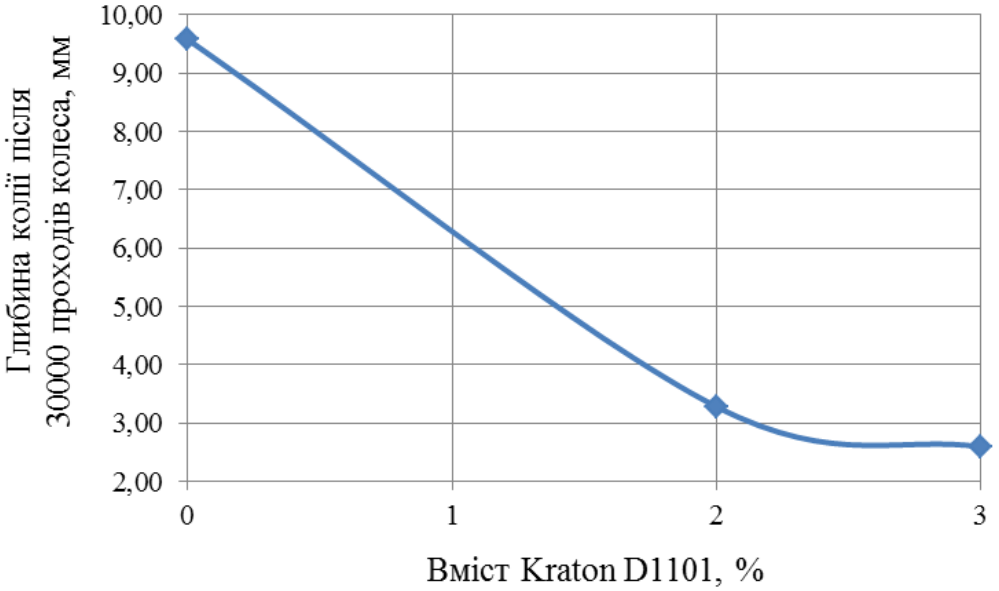


Рисунок 2 – Залежність глибини колії в ЩМА-40 за температури 65 °С після 30000 проходів колеса від вмісту полімеру «Kraton D1101» в бітумі БНД 60/90

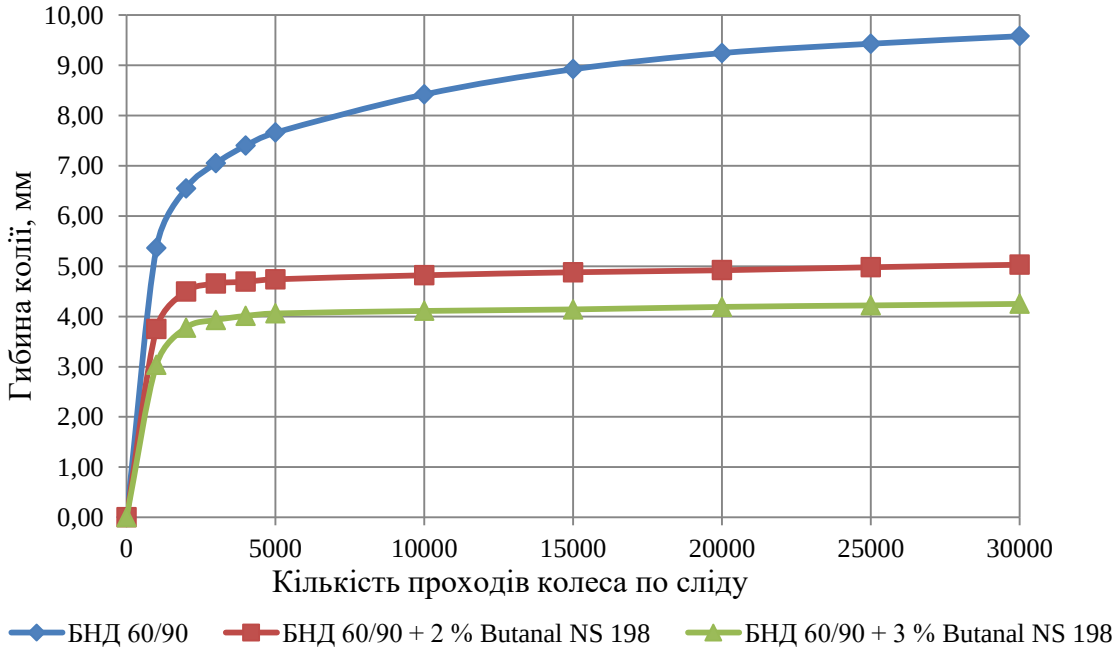


Рисунок 3 – Залежності глибини колії в ЩМА-40 на бітумі БНД 60/90, модифікованому латексом «Butonal NS 198», від кількості проходів колеса за температури 65 °С

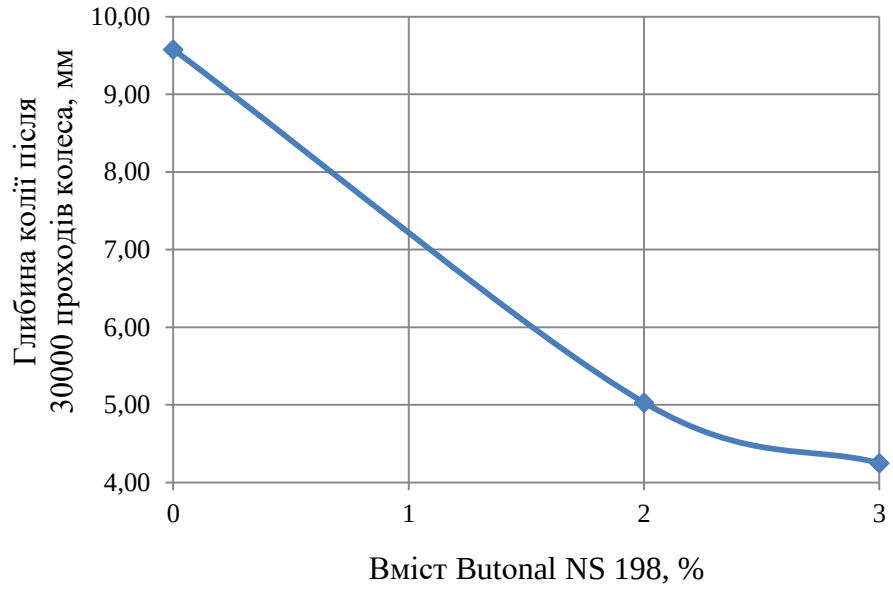


Рисунок 4 – Залежність глибини колії в ЩМА-40 за температури 65 °С після 30000 проходів колеса від вмісту латексу «Butonal NS 198» в бітумі БНД 60/90

Література

1. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-127:2015. – [Чинний від 01.07.2016]. К.: Мінрегіон України, 2015. – 30 с. – (Національний стандарт України).

2. Жданюк В.К. Дослідження колієстійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів при різних температурах / В.К. Жданюк, Д.Ю. Костін, О.О. Воловик // Автошляховик України. – №2. –2012. – С.25-29.

3. Жданюк В.К. Колієстійкість щебенево-мастикових асфальтобетонів різних видів / В.К. Жданюк, Д.Ю. Костін, О.О. Воловик // Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів. Матеріали міжнародній науково-технічній конференції, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожньо-будівельного факультету. Харків 2010. – С. 98-102.

Рецензенти:
Савенко В.Я., д-р тех. наук, Національний транспортний університет.
Мозговий В.В., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

Rewiewer:
Savenko V.Ya., Dr. Tech. Sci., National Transport University.
Mozhovyi V.V., Dr. Tech. Sci., National Transport University

Стаття надійшла до редакції: **07.03.2017 р**.

УДК 625.852

Мозговий В.В., д-р техн. наук, **Онищенко А.М.,** канд. техн. наук,
Куцман О.М., Баран С.А.

РОЗРАХУНКОВИЙ МОДУЛЬ ПРУЖНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Анотація. У статті розглянуто питання визначення розрахункового модуля пружності, необхідного для розрахунку конструкцій дорожніх одягів. Наведені особливості методики експериментального визначення розрахункового модуля пружності асфальтобетону. Об'єкт дослідження – розрахунковий модуль пружності асфальтобетону.Мета роботи – стандартизація методики визначення розрахункового модуля пружності асфальтобетону.Методи дослідження – експериментальні.

Ключові слова: асфальтобетон, розрахунковий модуль пружності

УДК 625.852

Мозговой В.В., д-р техн. наук, **Онищенко А.Н.,** канд. техн. наук,
Куцман А.М., Баран С.А.

РАСЧЕТНЫЙ МОДУЛЬ УПРУГОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы определения расчетного модуля упругости, необходимого для расчета конструкций дорожных одежд. Приведенные особенности методики экспериментального определения расчетного модуля упругости асфальтобетона..Объект исследования – Расчетный модуль упругости асфальтобетона. Цель работы - стандартизация методик определения расчетного модуля упругости асфальтобетон. Методы исследования - экспериментальные.

Ключевые слова: асфальтобетон, расчетный модуль упругости.

UDC 625.852

Mozhovyi V.V., Dr. Tech. Sci., **Onyshchenko A.M.,** Cand. Eng. Sci. (Ph.D.),
Kutsman O.M., Baran S.A.

THE DESIGNING MODULE OF THE ASPHALT CONCRETE ELASTICITY

Abstract. The article deals with questions determine the modulus of elasticity required to calculate construction of road pavements. In the article it is shown features methods of experimental determination of the modulus of elasticity of asphalt concrete.
The object of study - Designing module of elasticity of asphalt concrete. Purpose - to standardize methods for determining designing module of elasticity of asphalt concrete. Research methods - experimental.
Key words: asphalt, designing module of elasticity.

Розрахунок елементів дорожнього одягу, як будівельної конструкції, здійснюють для найбільш небезпечних умов їх роботи, тобто у розрахунковий період. За розрахунковий приймають період, коли міцність і жорсткість грунту та шарів дорожнього одягу в цілому досягають найбільш небезпечних для їх руйнування значень [1, 2, 3].

В широкому спектрі параметрів режиму навантаження та воднотеплового режиму матеріали і грунти дорожнього одягу проявляють реологічні властивості, тобто ведуть себе як в'язкопружні та в’язкопружнопластичні тіла, характеристики яких залежать від температури та вологості.

Тому, в існуючій світовій та вітчизняній практиці розрахунку дорожніх одягів спочатку встановлюють розрахунковий стан грунту або матеріалів в даних умовах, а потім уже при визначеному розрахунковому стані (вологість, температура, час дії навантаження) встановлюють величини міцнісних і деформаційних характеристик.

У відповідності з науково обґрунтованою, експериментально перевіреною та апробованою концепцією існуючих нормативних методів [3, 4] розрахунку дорожні одяги на перегонах доріг потрібно розраховувати на короткочасну багаторазову дію рухомих навантажень. Тривалість дії навантажень при сучасних швидкостях руху вантажних автомобілів приймають рівною 0,1 с. У цьому випадку в розрахунках використовують значення модуля пружності і

міцністні характеристики матеріалів і ґрунту, визначені теж при тривалості дії навантаження 0,1 с [3].

Дорожній одяг на зупинках, перехрестях доріг, на підходах до пересічень із залізничними шляхами тощо розраховують на багаторазову короткочасну дію навантаження, а також на тривале одноразове навантаження. При розрахунку одягу на тривалу дію навантаження використовують значення модуля пружності матеріалів і ґрунтів, визначені при тривалості навантаження не менше 600 с [3].

При розрахунку асфальтобетонних шарів на розтяг при згині у відповідності з особливістю воднотеплового режиму дорожнього одягу характеристики асфальтобетону повинні відповідати низьким весняним температурам, в той момент, коли ґрунт земляного полотна знаходиться у найбільш зволоженому стані, створюючи найбільш несприятливі умови появи максимальних розтягуючих напружень у монолітних шарах – 0°С.

При розрахунку шарів із малозв'язних матеріалів, зернистих матеріалів, а також ґрунту на опір зсуву, модуль пружності матеріалів шарів із асфальтобетону та матеріалів на основі органічних в'яжучих повинні відповідати весняним підвищеним температурам в залежності від дорожнього районування (розрахункові температури: 10, 20, 30 або 40 °С [3]). При розрахунку за загальним модулем пружності розрахункова температура прийнята 10 °С [3].

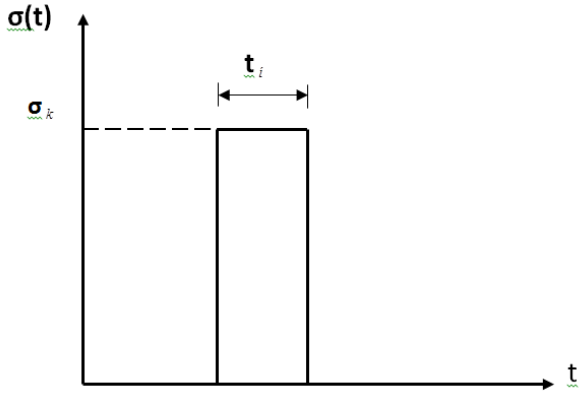
При визначенні модулів пружності дорожньо-будівельних матеріалів, необхідних для розрахунку конструкцій дорожнього одягу необхідно враховувати характерні залежності їх властивостей від часу дії навантаження, температури та вологості. Вплив часу дії навантажень від транспортних засобів на напружений стан дорожніх одягів враховується шляхом урахування в'язкопружних властивостей матеріалів і ґрунтів в залежності від особливостей роботи дорожнього одягу автомобільної дороги – на ділянках між населеними пунктами, перехрещень, зупинок, стоянок автомобілів, узбіччя на ділянках між населеними пунктами, залізничних переїздів. Модулі пружності дорожньо-будівельних матеріалів визначають при часі дії навантаження на зразок, що відповідає розрахунковій тривалості навантаження від транспортних засобів в умовах експлуатації дорожнього одягу.

Таким чином, для розрахунку за всіма критеріями граничного стану у відповідності з діючими нормативними документами з розрахунку дорожніх одягів [3, 4] розрахунковий час дії на вантаження становить для динамічної дії навантаження 0,1 с, для статичного – 600 с. При такому часі дії навантаження

модулі пружності асфальтобетону необхідно визначати при температурах: (0, 10, 20, 30, 40) °С [3]

На основі проведених досліджень на кафедрі дорожньо-будівельних матеріалів і хімії НТУ та узагальнення існуючого досвіду була удосконалена методологія експериментального визначення розрахункових модуля пружності асфальтобетону. На основі цих досліджень розроблено нормативний документ, у якому стандартизовано визначення розрахункового модуля пружності асфальтобетону [5]. Нижче наведено особливості методу визначення розрахункового модуля пружності асфальтобетону при розрахунковому часі дії навантаження та при розрахункових температурах.

При розрахунку дорожнього одягу використовують значення модуля пружності дорожньо-будівельних матеріалів, використовуючи відповідно дві розрахункові схеми за часом навантаження: динамічну та статичну, згідно схеми, приведеної на рис. 1 [5].



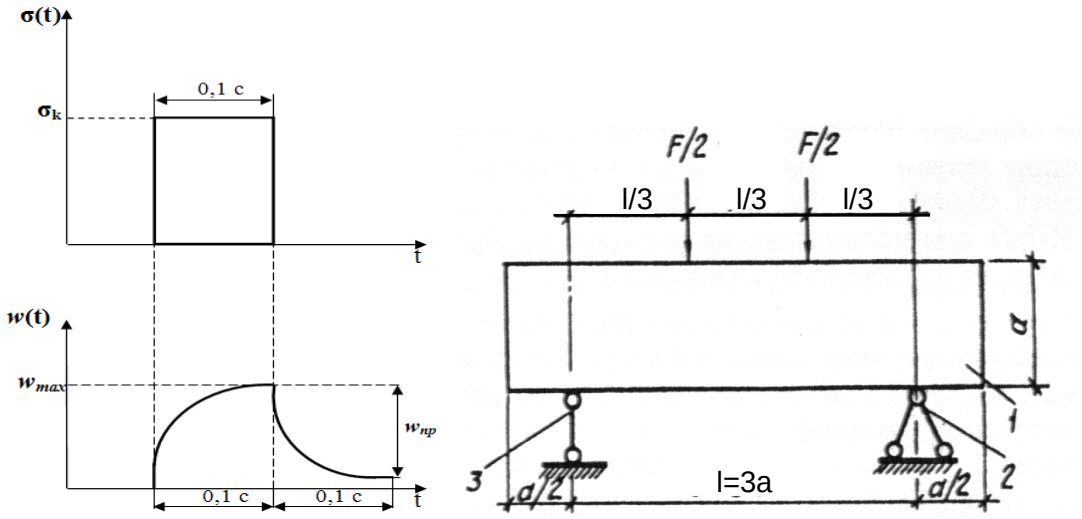
σ(t) – горизонтальні нормальні напруження величина яких залежить від часу дії навантаження; σ_k – горизонтальні нормальні напруження які виникають при тривалості дії навантаження $t_н$

Рисунок 1 - Схема режиму навантаження зразка під час випробування

Для визначення короткочасного модуля пружності асфальтобетону при динамічному навантаженні (при температурах 0 ^{0}С та 10 ^{0}С) застосовується методика випробування, що полягає у моделюванні дії розтягуючих горизонтальних нормальних напружень, які виникають при згині монолітних шарів від впливу транспортних засобів за допомогою розрахункової схеми у вигляді статично визначеної балки на двох опорах, завантаженої двома зосередженими силами.

Такі випробування виконують у режимі одноразового прикладання навантаження з часом його дії 0,1 с, за схемою, що наведена на рис. 2, вимірюючи прогин зразка в середині прогону [5].

Рівні навантажень встановлюються такими, щоб на основі випробувань побудувати залежність, схема якої показана на рис. 3.



1 - зразок; 2 - шарнірна нерухома опора; 3 - шарнірна рухома опора; w(t) – пружний прогин, величина якого залежить від часу дії навантаження; w_{max} – максимальний прогин при тривалості дії навантаження 0.1 с; $w_{пр}$ – пружний прогин

Рисунок 2 - Схема прикладання навантаження на зразок при визначенні модуля пружності

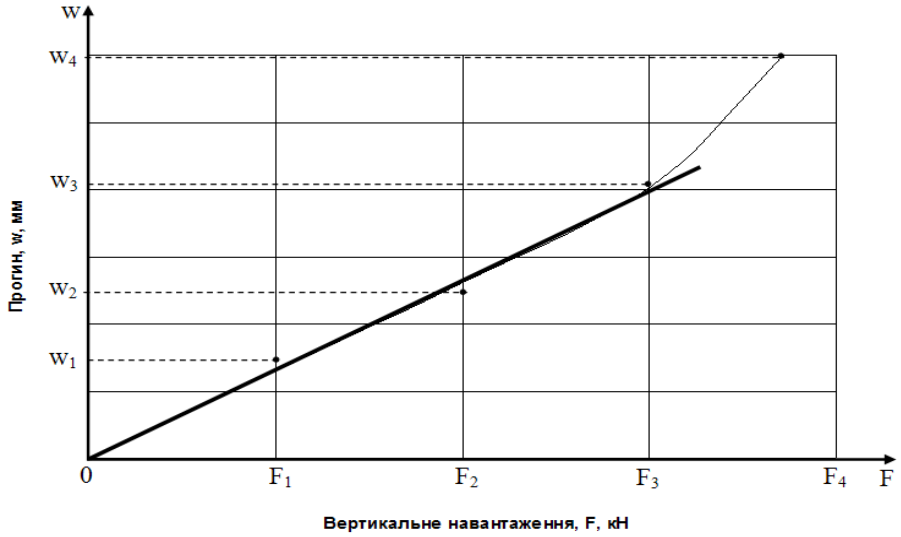


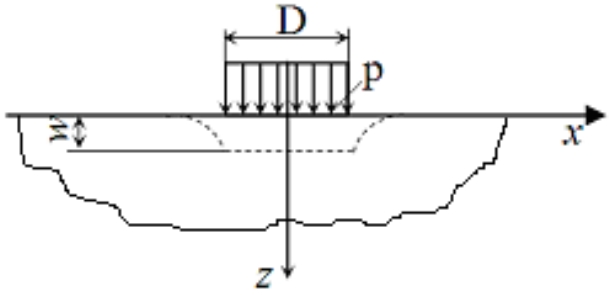
Рисунок 3 – Залежність пружного прогину від вертикального навантаження

При цьому рівні навантаження встановлють наступним чином. Визначають лабораторне значення міцності на розтяг при згині $R_{лаб}$ та значення максимальної руйнівної сили $F_{лаб}$ за схемою прикладання навантаження на зразок згідно рис. 1 при швидкості відносних деформацій в нижній частині зразка

з монолітного матеріалу, що відповідає розрахунковій. Встановлюють максимальне навантаження при визначенні модуля пружності $F_{max}=0,3F_{лаб}$. Рівні навантажень при випробуваннях встановлюють наступні: $F_1=0,25F_{max}$; $F_2=0,5F_{max}$; $F_3=0,75F_{max}$; $F_4=F_{max}$. [5].

За результатами випробувань будують графік $w=f(F)$, проводять дотичну до початку експериментальної кривої (рис 3) і визначають за даними прямолінійної ділянки значення модуля пружності.

Для визначення статичного модуля пружності ($t_н$ = 600 с) асфальтобетону (за температур: 20°С; 30°С; 40 °С [3]), при випробуванні моделюють їх роботу при стиску використовуючи розрахункову схему вертикального навантаження однорідного напівпростору з вимірюванням його прогину при випробуваннях жорстким штампом за схемою навантаження, що показана на рис. 4.



z – глибина; p – навантаження;w – прогин;D – діаметр штампу

Рисунок 4 – Схема навантаження жорстким штампом однорідного напівпростору

При цьому рівні навантаження Q встановлюють наступним чином. Встановлюють максимальне навантаження Q_{max} при визначенні модуля пружності $Q_{max}=Q_{розрах}$. Значення навантаження $Q_{розрах}$, в кілоньютонах встановлюють виходячи з максимального розрахункового тиску на поверхні дорожнього одягу $p_{розрах}$, в МПа (згідно 3.3 ВБН В.2.3-218-186 [3]) за формулою:

$$Q_{розрах} = p_{розрах}\frac{\pi D^2}{4}, \qquad (1)$$

де D – діаметр випробувального штампу.

Рівні навантажень при випробуваннях встановлюють наступні: $Q_1=0,25Q_{max}$; $Q_2=0,5Q_{max}$; $Q_3=0,75Q_{max}$; $Q_4=Q_{max}$.

За результатами випробувань будують графік $w=f(Q)$, проводять дотичну до експериментальної кривої (аналогічно до схеми рис. 3) і визначають для прямолінійної ділянки значення модуля пружності.

Для випробувань по визначенню модулів пружності монолітних дорожньо-

будівельних матеріалів готують зразки-призми одним із способів:

- шляхом вирізання із плит монолітних дорожньо-будівельних матеріалів, що отримані у лабораторних умовах на секторному пресі згідно СОУ 45.2-00018112-020 [6]. Для кожної суміші підбирають такі параметри ущільнення (температура суміші для матеріалів на основі органічних в'яжучих, кількість проходів сектора при ущільненні, величини навантажень на сектор), щоб отримати зразок – плиту з максимальною щільністю, витрачаючи мінімум роботи на ущільнення. Ці параметри використовуються як паспортні характеристики для кожної конкретної суміші при отриманні необхідної кількості зразків для випробувань з визначення модуля пружності монолітних матеріалів.
- шляхом вирізання із шарів існуючої конструкції дорожнього одягу.

При приготуванні зразків-призм із монолітних дорожньо-будівельних матеріалів методом укочування плити, що виготовлені із матеріалів на основі органічних в'яжучих згідно з СОУ 45.2-00018112-020 [6] (на секторному пресі ПМА 218-21476215-450 [7]) або згідно з СОУ 45.2-00018112-076 [8] (на вальцевому приладі ПМА 218-21476215-691 [9]), через добу після виготовлення розпилюють за допомогою каменерізного верстата на зразки-призми відповідних розмірів (рисунок 5).

Під час випробувань за схемою рис. 2 вимірюють для кожного із відібраних для випробування зразків прогин w_i та встановлюють середнє значення прогину $\overline{w}$ при даному рівні напруження

$$\overline{w} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{mim}} w_i}{n_{mim}}. \qquad (2)$$

Будують графічну залежність $\overline{w} = f(F)$ і за даними значень F і $\overline{w}$ прямолінійної ділянки, обчислюють значення модуля пружності E у МПа випробуваного виду матеріалу за залежністю:

$$E = k_w \frac{F \cdot l^3}{28{,}174 \cdot \overline{w} \cdot J}, \qquad (3)$$

де F – довільне значення навантаження, що відповідає прямолінійній ділянці схема рис. 3;

l - проліт балки;

$\overline{w}$ - середнє значення прогину, що відповідає значенню навантаження F на прямолінійній ділянці графічної залежності (рис. 3);

k_w - коефіцієнт форми зразка, (k_w=1,33) [5];

J – момент інерції поперечного перерізу зразка ($J = bh^3/12$, де h, b - відповідно висота і ширина зразка).

Встановлюють середнє значення пружних деформацій і будують графічну залежність $\overline{w} = f(F)$.

При випробуванні для визначення статичного модуля пружності асфальтобетону за схемою рис 4., використовують важільний прес, або прилади іншої конструкції, що дозволяють забезпечувати вказану схему прикладання навантаження на зразок необхідні режими навантаження.

Навантажують рівнями, з розвантаженням після кожного рівня та фіксують пружну деформацію. На прикладі динамічного навантаження за схемою рис. 5. Обробка результатів випробувань по наступній залежності.

$$E = \frac{\pi \cdot p \cdot D \cdot (1-\mu^2)}{4 \cdot \overline{w}}, \qquad (4)$$

де μ - коефіцієнт Пуассона ($\mu = 0{,}25$) згідно з ВБН В.2.3-218-186 [3], ГОСТ 24452 [10];

p=$4Q/\pi D^2$ – питомий тиск штампу на зразок, *МПа*;

D – діаметр штампа, м;

$\overline{w}$ - середнє значення пружної деформації, м.

Література

1. Конструирование и расчёт нежёстких дорожных одежд**.** Под ред. Н.Н. Иванова. – М.: «Транспорт», 1973.– 328 с.

2. ВСН 46-83. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. Министерство транспортного строительства СССР. - М.: Транспорт, 1985.

3. ВБН В.2.3-218-186-2004 Дорожній одяг нежорсткого типу. Київ, «Укравтодор», 2004. – 176 с.

4. ГБН В.2.3-37641918-557:2016 Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування.

5. СОУ 45.2-00018112-059:2010. Методи визначення розрахункових модулів пружності

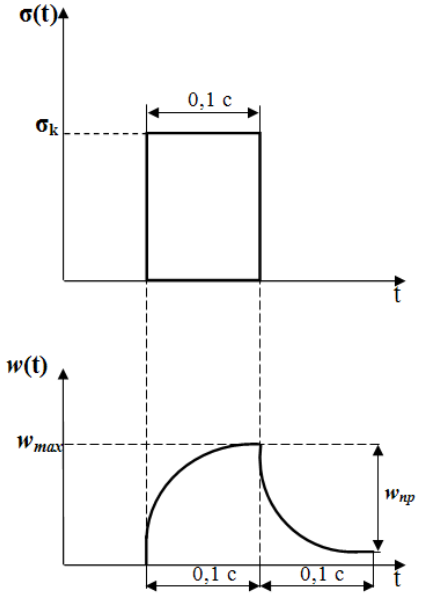
6. СОУ 45.2-00018112-020:2007 Асфальтобетон дорожній. Метод випробування на стійкість до накопичення залишкових деформацій.

7. ПМА 218-21476215-450:2006 Прилад для виготовлення зразків щебенево-мастикового асфальтобетону. Програма та методика первинної та періодичної атестації.

8. СОУ 45.2-00018112-076:2012 Асфальтобетонні шари з армуючими прошарками. Метод визначення розрахункових характеристик.

9. ПМА 218-21476215-691:2011 Прилад для виготовлення зразків з армованого асфальтобетону. Програма та методика первинної та періодичної атестації.

10. ГОСТ 24452-80 Бетоны. Методы определения призменной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона.



σ(t) – горизонтальні нормальні напруження величина яких залежить від часу дії навантаження; σ_k – горизонтальні нормальні напруження які виникають при тривалості дії навантаження $t_н$; ω(t) – пружний прогин величина якого залежить від часу дії навантаження; ω_{max} – максимальний прогину при тривалості дії навантаження 0.1 с;

Рисунок 5 – Схема прикладання штампа на досліджуваний зразок при визначенні пружного прогину

Рецензенти:
Савенко В.Я., д-р тех. наук, Національний транспортний університет.
Жданюк В.К., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Reviewers:
Savenko V.Ya., Dr. Tech. Sci., National Transport University.
Zhdaniuk V.K., Dr. Tech. Sci., Kharkiv National Automobile and Highway University.

Стаття надійшла до редакції: **24.03.2017 р**.

УДК 691.32 : 666.972.16

Редкозубов А.А., канд. техн. наук

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ КОНТАКТООБРАЗОВАНИЯ – ГАРАНТИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ

Аннотация. В статье рассматриваются результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния физико-химической активации поверхности заполнителей на долговечность цементных бетонов. Установлено, что активация кварцевого песка раствором хлорида алюминия и введение в бетонную смесь пластификатора позволяют получать долговечные цементные бетоны.
Ключевые слова: заполнитель, гидраты, зона контакта, электрокинетический потенциал, физико-химическая активация, долговечность.

УДК 691.32 : 666.972.16

Редкозубов А.А., канд. техн. наук

УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ КОНТАКТООБРАЗОВАНИЯ – ГАРАНТІЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЦЕМЕНТНИХ БЕТОНІВ

Анотація. У статті розглядаються результати теоретичних та експериментальних досліджень впливу фізико-хімічної активації поверхні заповнювачів на довговічність цементних бетонів. Встановлено, що активація кварцового піску розчином хлориду алюмінію та введення в бетонну суміш пластифікатору дозволяють одержувати довговічні цементні бетони.
Ключові слова: заповнювач, гідрати, зона контакту, електрокінетичний потенціал, фізико-хімічна активація, довговічність.

UDC 691.32 : 666.972.16

Redkozubov A. A., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.)

MANAGEMENT OF CONTACTABLEONE – GUARANTEE OF DURABILITY OF CEMENT CONCRETE

Abstract. The article considers the results of theoretical and experimental studies of the effect of aggregate surface physical and chemical activation on durability of cement concretes. It was found that activation of quartz sand with a solution of aluminum chloride and addition of a plasticizer into a concrete mixture allows producing durable cement concretes.

Keywords: aggregate, hydrates, contact area, electrokinetic potential, physical and chemical activation, durability.

Введение

В последнее время большое внимание уделяется проблемам, связанным с асфальтобетонными покрытиями автомобильных дорог. Мировая практика показывает, что количество автомобилей большой грузоподъемности неуклонно растет год от года, растут и нормативные нагрузки на поверхность покрытий автомобильных дорог. Снижение межремонтных сроков, образование трещин, неровностей, колейности (несмотря на применение новых материалов, например, щебеночно-мастичных асфальтобетонов) свидетельствуют об исчерпании фактической несущей способности асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог. Поэтому, применение цементобетонных покрытий становится жизненно необходимым условием нормального функционирования автомобильных дорог. Следовательно, уже сейчас необходимо разрабатывать мероприятия, направленные на создание долговечных дорожных цементных бетонов.

Основная часть

Долговечность цементного бетона зависит от плотности его структуры, которая, помимо технологических параметров, обеспечивается сцеплением компонентов цементного камня и заполнителей. Характер сцепления, в свою очередь, определяется минералогическим и петрографическим составом заполнителей, характером их поверхности, взаимодействием с новообразованиями гидратирующего цемента и т.д. При рассмотрении взаимосвязи этих факторов принято использовать термин «зона контакта», определение которой впервые дано Любимовой Т.Ю.: «Зона контакта представляет собой микрообъем вблизи поверхности раздела цементный камень – заполнитель, включающий поверхностный слой заполнителя, примыкающий слой цементного камня и границу раздела между ними».

Зона контакта между заполнителем и цементным камнем зачастую оказывается самым слабым и поэтому решающим звеном, определяющим свойства цементных бетонов в целом. В бетонах, при разрушении, обнаруживаются характерные полости, точно повторяющие форму входящих в эти полости зерен заполнителя. При отделении зерен заполнителя от цементного камня значительная часть поверхности не имеет даже следов затвердевшего вяжущего, что свидетельствует о плохом сцеплении заполнителя с цементным

камнем. Таким образом, для улучшения физико-механических свойств и долговечности цементных бетонов необходимо, прежде всего, повысить прочность сцепления цементного камня с заполнителем, как самого слабого звена в структуре цементного бетона.

В Харьковском национальном автомобильно-дорожном университете в течении ряда лет проводились исследования по созданию долговечных дорожных цементных бетонов путем управления процессами контактообразования. Для получения долговечных цементных бетонов создавались такие условия, которые приводили к направленному структурообразованию и формированию прочной, водо- и морозостойкой кристаллизационной структуры.

Процессы смачивания и адсорбции являются первичными при формировании адгезионных контактов и зоны контакта между заполнителями и гидратами. Они зависят от адсорбционных и электроповерхностных свойств заполнителей и вяжущего, обусловливающих особенности зоны контакта и структуры материала в целом [1-2].

Зерна кварцевого песка нередко покрыты налетами полиминеральных комплексов. Наряду с потенциалопределяющими атомными группировками минеральной поверхности зерен песка, полиминеральные комплексы влияют на величину дзета-потенциала. Являясь показателем электрической природы минералов, слагающих песок, дзета-потенциал представляет собой интегральную характеристику, суммирующую различное соотношение величин поверхностного заряда (с определенным знаком), площадей, занятых минеральной поверхностью заполнителя и полиминеральных комплексов.

Гидратация поверхности кварца определяется расположением кремнекислородных тетраэдров поверхностного слоя, не связанных полностью с внутренней структурой. Атомы кремнекислородных тетраэдров, выходящие на поверхность, соединены с атомами водорода и образуют гидроксильные группы. Указанное строение поверхности кварца определяет и его электрокинетический потенциал при контакте с водой. Гидроксильные группы частично диссоциируют, отдавая в водную фазу ион водорода, поверхность при этом заряжается отрицательно, поэтому на поверхности кварца адсорбируются преимущественно положительно заряженные продукты гидратации цемента – гидроалюминаты или гидросульфоалюминаты кальция. При перезарядке поверхности кварца, обеспечивается коагуляция отрицательно заряженных

гелевых частиц гидросиликатов. Меньшие размеры этих частиц (по сравнению с кристаллогидратами) обеспечивают плотную структуру зоны контакта. При взаимодействии противоположно заряженных частиц может наблюдаться их коагуляция, называемая взаимной коагуляцией. Наиболее полная коагуляция наблюдается при взаимной нейтрализации зарядов частиц. Таким образом, обеспечение плотного контакта гидратов с заполнителем возможно обеспечить за счет создания на его поверхности заряда противоположного знака. Перезарядку поверхности кварца можно осуществить путем смачивания его растворами электролитов, содержащих ионы поливалентных металлов. Оптимальная концентрация активирующих растворов может определяться на основании электрокинетического потенциала [3].

Результаты измерения дзета-потенциала некоторых материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Электрокинетический потенциал

Вещество	Дисперсионная среда	Дзета-потенциал, мВ
Кварц	Дистиллированная вода (pH = 6,9)	– 80,0
Мытый песок		– 64,3
Песок		– 6,0
Мытый песок	Водопроводная вода (pH = 7,6)	– 45,7
Мытый песок	Раствор хлорида алюминия (pH = 5,0)	+ 49,1

Под «мытым песком» подразумевается песок, из которого удалены пылевато-глинистые частицы методом отмучивания в дистиллированной воде.

Дальнейшие исследования проводились на цементобетонных смесях с соотношением Ц:П = 1:3. Приготовление бетонной смеси на активированном заполнителе осуществлялось следующим образом. Вначале песок при непрерывном перемешивании смачивался активирующим раствором электролита (в количестве, соответствующим водопотребности песка). После добавления цемента и воды затворения смесь перемешивалась окончательно. Установлено, что увеличение прочности бетонов зависит от времени активации заполнителя. Увеличение времени активации с одной до пятнадцати минут повышает прочность цементобетонных образцов до 10 %. Однако, исходя из технологических требований, время активации заполнителя в эксперименте

ограничивалось тремя минутами. Приготовление бетонной смеси на активированном заполнителе с добавкой пластификатора осуществлялось аналогично, только раствор пластификатора вводился с водой затворения.

Результаты исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Свойства мелкозернистых бетонов

Состав	Водоцементное отношение	Расплыв конуса, мм	Прочность на 28 сутки нормального твердения, МПа	
			сжатие	изгиб
Контрольный	0,60	115	26,6	3,4
На активированном песке	0,60	115	33,5	4,7
На активированном песке с добавкой пластификатора	0,60	138	28,3	3,9

Тот факт, что активация заполнителя не снижает подвижность бетонной смеси, является косвенным подтверждением наличия положительного заряда у частиц цемента на начальных стадиях твердения. При введении пластификатора расплыв конуса возрастает на 20 %. Увеличение прочности при сжатии цементобетонных образцов незначительно, а при изгибе – до 16 %. При уменьшении водо-цементного отношения до расплыва конуса 115 мм, прочность таких цементобетонных образцов на 28 сутки нормального твердения при сжатии составила 37,5 МПа, а при изгибе – 5,2 МПа. Полученные значения подтверждают эффективность активации песка с введением в смесь пластификатора.

Изучение процессов, происходящих при различных воздействиях на компоненты бетонной смеси и бетон, возможно при помощи комплекса физико-химических методов, позволяющих фиксировать изменения структуры и фазового состава бетона. Использование комплекса независимых методов обеспечивает достаточную полноту и достоверность полученных результатов, поскольку используемые методы дополняя друг друга, позволяют оценивать фазово-структурные особенности материалов с различных сторон.

Особенности структуры мелкозернистых бетонов исследовались методами люминесцентной дефектоскопии, микротвердометрии, оптической и

электронной микроскопии. Исследование фазового состава бетона проводились методами рентгеновской дифрактометрии и инфракрасной спектроскопии. Исследования дефектности структуры мелкозернистых бетонов проводились на образцах бетонов в возрасте 90 суток нормального твердения методом люминесцентной дефектоскопии. Этот метод позволяет с достаточной точностью определять дефектность как по всей площади образца, так и в зоне контакта.

Результаты проведенных исследований (табл. 3) согласуются с данными о пористости и структуре, полученными на основании изучения водопоглощения и оптической микроскопии.

Таблица 3 – Особенности микроструктуры мелкозернистых бетонов

Состав	Связующая масса						Зона контакта	
	общая характеристика структуры	степень гидратации, %	агрегаты новообразований*	среднее межзерновое расстояние, мкм	пористость		общая характеристика	агрегаты новообразований*
					преобладающая	%		
Контрольный	неоднородная с дефектными участками	22-29	мелко- и крупнокристаллические	120	замкнутая, редко сообщающаяся	6,69	неплотная, местами разрыхлена, имеются микротрещины	скрытокристаллические, мелкокристаллические
На активированном песке	неоднородная	25-32	мелко- и крупнокристаллические	100	замкнутая, местами кольматирована	6,40	уплотнена	мелкокристаллические, скрытокристаллические
На активированном песке с добавкой пластификатора	однородная	29-36	гелеобразные, скрытокристаллические	75	замкнутая, кольматирована	5,20	значитель-но уплотнена	гелеобразные, скрытокристаллические

*характеристика приведена в порядке уменьшения доли влияния показателя

Долговечность цементных бетонов во многом зависит от показателей морозостойкости (табл. 4). Большое влияние на морозостойкость мелкозернистых бетонов оказывает характер сцепления цементного камня с

заполнителем и плотность связующей массы в зоне контакта, т.к. микротрещины в зоне контакта вносят весомый вклад в деструктивные процессы.

Полученные результаты еще раз подтверждают более высокое качество мелкозернистых бетонов, приготовленных на активированном кварцевом заполнителе с добавкой пластификатора. Увеличение морозостойкости таких бетонов после тепловлажностной обработки на 3 марки (по сравнению с контрольными) связано с тем, что комплексное воздействие на бетонную смесь оказывает положительное влияние на структуру бетона, процессы гидратации вяжущего и удаления влаги из тела бетона. Это объясняется тем, что активация заполнителя приводит к уплотнению зоны контакта гидратов с заполнителем, а введение пластификатора позволяет снизить водоцементное отношение, создать лучшую поровую структуру, а также уплотнить цементный камень в межзерновых прослойках.

Таблица 4 – Морозостойкость мелкозернистых бетонов

Состав	Марка по морозостойкости для бетонов	
	нормального твердения	после тепловлажностной обработки
Контрольный	F100	F75
На активированном песке	F150	F100
На активированном песке с добавкой пластификатора	F200	F200

Выводы

1. Установлено, что мелкозернистые бетоны на песках, активированных растворами алюминия, при концентрациях, соответствующих максимальной положительной величине дзета-потенциала заполнителя без пылевато-глинистых частиц, обладают повышенной прочностью и долговечностью.

2. Исследования микроструктуры мелкозернистых бетонов методами люминесцентной дефектоскопии, микротвердометрии, оптической и электронной микроскопии, рентгеновской дифрактометрии и инфракрасной спектроскопии позволили установить, что активация заполнителя с добавкой пластификатора способствует плотному контакту цементных гидратов с заполнителем и созданию плотной однородной малодефектной структуры мелкозернистого бетона.

3. Исследования морозостойкости бетонов нормального твердения и после тепловлажностной обработки подтвердили, что мелкозернистые бетоны на песках, активированных растворами алюминия и с добавкой пластификатора должны обладать большей долговечностью.

Литература

1. Ольгинский А. Г. Оценка и регулирование структуры зоны контакта цементного камня с минеральными заполнителями. Дисс. докт. техн. наук. – Харьков, 1994. – 397 с.

2. Бабушкин В. И., Плугин А. А., Костюк Т. А., Матвиенко В. А. Влияние активных поверхностных центров на прочность свежеотформованных мелкозернистых бетонов // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 1998. – Вип. 5. – С. 85-88.

3.Ольгинский А. Г., Редкозубов А. А. Регулирование прочности мелкозернистых цементных бетонов по электрокинетическому потенциалу заполнителя. Вестник Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета, Выпуск №3. – Харьков, 1996. – С. 42-45.

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

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

Стаття надійшла до редакції: **14.03.2017 р**.

УДК 625.02:625.851.063

Солодкий С.Й., д-р техн. наук, **Сідун Ю.В., Волліс О.Є.**

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ НА ПРОЦЕС ТВЕРДІННЯ ЛИТОЇ ЕМУЛЬСІЙНО-МІНЕРАЛЬНОЇ СУМІШІ

Анотація. У статті наведені результати визначення швидкості формування тонкошарового покриття з литої емульсійно-мінеральної суміші в різних температурних режимах. Досліджено суміші на бітумних емульсіях, що виготовлені на основі дистиляційного та окисленого бітумів.
Ключові слова: лита емульсійно-мінеральна суміш, когезійна міцність, бітумна емульсія, температурний режим.

УДК 625.02:625.851.063

Солодкий С.И., д-р техн. наук, **Сидун Ю.В., Уоллис А.Е.**

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НА ПРОЦЕСС ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ЛИТОЙ ЕМУЛЬСІЙНО-МИНЕРАЛЬНОЙ СМЕСИ

Аннотация. В статье приведены результаты определения скорости формирования тонкослойного покрытия из литой эмульсионно-минеральной смеси в различных температурных режимах. Исследованы смеси на битумных эмульсиях, изготовленные на основе дистилляционного и окисленного битумов.
Ключевые слова: литая эмульсионно-минеральная смесь, когезионная прочность, битумная эмульсия, температурный режим.

UDC 625.02:625.851.063

Solodkyi S.Yo., Dr. Tech. Sci. **Sidun Yu.V., Vollis O.Ye.**

THE TEMPERATURE CONDITIONS INFLUENCE TO HARDENING PROCESS OF EMULSION-MINERAL MIXTURES

Abstract. In the article there are presented the results of formation rate determination for thin coating performed by slurry surfacing system at different temperature modes. There were investigated mixes on bitumen emulsions produced on the base ofdistilled and oxidized bitumens.
Keywords: slurry surfacing, cohesive strength, bitumen emulsion, temperature modes.

Вступ

Як свідчить світова практика, одним із найбільш економічних та індустріально-ефективних заходів запобігання і попередження передчасного руйнування дорожнього покриття є влаштування тонкошарових покриттів (ТП) на основі литих холодних емульсійно-мінеральних сумішей (ЛЕМС). Основним завданням влаштування ТП з ЛЕМС є продовження терміну служби існуючих покриттів в результаті герметизації волосяних тріщин і невеликих вибоїн, суттєвого підвищення шорсткості та зчіпних властивостей, рівності покриття, попередження тріщиноутворення, захисту від водонасичення, загалом – відновлення зношеного або збереження існуючого верхнього шару дорожнього покриття.

Дослідженням ЛЕМС присвячені роботи низки вітчизняних науковців [1-4], але залишається невідомим, якою мірою зміна температури навколишнього середовища протягом дорожнього сезону впливатиме на можливість виготовлення ЛЕМС з високою швидкістю набору когезійної міцності. Відомо, що ТП з ЛЕМС влаштовуються за температури + 5°С, якщо вона має тенденцію до підвищення і не влаштовуються, якщо температура повітря або покриття знижується до плюс 10°С та нижче і продовжує знижуватись [5]. Ще одним важливим погодно-кліматичним чинником, що потрібно враховувати в процесі виготовлення та твердіння ЛЕМС є вологість повітря. В праці [6] автори порівнюють вплив температури і вологості на швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС типу Slurry Seal та Micro-surfacing. Але залишається невідомим, як саме залежить швидкість формування ТП з ЛЕМС на основі дистиляційного та окисленого від температурного режиму приготування та укладання суміші. Тому метою досліджень було встановлення показників швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС на основі дистиляційного та окисленого бітумів за різних температурних режимів.

Основна частина

Дослідження проводили за трьох температурних режимів: 10 °С (висока вологість), 20 °С (нормальна вологість), 30 °С (висока вологість). Визначення швидкості набру когезійної міцності ЛЕМС за різної температури відбувалось на бітумних емульсіях (табл.1) на основі дистиляційного бітуму Nybit E85 (БД 60/90) компанії Nynas (Швеція) та на окисленому БНД 60/90«Укртатнафта».

Таблиця 1– Рецепти не модифікованих бітумних емульсій

№ рецепту та бітум	Компоненти бітумних емульсій, мас.%			
	Бітум	Емульгатор Redicote E-11	HCl у водній фазі до рівня pH	Вода
1. Nynas 100/150	62,0	1,1	2,5	до 100
2. БНД 60/90 «Укртатнафта»	62,0	1,1	2,5	до 100

Гранітний кам'яний матеріал з кар'єру ВАТ «Полонський гірничий комбінат» фракції 0-10 мм використали для підбору типу суміші 2 згідно з СОУ 42.1-37641918-119:2014 [7]. Встановлено, що показник метилену синього цього щебеню становить 10 мл, що відповідає нормам [7] (5-10 мл). Також для приготування ЛЕМС використали портландцемент ПЦ II/А-Ш-400 ПАТ «Миколаївцемент», регулятор розпаду (присадка) 10 %-й водний розчин емульгатора Redicote E-11, питну воду.

В табл. 2 та 3 наведено запроектовані склади ЛЕМС за критерієм розпаду на основі використаних бітумів за різних температур.

Таблиця 2 – Оптимальні склади ЛЕМС за критерієм розпаду на бітумній емульсії № 1 залежно від температурного режиму

№ складу	Вміст компонентів ЛЕМС, г, понад 100 г кам'яного матеріалу				Час розпад ≥ 120с (тип 2)
	Цемент	Вода	Присадка	Бітумна емульсія №1	
	T=10°C				
1.1	0,75	10	0,75	14	125
	T=20°C				
1.2	1,0	10	1,25	14	121
	T=30°C				
1.3	1,5	12	2,25	14	122

Аналіз даних табл.2 та 3 як на дистиляційному, так і на окисленому бітумах свідчить, що збільшення температури проведення випробування вимагає збільшення вмісту у складах цементу та присадки. Різниця у вмісті цементу за T=10°C та T=30°C складає 0,75 частини, присадки 1,25-1,5 частини. Також за T=30°C ЛЕМС потребує дещо більше води.

Таблиця 3 – Оптимальні склади ЛЕМС за критерієм розпаду на бітумній емульсії № 2 залежно від температурного режиму

№ складу	Вміст компонентів ЛЕМС, г, понад 100 г кам'яного матеріалу				Час розпад ≥ 120с (тип 2)
	Цемент	Вода	Присадка	Бітумна емульсія №2	
	T=10°C				
2.1	0,5	10	0,5	14	123
	T=20°C				
2.2	1,0	10	1,0	14	122
	T=30°C				
2.3	1,25	11	1,75	14	122

Швидкість формування ЛЕМС було запропоновано ділити на певні етапи з відповідними характеристиками міцності та часовими рамками (табл. 4).

Таблиця 4 – Вимоги до швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС

Час для досягнення потрібної когезійної міцності, год	Характеристики міцності			Етапи формування
	Характер руйнування	Значення крутного момент, кг·см,	Границя міцності на зсув, МПа, не менше	
Не більше 0,5	«N»– Normal	12-13	0,26	Схоплювання
Не більше 1	«NS»– Normal Spin	20-21	0,42	Самоущільнення (відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год)
-	«S» – Spin	23	0,48	Ущільнення
Не більше 4	«SS» – Solid Spin	26	0,55	*Затвердіння (відкриття руху без обмежень швидкості)
*Після даного етапу протікає етап остаточного набору когезійної міцності (Доущільнення)				

ЛЕМС також класифікують на 5 класів за критерієм швидкості набору когезійної міцності відповідно до етапів схоплювання та самоущільнення згідно з табл. 5, яка була розроблена на основі [7] з певними корективами.

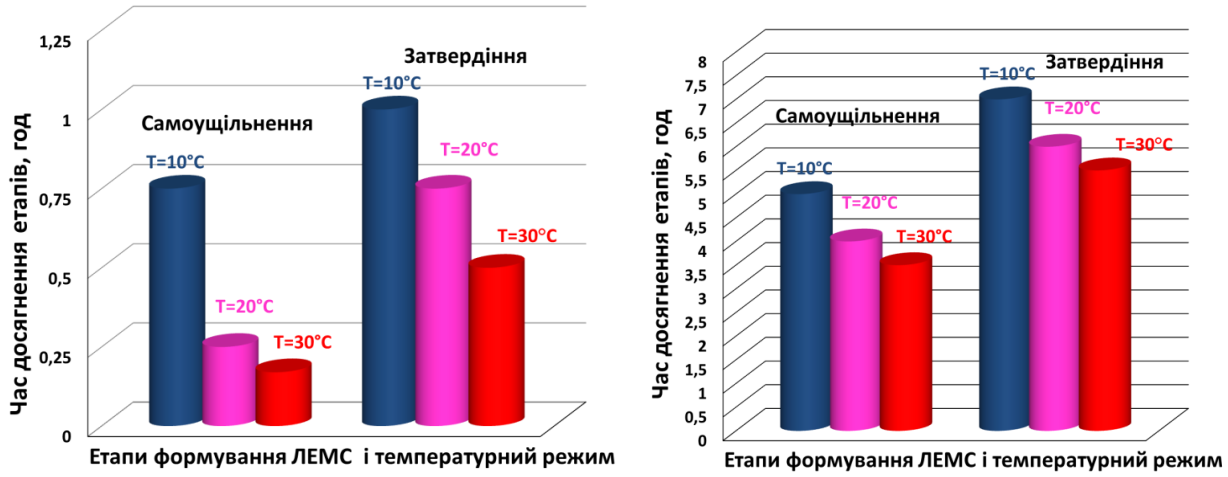
Вплив температурного режиму навколишнього середовища на показники швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС наведені в табл. 6 та на рис. 1.

Таблиця 5 – Класифікація ЛЕМС за критерієм швидкості набору когезійної міцності

Клас суміші	Етапи формування	Час, в год (хв.), до досягнення границі міцності на зсув, τ	
		0,26 МПа	0,42 МПа
1	Повільне схоплювання, повільне відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год (самоущільнення)	більше 0,5(30)	більше 1(60)
2	Швидке схоплювання, повільне відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год (самоущільнення)	не більше 0,5 (30)	більше 1 (60)
3	Фіктивне схоплювання, повільне відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год (самоущільнення)	не більше 0,33 (20)	більше 1(60)
4	Швидке схоплювання, швидке відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год (самоущільнення)	не більше 0,5 (30)	не більше 1(60)
5	Надшвидке схоплювання, надшвидке відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год (самоущільнення)	не більше 0,33 (20)	не більше 0,75(45)

Таблиця – 6 Швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС на основі бітумних емульсій з використанням окислених та дистиляційних бітумів за різних температур

Використаний бітум, температура твердіння	Показники швидкості набору когезійної міцності			
	Схоплювання, год	Самоущільнення, год	Затвердіння, год	Клас суміші
1.1 Nybit E85, T=10°C	<0,75	0,75	1,0	5
1.2 Nybit E85, T=20°C	<0,25	0,25	0,75	
1.3 Nybit E85, T=30°C	<0,17	0,17	0,5	
2.1 БНД 60/90 «Укртатнафта», T=10°C	0,5	5,0	7,0	2
2.2 БНД 60/90 «Укртатнафта», T=20°C		4,0	6,0	
2.3 БНД 60/90 «Укртатнафта», T=30°C		3,5	5,5	



а) б)

Рисунок 1 – Час досягнення етапу самоущільнення та затвердіння на бітумі NybitE85 та БНД 60/90 «Укртатнафта» за різних температурних режимів

На рис. 1 спостерігаємо, що зменшення температури навколишнього середовища знижує швидкість твердіння суміші. Це спричинено повільнішим випаровуванням та відділенням води з бітумної емульсії та суміші загалом. Хоча за високих температур ЛЕМС потребує більшої кількості присадки, що погіршує показники твердіння суміші. Але ця особливість не відіграє такої важливої ролі, як температура і вологість повітря в процесі твердіння ЛЕМС. Яскраво простежується повільне твердіння суміші за гранично низької температури влаштування ЛЕМС (Т=10°С). Але використання дистиляційного бітуму в ЛЕМС дає змогу виготовляти суміш навіть за низьких температур та підвищеної вологості повітря без значних витрат часу на її твердіння. ЛЕМС на основі окисленого бітуму навіть за високої температури (Т=30°С) не є ефективною за розвитком процесу формування ТП.

Висновок

Встановлено, що дистиляційні бітуми мають низку переваг порівняно з окисленими для використання в ЛЕМС. Суміш на дистиляційних бітумах за температури 20°С та нормальної вологості повітря характеризується надшвидким схоплюванням (<0,25 год), самоущільненням (0,25 год) та затвердінням (0,75 год), а на окислених – швидким схоплюванням (0,5 год), повільним самоущільненням (4,0 год) та затвердінням (6,0 год). Використання дистиляційного бітуму дає змогу виготовляти якісну суміш під час всіх досліджених температурних режимів на противагу суміші на окисленому бітумі.

Література

1. Островерхий О.Г. Проектування тонкошарових емульсійно-мінеральних покриттів дорожніх одягів : Автореф. дисертації на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: 05.22.11 / О.Г. Островерхий / Нац. транспорт. ун-т. — К., 2002. — 16 с.

2. Кіщинський С.В., Кириченко Л.Ф., Бондар Н.А., Любченко Н.М. Моніторинг якості бітумів, які використовуються в Україні для дорожнього будівництва // Автошляховик України. - 2007. - № 6. - С. 24-26.

3. В.Я. Савенко, О.Г.Островерхий, В.І.Каськів. Влаштування тонкошарових покриттів на автомобільних дорогах державного значення // Автошляховик України. - 2007. - № 1. - С. 40-42.

4. Кіщинський С.В., Гончаренко Ю.Ф., Гнатюк Е.М. Досвід та проблеми влаштування на дорогах України тонкошарових покриттів типу «Сларрі Сіл». // Дороги і мости: Збірник наукових праць.– К.: ДерждорНДІ, 2008. – Випуск 10.

5. ВБН В.2.3-218-175-2002 «Влаштування тонкошарових покриттів з литих емульсійно-мінеральних та холодних асфальтобетонних сумішей» – Київ:Укравтодор. 2002.

6. Г. Холлеран, И. Мотина. Современные технологии содержания дорожных покрытий. Дорожная техника. Вып. 2. 2005. с. 18-28.

7. СОУ 42.1-37641918-119:2014. Суміші литі емульсійно-мінеральні Технічні умови. - Київ:Укравтодор.2014.

Рецензенти:
Савенко В.Я., д-р тех. наук, Національний транспортний університет.
Жданюк В.К., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Reviewers:
Savenko V.Ya., Dr. Tech. Sci., National Transport University.
Zhdaniuk V.K., Dr. Tech. Sci., Kharkiv National Automobile and Highway University.

Стаття надійшла до редакції: **27.02.2017 р**.

УДК 666.972

Толмачов С.М., д-р техн. наук, **Бєліченко О.А.**, канд. техн. наук, **Захаров Д.С.**

ВПЛИВ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА ПРИ ОЦІНКИ МІЦНОСТІ БЕТОНУ ПРИ ЗГИНІ

Анотація. У статті проведено зіставлення результатів випробувань міцності бетону на зразках балочках з перетином 4х4 та 7х7 см. З'ясовано вплив масштабного фактора на міцність бетону при згині. Встановлено масштабний коефіцієнт для приведення міцності при стиску зразків бетону з половинок балочок розміром 4х4х16 см до міцності стандартного зразка. Показано, що для бетонів з максимальним розміром заповнювача 10 мм при випробуванні на згин масштабним фактором для зразків перетином 4х4...7х7 см можна знехтувати.
Ключові слова: бетон, масштабний фактор, міцність при стиску, міцність при згині, зразки-балочки

УДК 666.972

Толмачев С.М., д-р техн. наук, **Беличенко А.А., .**, канд. техн. наук, **Захаров Д.С.**

ВЛИЯНИЕ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА ПРИ ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ПРИ ИЗГИБЕ

Аннотация. В статье приведены сопоставления результатов испытаний прочности бетона на образцах балочках с сечением 4х4 и 7х7 см. Установлено влияние масштабного фактора для приведения прочности при сжатии образцов бетона из половинок балочек размером 4х4х16 см к прочности стандартного образца. Показано, что для бетонов с максимальным размером заполнителя 10 мм при испытании на изгиб масштабным фактором для образцов с сечением 4х4…7х7 см можно пренебречь.
Ключевые слова: бетон, масштабный фактор, прочность при сжатии, прочность при изгибе, образцы-балочки

UDC 666.972

Tolmachov S.M., Dr. Tech. Sci., **Bielichenko O.A.**, Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), **Zakharov D.S.**

THE INFLUENCE OF THE SCALE FACTOR IN ASSESSING THE STRENGTH OF CONCRETE IN FLEXURAL

Abstract. The article compares the results of concrete strength tests on beams samples with cross-sections 4x4 and 7x7 cm. The influence of a scale factor for reducing the compressive strength of concrete samples from beads halves 4x4x16 cm in size to the strength of a standard sample is established. It is shown that for concrete with a maximum filler size of 10 mm in the bend test, the scale factor for samples with a cross section of 4x4...7x7 cm can be neglected.

Keywords: concrete, scale factor, compressive strength, flexural strength, beam samples

Стан питання. При будівництві об'єктів транспортного призначення в проектній документації серед показників якості бетону вказують класи міцності бетону на стиск та на розтяг при згині. На практиці клас міцності на стиск легко визначають при випробуванні зразків-кубів різного розміру. Це куби з ребром 70,7 мм, 100 мм, значно рідше - куби з ребром 150 мм. Це пов'язано з великою трудомісткістю проведення випробувань таких кубів.

Для оцінки реальних значень міцності, марки і класу в ДСТУ Б В.2.7-214:2009 «Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками» зазначено, що для переходу від міцності кубів з ребрами різного розміру введені масштабні коефіцієнти. Так, наприклад, для переходу від міцності зразка з ребром 70,7 мм до міцності еталонного зразка з ребром 150 мм передбачений понижуючий коефіцієнт 0,85, для зразка з ребром 100 мм - коефіцієнт 0,95. Вибір розміру зразка (довжини ребра куба) залежить в цьому випадку від максимальної крупності зерен заповнювача (зазвичай щебеню). Такий стандартний підхід був спрямований на те, що в кожному разі використання заповнювача певної крупності можна виготовляти зразок бетону певного розміру. Оскільки при будівництві верхніх шарів доріг і майданчиків

часто використовували щебінь з максимальною крупністю 40 мм, то довжина ребра куба для виготовлення зразків з таким щебенем автоматично приймали 100 або 150 мм.

В останні десятиліття відбулися зміни в рекомендаціях з будівництва об'єктів транспортного, цивільного і побутового призначення. Вони торкнулися максимальної крупності заповнювача: для виготовлення виробів дорожнього призначення рекомендується застосовувати щебінь розміром не більше 20 мм, а часто - не більше 10 мм. Це пов'язано з появою інноваційних технологій і матеріалів, які широко застосовують у всіх галузях будівельного виробництва. За нашими даними зменшення крупності заповнювача дозволяє:

- підвищити рухомість бетонних сумішей і одночасно підвищити їх стійкість до розшарування;

- забезпечити підвищене повітровтягування в бетонну суміш при одній і тій ж витраті повітровтягувальної добавки;

- підвищити збереженість властивостей бетонних сумішей у часі;

- збільшити середню щільність сумішей і бетонів, відповідно підвищити фізико-механічні характеристики бетонів.

Актуальність. Звідси випливає, що при зменшенні максимальної крупності заповнювача для випробувань можна використовувати зразки бетону меншого розміру. Однак, при цьому може виникнути питання: наскільки результати, отримані на зразках меншого розміру, відповідають показникам стандартного зразка, у якого масштабний коефіцієнт $\alpha = 1$.

Для дорожніх бетонів верхніх шарів покриттів і дорожніх виробів особливо важливим є висока міцність при згині. У ДСТУ Б В.2.7-214:2009 для приведення результатів випробувань міцності при згині, отриманих на зразках різного розміру, рекомендується використовувати ті ж коефіцієнти, що і для міцності при стиску. Однак, якщо врахувати, що випробування на згин проводять на зразках-балочках по одній і тій же схемі, і формула для обчислення результату також однакова, то актуальним є оцінка впливу масштабного фактора (розміру зразка) на міцність при згині.

Матеріали. У дослідженнях використовували цемент М500 Балаклійського цементного заводу, щебінь гранітний фр. 5-10 мм Кіровоградграніт, пісок річний Новопавлівського кар'єру. Склад бетону: Ц - 350 кг/м^3, П - 600 кг/м^3, Щ5-10 - 1300 кг/м^3, В/Ц = 0,5, рухомість сумішей П1. Зразки бетону виготовляли у формах-балочках 4х4х16 см і 7х7х28 см. Відомо, що

розрахунок міцності при згині при одноосьовому прикладання навантаження проводять за формулою:

$$R_{изг} = \alpha \frac{3}{2} \cdot \frac{Pl}{bh^2}, \quad (1)$$

де: α - масштабний коефіцієнт; P - величина руйнівного навантаження, кг;

l - довжина прольоту балки, см;

b - ширина балки, см;

h - висота балки, см.

Для балок розміром 7х7х28 см використовували цю розрахункову формулу. Схема випробувань наведена на рис. 1.

Балки розміром 4х4х16 см випробували на пресі МІІ-100 (машина для випробування на згин з прольотом 100 мм). Оскільки розміри зразків для МІІ-100 і база фіксовані, то прес показує при випробуванні готовий результат міцності при згині в кг/см^2. В основі розрахунку готового результату міцності при згині цього преса лежить та ж формула.

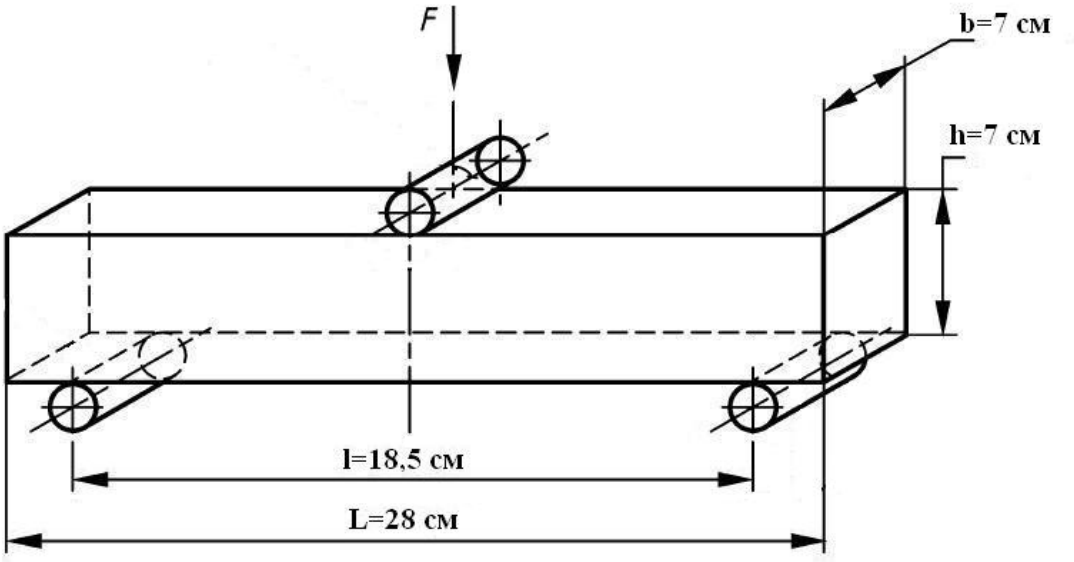


Рисунок 1 - Схема випробувань зразків-балочок 7х7х28 см на згин

Експериментальні дослідження. З огляду на вищевикладене можна припустити, що якщо зразки-балочки виготовлені з одних і тих же матеріалів, а для розрахунку міцності при згині використовують одну і ту ж формулу, то вплив масштабного фактора може бути зведено до 0.

Таблиця 1 – Міцність при згині зразків бетону різного розміру

№ з/п	Вік зразків, діб	Міцність при згині зразків бетону, МПа, розміром	
		7х7х28 см	4х4х16 см
1	3	3,08	3,2
2	7	4,21	4,15
3	28	5,26	5,1
4	60	7,37	7,5
5	90	7,69	7,8
6	210	7,96	8,1

Дослідження, проведені на кафедрі ТДСМ і хімії ХНАДУ, показали, що отримані результати значень міцності при згині для балочок різного розміру, добре корелюють між собою (табл. 1). Якщо при розрахунку прийняти, що масштабний коефіцієнт α = 1, то в усі спостережувані терміни твердіння показники міцності при згині зразків-балочок різних розмірів приблизно однакові. Це підтверджує раніше висловлене припущення про те, що при визначенні міцності при згині за наведеною стандартною схемою на одних і тих же матеріалах масштабний фактор не відіграє ні якої ролі.

У подальших дослідженнях оцінювали міцність зразків - половинок балочок при стиску (табл. 2). Основним завданням цих досліджень було встановлення впливу масштабного фактора на міцність зразків бетону при стиску.

Таблиця 2 – Міцність при стиску зразків-половинок балочок різного розміру

№ з/п	Вік зразків, діб	Міцність при стиску половинок балочок, МПа			
		7х7х28 см		4х4х16 см	
		$R_{ст}$, α = 1	$R_{ст}$, α = 0,85	$R_{ст}$, α = 1	$R_{ст}$, α = 0,75
1	3	21,75	18,49	25,11	18,83
2	7	30,65	26,05	33,84	25,38
3	28	35,62	30,28	38,78	29,1
4	60	38,01	32,3	41,44	31,08
5	90	42,82	36,4	45,31	33,98
6	210	46,24	39,30	49,54	37,16

Зіставлення міцності при стиску зразків-половинок балочок показує, що якщо прийняти масштабний коефіцієнт для балочок різного розміру рівним 1, то найбільші значення міцності при стиску відповідають зразкам-половинкам

балочок розміром 4х4х16 см. Це означає, що для визначення реальної міцності бетону необхідно використовувати масштабний коефіцієнт.

З огляду на рекомендації ДСТУ Б В.2.7-214:2009 для приведення міцності зразків-половинок балочок 7х7х28 см до міцності стандартного зразка слід значення отриманої міцності при стиску помножити на масштабний коефіцієнт α = 0,85. Наші дослідження показали, що для приведення міцності при стиску зразків-половинок балочок розміром 4х4х16 см необхідно використовувати коефіцієнт α = 0,75. Дані таблиці показують, що в цьому випадку чисельні значення наведеної міцності при стиску для зразків різного розміру у віці до 28 діб природного твердіння збігаються. У більш пізні терміни твердіння очевидно, що використання масштабного коефіцієнта α = 0,75 для половинок балочок 4х4х16 см не приводить до однакових результатів по міцності при стиску з половинками балочок розміром 7х7х28 см. Міцність останніх вище і відрізняється на величину 4...7 %. Можливо, що ця відмінність пов'язана з особливостями структуроутворення більш масивних бетонних елементів, структура яких згодом стає більш щільною через заростання внутрішніх дефектів.

Слід зазначити, що отримані результати відносяться до бетонів з однофракційним дрібним щебенем і вимагають подальших уточнень для бетонів, до складу яких входять дві фракції щебеню.

Висновки

1. Експериментально доведено, що для бетонів з максимальним розміром заповнювача 10 мм при випробуванні на згин масштабним фактором для зразків перетином 4х4...7х7 см можна знехтувати.

2. Встановлено, що масштабним коефіцієнтом для приведення міцності при стиску зразків бетону з половинок балочок розміром 4х4х16 см до міцності стандартного зразка є коефіцієнт α = 0,75.

3. Показано, що при визначенні міцності при стиску на зразках-половинках балочок розміром 4х4х16 см через 28 діб природного твердіння масштабний коефіцієнт вимагає уточнення.

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

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

Стаття надійшла до редакції: **10.03.2017 р**.

УДК 504:625.711.1:502.5

Хрутьба В.О., д-р техн. наук, **Крюковська Л.І.**

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ ЯК ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ

Анотація. У статті запропоновано математичні моделі залежності активності металургійних шлаків від їх хімічного складу. Результати моделювання дозволяють прогнозувати властивості шлаків для застосування їх як альтернативного дорожньо-будівельного матеріалу.
Ключові слова: альтернативний дорожньо-будівельний матеріал, металургійний шлак, активність, математичні моделі.

УДК 504:625.711.1:502.5

Хрутьба В.А., д-р техн. наук, **Крюковская Л.И.**

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ КАК ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

Аннотация.. В статье предложены математические модели зависимости активности металлургических шлаков от их химического состава. Результаты моделирования позволяют прогнозировать свойства шлаков для применения их в качестве альтернативного дорожно-строительного материала.
Ключові слова: альтернативный дорожно-строительный материал, металлургический шлак, активность, математические модели.

UDC 504:625.711.1:502.5

Khrutba V. A., Dr. Tech. Sci., **Kriukovska L.I.**

MATHEMATICAL MODELING OF PROPERTIES OF METALLURGICAL SLAGS AS ROAD-BUILDING MATERIAL

Abstract. In the article mathematical models of metallurgical slag activity depending on their chemical composition proposed. The results of modeling allow predicting characteristics of slag for use as an alternative road-building material.
Keywords: Alternative road-building material, metallurgical slag, activity, mathematical models

Вступ

Дорожнє господарство є споживачем значної кількості природних ресурсів. У будівництві автомобільних доріг витрати на матеріали перевищують 60%. Від їх якості залежить безпека руху, економічна ефективність автомобільного транспорту, а також споживчі властивості (коефіцієнт зчеплення, рівність тощо) і довговічність споруд. Забезпечення ресурсозбереження природних матеріалів можливо за рахунок розширення асортименту заповнювачів та використання нетрадиційних матеріалів (місцевих, штучних, відходів промисловості тощо).

Інтенсивні темпи дорожнього будівництва потребують пошуку альтернативних замінників природних будівельних матеріалів. Заміна природних дорожньо-будівельних матеріалів відходами або побічними продуктами промисловості сприяє впровадженню ресурсозберігаючих технологій та зниженню вартості дорожнього будівництва. *З технічної та природоохоронної точок зору вторинні матеріали повинні використовуватися так, щоб не погіршувати експлуатаційних і екологічних характеристик автомобільних доріг.*

Одним із пріоритетних напрямів у сфері використання вторинних ресурсів є подальша розробка технологій і розширення виробництв з переробки багатотоннажних відходів видобувної, металургійної, хімічної та інших галузей промисловості в будівельні матеріали та конструкції. До таких відходів відносяться шлаки металургійної промисловості, зокрема, металургійні шлаки, які є відходами металургійного виробництва [1]. При оцінці шлаків як сировини для дорожньо-будівельних матеріалів важливою характеристикою є хімічний склад, який значно впливає на фізичні властивості шлакових розплавів, структуру і властивості затверділих шлаків.

Отже, дослідження властивостей шлаку, аналіз залежності їх активності від хімічного складу дозволить визначити міцнісні характеристики шлаків на окремих металургійних комбінатів. Найбільш ефективним підходом до прогнозування властивостей шлаків є розробка математичних моделей залежності активності від хімічного складу металургійного шлаку, які дозволять обґрунтувати можливість розробки конструкції дорожнього одягу з альтернативними дорожньо-будівельними матеріалами.

Експериментальні та теоретичні дослідження

Багаторічний досвід дорожніх організацій показує, що вся продукція шлакопереробки економічно вигідна. Розрахункові нормативно-технічні характеристики для основних українських шлаків, а особливо доменних і гранульованих доменних в 1,5-2,0 рази вищі за нормативні показники на продукцію із природних кам'яних матеріалів. Важливим фактором, який стимулює використання шлаків, є постійне загострення енергетичної кризи, так як виробництво продукції із вторинних матеріалів потребує в 2-4 рази менше енергії, ніж для виробництва рівноцінної продукції із природної сировини [2].

Використання металургійних шлаків як замінників природних кам'яних матеріалів у дорожньому будівництві сприяє вирішенню таких проблем:

по-перше, значне вивільнення земельних площ, які займають шлакові відвали, що сприятиме вирішенню екологічних проблем забруднення прилеглих територій і сплати штрафів металургійними комбінатами за розміщення кожної тони шлаку, що покращить їх економічний стан;

по-друге, шлак як ресурс для дорожньої галузі має свою споживчу вартість;

по-третє, це суттєва економія природних кам'яних матеріалів при дорожньому будівництві, яка сприятиме збереженню природних ресурсів країни.

Дослідження властивостей металургійних шлаків як замінників природних кам'яних матеріалів в дорожньому будівництві проводились багатьма авторами. Аналіз публікацій, присвячених проблемі використання відходів промисловості для дорожнього будівництва [3, 4, 5], свідчить, що дослідження вчених спрямовані на вивчення фізико-хімічних властивостей основних видів відходів різних галузей промисловості; розробку теоретичної бази формування штучних будівельних матеріалів і виробів на основі відходів різних галузей промисловості; розробку нормативно-технічної та інструктивної документації на виготовлення і використання будівельних матеріалів з відходів промисловості. В той самий час, окремого дослідження потребує аналіз властивостей шлаку як дорожньо-будівельного матеріалу, що визначає область його використання.

Основним показником міцності шлаку як матеріалу дорожнього одягу є активність, що визначається як границя міцності при стиску зразків у водонасиченому стані протягом 28 діб. На активність шлаків впливають: процентний вміст оксидів кремнію, алюмінію, кальцію, магнію, заліза. Оптимальний вміст цих оксидів є основою для розрахунку конструкцій

дорожнього одягу (КДО) при впровадженні технологій будівництва та реконструкції автомобільних доріг з використанням шлаків.

Гідравлічна активність шлаків оцінюється модулем основності (Мо), модулем активності (Ма) і коефіцієнтом якості (К) [6]:

$$Mo = \frac{CaO + MoO}{SiO_2 + Al_2O_3}\%. \quad (1) \qquad Mo = \frac{Al_2O_3}{SiO_2}\%. \quad (2)$$

$$K = \frac{CaO + Al_2O_3 + MgO}{SiO_2 + TiO_2}\%. \quad (3) \qquad K = \frac{CaO + Al_2O_3 + 10}{SiO_2 + TiO_2 + (MgO - 10)}\%. \quad (4)$$

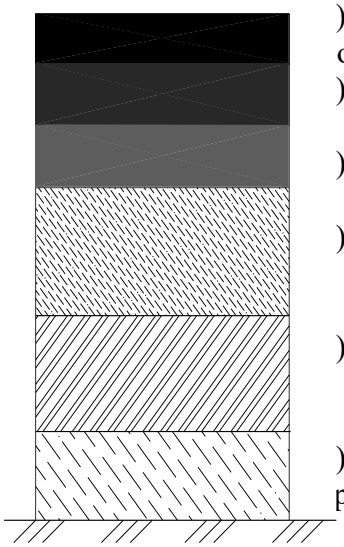
За величиною модуля основності шлаки підрозділяють на п'ять груп: високоосновні (Мо > 2,5), основні (Мо = 2,5-1,5), середні (Мо = 1,0-1,5), кислі (Мо = 1,0-0,5) і ультракислі (Мо < 0,5). Ця характеристика є важливою при оцінці шлаків як сировини для отримання будівельних матеріалів.

Менше значення активності шлаків зумовлює їх меншу міцність і вимагає призначення конструктивного шару більшої товщини і навпаки, більша активність відповідає їх більшої міцності і вимагає конструктивного шару меншої товщини.

За результатами досліджень запропонована одна із КДО з використанням металургійних шлаків: (асфальтобетон гарячий щільний дрібнозернистий марки І на полімербітумному в'яжучому; асфальтобетон щільний грубозернистий типу Б марки І; асфальтобетон гарячий пористий грубозернистий марки І; щебінь гранітний фракції 0-70, укріплений 6 % цементу; шлак доменний відвальний; ґрунт, укріплений 4 % цементу 3 класу міцності) (рис.1) [7].

Для визначення впливу властивостей шлаків різних металургійних комбінатів на міцність проведемо аналіз експериментально-статистичних даних, що дозволяє сформувати ранжований ряд показників активності шлаків різних металургійних комбінатів і визначити передумови формування відповідної КДО.

Об'єктом дослідження в роботі є металургійні шлаки таких комбінатів, як ВАТ «Криворіжсталь», ВАТ «Дніпровський металургійний комбінат», ВАТ «ММК імені Ілліча», ВАТ «Запоріжсталь», ВАТ «Азовсталь», ВАТ «ЄМЗ». Виходячи із існуючих технологічних даних та апріорної інформації, відомо, що множиною умов X, які впливають на міцнісні характеристики шлаків є такі фактори: X_1 - вміст SiO_2, X_2 - вміст Al_2O_3, X_3 - вміст CaO, X_4 - вміст MgO, X_5 - вміст FeO_2. Вихідною величиною є Y - активність R_{28}, МПа.



) Асфальтобетон гарячий щільний дрібнозернистий марки І на олімербітумному в'яжучому
) Асфальтобетон щільний грубозернистий типу Б марки І

) Асфальтобетон гарячий пористий грубозернистий марки І

) Щебінь гранітний фракції 0-70, укріплений 6 % цементу

) Шлак доменний відвальний нижнього шару основи

) Ґрунт, укріплений 4 % цементу, 3 класу міцності
рунт робочого шару земляного полотна – супісок піщанистий

Рисунок 1 – Конструкція дорожнього одягу з використанням шлаків доменних відвальних при будівництві автомобільних доріг І категорії

В табл.1 приведено експериментально визначені значення хімічного складу шлаку двох металургійних комбінатів та розраховане значення їх активності.

Обробку результатів дослідження та оцінку параметрів математичної моделі здійснюємо методом найменших квадратів (МНК). Параметри багатофакторної моделі обчислюють за формулою [8]:

$$B = (X'X)^{-1} X'Y \tag{5}$$

де X – матриця незалежних змінних; X' - транспонована матриця X; Y - вектор значень залежної змінної.

Використання МНК для обробки результатів дозволило одержати рівняння регресії, які описують залежність активності шлаків від їх хімічного складу. Наприклад, модель для ВАТ «Криворіжсталь» має такий вигляд:

$$Y_1 = 8{,}846 - 0{,}388 \cdot X_1 + 0{,}302 \cdot X_2 + 0{,}199 \cdot X_3 + 0{,}376 \cdot X_4 - 6{,}781 \cdot X_5 . \tag{6}$$

Таблиця 1 – Хімічний склад шлаку металургійних комбінатів

№ проби	Вміст					Активність R_{28}, МПа	
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	FeO_2	експериментальна	розрахункова
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y	$\hat{Y}$
Шлаки доменні відвальні ВАТ «Криворіжсталь»							
1	39,2	8,9	52,8	6,4	0,3	7,2	7,2035
2	39,9	9,8	50,2	5,9	0,33	6,3	6,29487
3	38,2	8,8	51,8	4,6	0,3	6,8	6,6855
4	38,3	9,7	49,9	6,3	0,34	7	6,90836
5	38,4	7,6	51,8	5,2	0,3	6,5	6,4711
6	37,9	7,6	50,8	4,6	0,35	5,9	5,90145
7	37,7	7,7	51,1	5	0,3	6,6	6,5584
8	37,3	9,8	51	5,6	0,32	7,4	7,41788
9	37,5	8,2	49,8	4,7	0,3	6,4	6,4155
10	38,6	9,9	51,8	4,7	0,3	6,9	6,9001
Шлаки доменні відвальні ВАТ «Дніпровський металургійний комбінат»							
1	37	9,1	51,8	5,6	0,47	6,75	6,7404
2	36,75	9	51,7	5,5	0,39	6,65	6,6846
3	36,7	8,78	51,9	5,45	0,47	6,62	6,6041
4	36,5	8,7	50,8	5,2	0,45	6,61	6,5952
5	36,3	8,69	50,3	5,1	0,38	6,58	6,5839
6	36,4	8,1	50,9	4,8	0,36	6,46	6,4356
7	36	7,87	50,1	4,2	0,45	6,42	6,3564
8	35,9	7,75	50,7	4,1	0,45	6,3	6,2952
9	35,8	7,8	50,9	4,16	0,47	6,25	6,2816
10	35	7,39	50,5	4,09	0,42	6	6,0461

Модель для ВАТ «Дніпровський металургійний комбінат» така:

$$Y_2 = -0{,}373 + 0{,}17 \cdot X_1 + 0{,}29 \cdot X_2 - 0{,}027 \cdot X_3 - 0{,}068 \cdot X_4 - 0{,}077 \cdot X_5. \quad (7)$$

Коефіцієнти регресії показують, наскільки зміниться активність при зміні відповідного фактору на одиницю при умові, що інші фактори, включенні у рівняння, лежить на середньому рівні. Наприклад, для шлаків ВАТ «Криворіжсталь» при середніх значень інших хімічних сполук збільшення кількості SiO_2 на один бал сприяє зменшенню активності на 0,388 МПа. Для шлаків ВАТ «Дніпровський металургійний комбінат» збільшення SiO_2 на один бал сприяє збільшенню активності на 0,17 МПа.

Оцінка адекватності одержаних моделей за критерієм Фішера дозволила стверджувати, що одержані моделі є адекватними, тобто підтверджується гіпотеза про те, що кількісна оцінка зв'язку між залежною і незалежними змінними в моделі є суттєвою. $F_{\text{табл}}(0{,}95)$ для моделей дорівнює 5,32. Так як F_p

= 2,1129, а $F_{T=}$ то 2,1129 < 5,32. Регресійні рівняння вважається адекватними, так як виконується співвідношення $F_p < F_T$.

Одержані моделі дозволяють прогнозувати властивості шлаків окремих металургійних комбінатів для розробки відповідної конструкції дорожнього одягу.

Графічна інтерпретація результатів обчислювального експерименту для ВАТ «Криворіжсталь» представлена на рис.2 у вигляді ізоліній та ізоповерхні активності. Представлені діаграми дозволять визначати значення активності шлаку в залежності від зміни вмісту (SiO_2 X_1) та вмісту Al_2O_3 (X_2) при стабілізації інших факторів на середньому рівні .

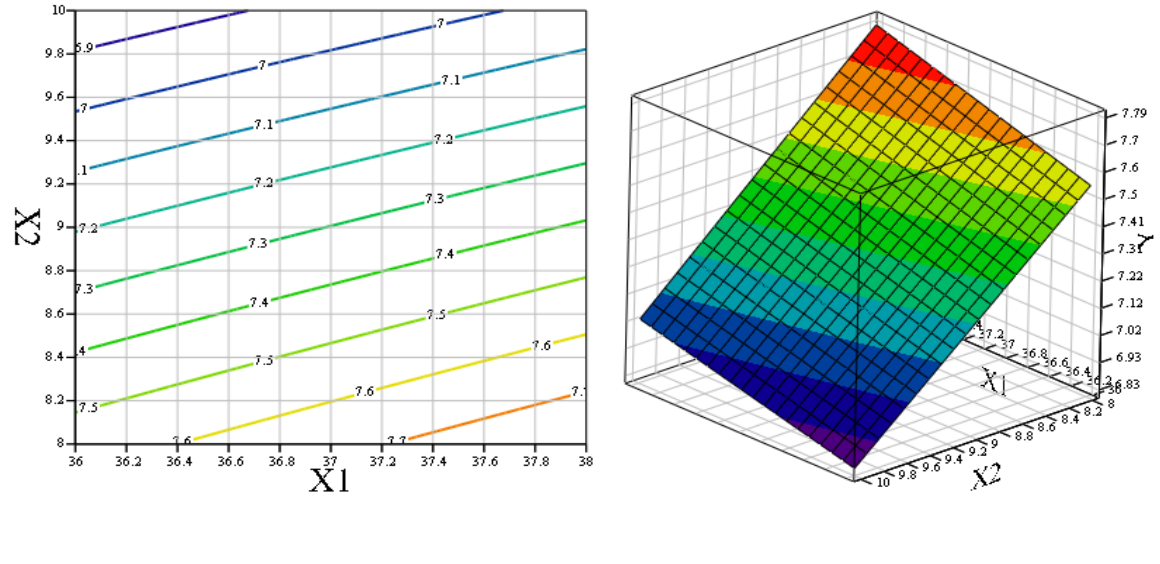


Рисунок 2 – Ізолінії та ізоповерхні активності шлаку ВАТ «Криворіжсталь»

Використання багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу залежності активності шлаків від їх хімічного складу дозволило визначити міцнісні характеристики шлаків для кожного металургійного комбінату. В ранжованому ряді активність шлаків металургійних комбінатів розміщуємо в такій послідовності: ВАТ «Криворіжсталь» (R_{28}=6,7 МПа); ВАТ «Дніпровський металургійний комбінат» (R_{28}=6,464 МПа); ВАТ «ММК імені Ілліча» (R_{28}=6,25 МПа); ВАТ «Запоріжсталь» (R_{28}=5,89 МПа); ВАТ «Азовсталь» (R_{28}=5,53 МПа); ВАТ «ЄМЗ» (R_{28}=5,3 МПа).

Висновки

1. Показано, що застосування металургійного шлаку як дорожньо-будівельного матеріалу сприяє значному вивільненню земельних площ, які займають шлакові відвали, є ресурсом для дорожньої галузі і має свою споживчу

вартість. Це дозволяє суттєво економити природні кам'яні матеріали при дорожньому будівництві і сприяє збереженню природних ресурсів країни.

2. Встановлено, що товщина конструктивного шару дорожнього одягу залежить від міцнісних харктеристик шлаку та значення його активності.

3. Розроблено математичні моделі залежності активності шлаків від їх хімічного складу, що дозволяє прогнозувати міцнісні характеристики шлаків для ВАТ «Криворіжсталь» ВАТ «Дніпровський металургійний комбінат», ВАТ «ММК імені Ілліча», ВАТ «Запоріжсталь», ВАТ «Азовсталь», ВАТ «ЄМЗ» і обґрунтувати доцільність впровадження тієї чи іншої технології будівництва і реконструкції автомобільних доріг.

Література

1. Копач П.І. Проблема зниження відходності господарських комплексів гірничо-металургійного регіону та шляхи її вирішення / П.І. Копач, Я.Я. Сердюк // Екологія і природокористування. - 2011. - Випуск 14. - С.161-177.

2. Скорченко В.Ф. Застосування металургійних шлаків при будівництві автомобільних доріг як замінників традиційних дорожньо-будівельних кам'яних матеріалів. / Л.І. Крюковська, В.Ф. Скорченко // Тези доповідей. – К: НТУ, 2007. - с.124.

3. Шаповалов Н.А. Рациональные пути использования сталеплавильных шлаков / Н.А. Шаповалов, Л.Х. Загороднюк, И.В. Тикунова, А.Ю. Шекина // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 1-2. – С. 439-443.

4. Пугин К. Г. Отходы черной металлургии для дорожных одежд жесткого типа / К. Г. Пугин, В. С. Юшков // Молодой ученый. — 2012. — №6. — С. 45-49.

5. Крюковська Л.І. До еколого-економічної оцінки заміни природніх матеріалів металургійними шлаками при будівництві доріг / Л.І.Крюковська // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ – 2013. – Вип. 27. — С.359-363.

6. Розробка технологій поводження з відходами в транспортно-дорожньому комплексі Звіт про виконання науково-дослідної роботи / Держбюджетна тема № 76 № держреєстрації 0107U009610; Мін-во освіти Україна, Національний транспортний університет. — К., 2008. — 110 с. — Деп. в ВИНИТИ 13.06.02, № 145432.

7. Хрутьба В.О. Техніко-економічне та екологічне обґрунтування застосування шлаків чорної металургії у дорожньому будівництві / В.О. Хрутьба, Л.І.Крюковська // Збірка тез доповідей VIII Міжнародної наукової конференції аспірантів і студентів «Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів». – Донецьк:, 2009. - с.32.

8. Горкавий В.К. Математична статистика: - Навчальний посібник. / В.К. Горкавий, В. В. Ярова // – К.: ВД «Професіонал», 2004. - 384 с.

Рецензенти:
Внукова Н.В., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.
Оніщенко А.М., канд. нехн. наук, Національний транспортний університет.

Reviewers:
Vnukova N.V., Dr. Tech. Sci., Kharkiv National Automobile and Highway University.
Onischenko A.M., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.)б National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **25.03.2017 р.**

БУДІВНИЦТВО ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ДОРІГ І АЕРОДРОМІВ

УДК 629.3.054.26

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

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ З ОБІГРІВОМ

Анотація. Високий рівень безпеки й регулярності польотів в осінньо-зимовий період експлуатації аеродромів у значній мірі залежить від готовності злітно-посадкової смуги (ЗПС) до виконання злітно-посадкових операцій, що, у свою чергу, обумовлюється попередженням утворення ожеледі й видалення снігу різної щільності на аеродромних покриттях або їх видаленням в мінімальний термін. До числа прогресивних рішень в області вдосконалення методів і засобів зимового утримання аеродромів відносять тепловий спосіб, заснований на обігріві штучних аеродромних покриттів за допомогою спеціальних обігріваючих систем.

Ключові слова: аеропорт, аеродромні покриття, ожеледні утворення, системи електрообігріву

УДК 629.3.054.26

Закревский А.И., канд. техн. наук, **Попелыш И.И.,** канд. техн. наук,
Коритчук С.А.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОБОГРЕВАЕМЫХ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ

Аннотация. Высокий уровень безопасности и регулярности полетов в осенне-зимний период эксплуатации аэродромов в значительной степени зависит от готовности искусственной взлетно-посадочной полосы (ИВПП) к выполнению взлетно-посадочных операций, что, в свою очередь, предупреждением

образования гололеда и удаления снега разной плотностина аэродромных покрытиях или их удалением в минимальные сроки. К числу прогрессивных решений в области усовершенствования методов и средств зимнего содержания аэродромов относят тепловой способ, основанный на обогреве искусственных аэродромных покрытий с помощью специальных обогреваемых систем.
Ключевые слова: аэропорт, аэродромные покрытия, гололедные образования, системы электрообогрева.

UDC 629.3.054.26

Zakrevskyi A. I., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), **Popelysh I. I.,** Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), **Koritchuk S. A.**

PROSPECTS FOR THE USE OF HEATED AIRPORT PAVEMENTS

Abstract. The High level to safety and regular flight in autumn-winter period to usages aerodrome to a considerable extent for-hungs from readiness of the artificial runway to you-making someone look fat run operation that, in turn, warning the formation ice and compacted snow on aerodromes covering or their removing at minimum periods. Some of the innovative solutions in methods and means of improving the winter maintenance airfields include thermal method based on artificial heating airfield pavements heated by means of special systems.
Keywords: airport, aerodromes coverage, giaze education, system electicaiiy heated

Одним из важных факторов, определяющих эффективность использования самолетного парка, является состояние поверхности аэродромных покрытий, которое оказывает влияние как на безопасность выполнения взлетно-посадочных операций самолетов, так и на техническое состояние самих самолетов. Состояние аэродромных покрытий оценивается рядом показателей, из которых оперативно изменяющимся являются фрикционные свойства поверхности покрытия, определяющие его способность обеспечить надлежащие условия сохранения путевой устойчивости и управляемости самолета на взлетно-посадочной полосе, а также гашение кинетической энергии самолета при торможении колесами шасси на пробеге или в случае прерваного взлета. Наличие загрязнителей на поверхности покрытия, одним из видов которых

являются осадки, отрицательно сказывается на эксплуатационных качествах покрытия из-за снижения коэффициента сцепления и вероятности возможности попадания осадков в двигатели самолетов.

Важным требованием к содержанию поверхности аэродромных покрытий является своевременное и тщательное удаление с покрытий любых видов загрязнителей, в том числе и зимних осадков в виде снега, слякоти, льдообразований.

К числу прогрессивных решений в области усовершенствования методов и средств зимнего содержания аэродромов относят тепловой способ, основанный на обогреве искусственных аэродромных покрытий с помощью специальных обогревающих систем. Этот способ позволяет вести борьбу со снегом и гололедными образованиями не прекращая эксплуатации покрытий, что является его главным преимуществом (по сравнению с другими способами очистки), имеющим важное значение для аэропортов с высокой интенсивностью движения самолетов. В настоящее время уже накоплен определенный опыт проектирования, строительства и эксплуатации обогреваемых покрытий (главным образом дорожных), что дает возможность систематизировать их конструктивные особенности, выявить основные достоинства и недостатки, а также сделать некоторые предварительные выводы о целесообразности применения на аэродромах.

Для обогрева искусственных покрытий находят применение в основном два вида нагревательных систем: трубопроводные с циркулирующим в них теплоносителем и электрические.

Трубопроводные системы обогрева, в которых в качестве теплоносителя используются различные технические жидкости с низкой температурой замерзания (минеральные масла, этиленгликоль, водные растворы алкоголя и др.), водяной пар или воздух, относятся к стационарным нагревательным системам. Они устраиваются путем укладки в покрытия (в период строительства или реконструкции) полиэтиленовых или металлических труб диаметром от 25 до 50 мм в виде змеевиков или секций сварных параллельных трубчатых элементов, предназначенных для принудительной циркуляции теплоносителя. Трубы заглубляют в покрытие на несколько сантиметров от поверхности и располагают на расстоянии 30-45 см одна от другой. Каждая система обогрева, кроме того, включает тепловую станцию для нагрева теплоносителя, насосы,

приборы регулирования теплового режима, а также устройства, предупреждающие аварии.

Современные трубопроводные системы обогрева обычно работают в автоматическом режиме. С помощью располагаемых на покрытии датчиков они включаются при появлении ледяных и снежных отложений или заблаговременно при метеоусловиях, способствующих образованию гололеда. При работе обогревательной системы температура теплоносителя и скорость его движения регулируются таким образом, чтобы температура поверхности покрытия составляла 1-2 ^{0}С выше нуля независимо от колебаний температуры и влажности окружающего воздуха, силы ветра и других климатических факторов. Жидкие теплоносители обычно нагреваются до температуры 60-90 ^{0}С, воздух – до температуры 50-60 ^{0}С. Существуют также трубопроводные жидкостные системы, в которых необходимая температура теплоносителя поддерживается не нагревательной станцией, а за счет тепла, аккумулированного грунтовым основанием в летний период. В этом случае часть труб укладывается в покрытие, а другая часть заглубляется на 3-5 м ниже поверхности грунта. Оба яруса труб соединяют между собой для обеспечивания в них замкнутой принудительной циркуляции теплоносителя. Расход тепла на обогрев 1 м^2 покрытий трубопроводными системами колеблется в пределах от 250 до 1000 ккал/ч.

Опыт эксплуатации показывает, что трубопроводные обогревательные системы достаточно надежно защищают покрытия от гололедных образований, но требуют больших затрат на строительство, и сложны в эксплуатации. Значительные трудности возникают, например, при эксплуатации систем, работающих на водяном паре и некоторых видах жидких теплоносителей. В частности, водяной пар обладает тем недостатком, что образует в трубопроводах конденсат, который приходится систематически удалять во избежание замерзания скапливающейся воды и разрушения труб. Алкогольные растворы пожароопасны и, кроме того, по мере испарения алкоголя могут замерзать. Минеральные масла образуют на стенках трубопроводов пленки, в связи с чем теплопроводность системы снижается, увеличиваются потери тепла. Этиленгликоль обладает повышенной вязкостью, в результате чего приходится применять более мощные насосы для его перекачки.

Общим важным недостатком трубопроводных систем с любым видом теплоносителя являются высокие затраты тепла, сравнительно небольшая долговечность трубопроводов (из-за коррозии), а также отсутствие возможности

ремонта или замены элементов трубопроводов без нарушения целостности покрытий.

Электрические системы обогрева по сравнению с трубопроводными имеют определенные преимущества. Они проще и дешевле в монтаже, а главное, более надежны в эксплуатации, и поэтому в настоящее время применяются чаще. В систему электрообогрева покрытий входят: электронагревательные элементы, соединительные кабели, трансформатор, а также устройства автоматического включения и регулирования нагрева, в том числе датчики измерения температуры и влажности на поверхности покрытия. Такие системы бывают двух видов: с расположением электронагревательных элементов в толще покрытия и на его поверхности. От способа расположения электронагревательных элементов зависит технология устройства системы обогрева и ее эффективность. В качестве электронагревательных элементов, укладываемых в толщу покрытия при строительстве, чаще всего используются высоковольтные (220-380 В) многожильные кабели из медно-никелевых сплавов с изоляцией бутиловым каучуком и термостойким поливинилхлоридом. Кабели заглубляются в покрытие на 50-70 мм и располагаются в плане в виде петель или прямолинейно (в продольном или поперечном направлении). Расстояние между отдельными кабелями составляет 10-15 см и более. Для внутреннего электрообогрева покрытий могут применяться также низковольтные (12-65 В) электроды в виде неизолированной металлической арматуры или сеток. При внутреннем расположении нагревательных элементов рекомендуется под покрытиями устраивать теплоизолирующие или теплоэкранирующие слои, позволяющие уменьшить непроизводительные потери тепла.

На поверхности покрытий электронагревательные элементы обычно укладываются в процессе строительства или эксплуатации покрытия с нанесением на них защитного слоя из термостойкого асфальтобетона или эпоксидно-минеральных смесей. Толщина защитного слоя принимается относительно небольщой 12-30 мм, благодаря чему поверхность покрытия быстрее прогревается при меньших затратах электроэнергии. В таких покрытиях в качестве электронагревательных элементов могут применяться: объединенная в маты (заводского изготовления) высоковольтная изолированная хромоникелевая проволока; рулонная многослойная полиэфирная пленка, на средний слой которой нанесен токопроводящий материал; высоковольтная изолированная и низковольтная неизолированная графитизированная

токопроводящая ткань; медные ленты, покрытые синтетической изоляционной пленкой; низковольтная неизолированная арматурная проволока (в виде сеток).

Большой интерес представляют плоскостные нагревательные элементы в виде так называемых токопроводящих покрытий, которые создаются путем нанесения на поверхность бетона или асфальтобетона специальных электрохимических составов (красок). Такие токопроводящие покрытия относятся к категории нестационарных электронагревательных систем и выгодны тем, что в процессе эксплуатации их можно легко ремонровать, а при необходимости заменять новым составом. Как показали эксперименты, устройство и содержание токопроводящих покрытий обходится не дороже других электронагревательных систем.

Дальнейшим развитием конструкции обогреваемых покрытий является использование токопроводящего бетона: в обычный бетон добавляется металлическая стружка и гранулы угольного кокса, арматура используется в качестве токопроводящих элементов. При использовании токопроводящего бетона нагревается вся поверхность покрытия – холодных участков нет.

Другой разновидностью токопроводящего бетона является использование электропроводящего цемента. Свойство электропроводности цемент получает от углеродных нанотрубок, которые вводятся в его состав. Это компонент дорогостоящий, поэтому с целью уменьшения стоимости производства электропроводящего цемента, в него добавляется порошкообразный графит.

Существенным недостатком всех систем электрообогрева покрытий является высокий расход потребляемой электроэнергии. В зависимости от типа и режима работы нагревательной системы, а также климатических факторов затраты электроэнергии составляют обычно 100-200 Вт/ч на м^2 покрытия при предупреждении льдообразований, достигая иногда 400-600 Вт/ч и более при удалении уже образовавшегося льда или выпавшего снега. Строительство и эксплуатация систем электрообогрева покрытий, как и трубопроводных обогревательных систем обходятся дорого, нередко в 5-6 раз превышая по стоимости затраты на удаление осадков химическим или механическим способами.

Тем не менее, целесообразность применения на аэродромах обогреваемых покрытий нельзя рассматривать с точки зрения одних только строительных и эксплуатационных затрат. Решающими в пользу обогрева аэродромных покрытий могут оказаться такие факторы как безопасность полетов, важность

того или иного аэропорта в системе транспортных перевозок (не допускающая простоев авиации), высокая интенсивность движения самолетов, не позволяющая работать аэродромной технике без прекращения полетов, неблагоприятные климатические и метеорологические условия. Опыт эксплуатации показывает, что обогреваемые покрытия целесоообразно применять в районах с часто повторяющимися слабыми осадками и незначительными отрицательными температурами воздуха. В районах с интенсивными осадками обогрев покрытий следует сочетать с применением снего-льдоуборочной техники, имеющейся в аэропортах.

Рецензенти:
Павлюк Д.О., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.
Кіяшко І.В., канд. техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Reviewers:
Pavliuk D.O., Dr. Tech. Sci., National Transport University.
Kiiashko I.V., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Kharkiv National Automobile and Highway University.

Стаття надійшла до редакції: **20.03.2017 р**.

УДК 625.7:551.5

Київський В.І., Догадайло О.О., канд. техн. наук

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗИМОВОЇ СЛИЗЬКОСТІ ЗА ОБМЕЖЕНИХ РЕСУРСІВ

Анотація. В статті запропоновано методику перевірки достовірності прогнозів погоди з мережі Інтернет з метою подальшого їх використання для прогнозування випадків утворення зимової слизькості на покриттях автомобільних доріг.

Об’єкт дослідження – прогнози погоди з мережі Інтернет.

Мета роботи – розробити методику для порівняння та перевірки достовірності прогнозів погоди з мережі Інтернет.

Метод дослідження – статистичний аналіз даних з архіву погоди та прогнозів погоди.

Утворення зимової слизькості на покриттях автомобільних дорогах призводить до ДТП, травмування та загибелі людей, знижуються транспортно-експлуатаційні показники автомобільної дороги. Для завчасного попередження негативних наслідків та ефективної боротьби з зимовою слизькістю робітникам дорожньо-експлуатаційних підприємств необхідно мати інструменти для її прогнозування. В умовах обмеженого фінансування таким інструментом можуть стати прогнози погоди з мережі Інтернет. Тому було прийняти рішення визначити достовірність прогнозів погоди. Тестове порівняння показало, що для визначення достовірності прогнозу необхідно розглядати щонайменше один зимовий період. Розроблена методика дозволяє проводити автоматизоване порівняння даних фактичної погоди з архіву та прогнозів погоди, представляючи отримані дані в табличному та графічному вигляді.

Результати статті можуть бути упроваджені в дорожніх підприємствах для визначення достовірних прогнозів погоди.

Прогнозовані припущення щодо розвитку об’єкта дослідження – пошук достовірних прогнозів погоди, на основі яких можна прогнозувати утворення зимової слизькості.

Ключові слова: зимова слизькість, прогноз погоди, боротьба з зимовою слизькістю.

УДК 625.7:551.5

Киевский В.И., **Догадайло А.А.,** канд. техн. наук

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗИМНЕЙ СКОЛЬЗКОСТИ С ОГРАНИЧЕНЫМИ РЕСУРСАМИ

Аннотация. В статье предложена методика проверки достоверности прогнозов погоды из сети Интернет с целью дальнейшего их использования для прогнозирования случаев образования зимней скользкости на покрытиях автомобильных дорог.

Объект исследования – прогнозы погоды из сети Интернет.

Цель работы – разработать методику для сравнения и проверки достоверности прогнозов погоды из сети Интернет.

Метод исследования – статистический анализ данных из архива погоды и прогнозов погоды.

Образования зимней скользкости на покрытиях автомобильных дорогах приводит к ДТП, травмированию и гибели людей, снижаются транспортно-эксплуатационные показатели автомобильной дороги. Для заблаговременного предупреждения негативных последствий и эффективной борьбы с зимней скользкостью работникам дорожно-эксплуатационных предприятий необходимо иметь инструменты для ее прогнозирования. В условиях ограниченного финансирования таким инструментом могут стать прогнозы погоды из сети Интернет. Поэтому было принять решение определить достоверность прогнозов погоды. Тестовое сравнение показало, что для определения достоверности прогноза необходимо рассматривать по меньшей мере один зимний период. Разработанная методика позволяет проводить автоматизированное сравнение данных фактической погоды из архива и прогнозов погоды, представляя полученные данные в табличном и графическом виде.

Результаты статьи могут быть внедрены в дорожных предприятиях для определения достоверных прогнозов погоды.

Прогнозируемые предположения относительно развития объекта исследования – поиск достоверных прогнозов погоды, на основе которых можно прогнозировать образование зимней скользкости.

Ключевые слова: зимняя скользкость, прогноз погоды, борьба с зимней

скользкостью.

UDC 625.7:551.5

Kyiivskyi V.I. , **Dohadailo O.O.,** Cand. Eng. Sci. (Ph.D.)

PREDICTING WINTER SLIPPERINESS WITH LIMITED RESOURCES

Abstract. The paper proposes a methodology for the validation of weather forecasts from the Internet to further their use for predicting the cases of the formation of winter slipperiness on the surfaces of roads.

Object of the study – the weather forecasts from the Internet.

Purpose of the study – develop a methodology for comparison and validation of weather forecasts from the Internet.

Method of the study – statistical analysis of data from the archive of weather and weather forecasts.

Education winter slipperiness on surfaces on roads leads to accidents, injuries and fatalities, reduced transport and operational indicators of the road. For early warning of negative consequences and effectively combating winter slipperiness employees of road maintenance companies must have the tools for forecasting. In conditions of limited funding, such a tool can become weather forecasts from the Internet. Therefore, it was decide to determine the accuracy of weather forecasts. The test comparison showed that to determine the reliability of the forecast it is necessary to consider at least one winter. The developed method allows to conduct automated data compare actual weather and weather forecasts, presenting received data in tabular and graphical form.

The results of this article can be used in road companies for the determination of reliable weather forecasts.

Forecast assumptions about the object of study - search for reliable weather forecasts, which can be used to predict the formation of winter slipperiness.

Keywords: winter slipperiness, weather forecast, snow and ice control.

В зимовий період умови руху транспорту суттєво погіршуються через складні погодні умови (снігопади, хуртовини, тумани, ожеледь та інше), погіршення стану покриття проїзної частини та інші фактори (скорочення світлового дня, сліпуча дія сонця). Зимова слизькість є одним із головних чинників, що погіршують умови руху, спричиняють зниження швидкості транспортного потоку, збільшення кількості ДТП та інше. Підтримання належного експлуатаційного стану автомобільних доріг суттєво ускладняється, зважаючи на вкрай обмежені ресурси дорожньо-експлуатаційних підприємств. За таких умов основну увагу необхідно приділяти профілактичним заходам боротьби із зимовою слизькістю. Ефективне виконання робіт щодо попередження утворення зимової слизькості на дорожніх покриттях можливе лише за достовірного прогнозу погоди, і, як наслідок, прогнозу стану покриття.

На вид утвореної зимової слизькості впливає комплекс факторів: погодні умови, теплофізичні властивості дорожніх конструкцій, рух транспортних засобів, геометричні параметри автомобільної дороги, робота дорожньо-експлуатаційних служб.

Серед перерахованих факторів найбільший вплив на утворення зимової слизькості чинить саме погода (температура повітря, кількість та вид опадів, вологість повітря, швидкість, напрям вітру та інші). Перше, на що треба звертати увагу – температура. Але температура покриття може суттєво відрізнятися від температури повітря. Встановлено, що в залежності від теплофізичних властивостей дорожньої конструкції [1] та погодних умов слизькість може утворюватися за температури повітря від плюс 3 °С і нижче [2].

Одна лише зміна температури повітря не може призвести до утворення зимової слизькості. Для цього необхідна наявність вологи на покриттях при певних температурах поверхні покриття. Основним способом потрапляння вологи на проїзну частину є атмосферні опади в вигляді дощу, або снігу. Саме різноманітні опади в зимовий період є найбільш частою причиною виникнення слизькості на дорогах.

Рух транспорту має неоднозначний вплив на утворення зимової слизькості. При наявності на автомобільній дорозі сніжних відкладень, необроблених протиожеледними матеріалами, або оброблених в недостатній кількості, призводить до ущільнення снігу та утворення сніжно-льодового накату – одного з видів зимової слизькості. В той же час, робота плавильних протиожеледних матеріалів неефективна без руху транспорту.

На дорогах України після снігоочищення на узбіччях та біля бортового каменю залишаються снігові вали. В періоди відлиг, або при інтенсивному сонячному випромінюванні відбувається танення снігу, талі води потрапляють на поверхню покриття та утворюють ожеледицю. Найбільший масштаб ця проблема набуває на автомобільних дорогах з неправильним поперечним ухилом.

Боротьба з зимовою слизькістю передбачає заходи щодо її запобігання та ліквідації. Існують різні способи ліквідації зимової слизькості: хімічний, механічний, фрикційний, фізико-хімічний, хіміко-фрикційний, тепловий. Вибір того, чи іншого способу залежить від виду зимової слизькості, рівня експлуатаційного утримання автомобільної дороги та наявних ресурсів дорожніх підприємств.

Складність механізмів утворення зимової слизькості та відсутність її прогнозів значно ускладнюють організацію ефективної боротьби з нею. В час швидкого розвитку комп'ютерних технологій дуже гостро постає питання переходу до сучасних, або навіть, інноваційних методів зимового утримання автомобільних доріг. Сучасні системи контролю за станом покриття, кількістю розподілу протиожеледних матеріалів, методи прогнозування утворення зимової слизькості та методи організації утримання доріг дозволять не тільки зекономити державні кошти, а також, зберегти людські життя.

У розвинених країнах вже не один рік використовують спеціальні дорожні метеорологічні станції. Вони добре зарекомендували себе на території Європи, США, Канади та навіть Росії. Дорожні метеостанції встановлюються безпосередньо біля автомобільної дороги та передають інформацію отриману з датчиків через інтернет до диспетчера. Вони можуть фіксувати такі показники: температуру та вологу повітря, напрям та швидкість вітру, інтенсивність та вид опадів, атмосферний тиск. Також в склад метеостанції входять датчики, які розміщуються безпосередньо в покритті автомобільної дороги: пасивний датчик для визначення стану дорожнього покриття (наявність відкладень, їх вид, концентрація протиожеледних матеріалів) та активний датчик для визначення температури замерзання реагентів [3].

В Україні є досвід використання дорожніх метеостанцій. Прикладом є автомобільна дорога Київ-Харків-Довжанський. Але через високу вартість такого обладнання наша країна не може дозволити собі створити необхідну мережу метеорологічних станцій для дорожніх підприємств. В той же час

ефективне функціонування дорожніх метеорологічних станцій можливе при наявності їх широкої мережі. На відміну від метеостанцій загальної мережі, дорожні метеостанції можуть давати короткочасні прогнози щодо утворення зимової слизькості на конкретній ділянці автомобільної дороги.

В наш час основним джерелом прогнозу утворення зимової слизькості для дорожньо-експлуатаційних служб є загальнодоступні прогнози погоди з мережі інтернет. З погодних сайтів можна отримати інформацію знаходячись будь де, з будь-якого пристрою, в якому є Інтернет. В мережі Інтернет представлено безліч різних сайтів з прогнозом погоди. Вибір кожного є суб'єктивний – зазвичай той, чи інших прогноз обирається через зручність в користуванні, а не за його точність. Для об'єктивного вибору необхідно провести порівняння прогнозованої та фактичної погоди.

З метою такого порівняння проведено попередній аналіз восьми популярних сайтів з прогнозами погоди (табл. 1). Критерії вибору наступні: наявність прогнозу температури повітря, кількісті та виду опадів, вологості, швидкості вітру, погодинна форма подачі інформації. Другорядним фактором стала зручність в отриманні та подальшій обробці даних.

Порівняння показало, що для подальшого детального аналізу доцільно обрати прогнози «Розклад погоди» [4] та «Метеонова» [5].

Прогноз погоди з сайту «Розклад погоди» є досить зручним для використання. На цьому сайті міститься майже вся потрібна інформація для прогнозування зимової слизькості. До недоліків можна віднести відсутність прогнозування температури точки роси та імовірності опадів, подачу важливої інформації у вигляді піктограм.

Прогноз погоди з сайту «Метеонова» подається повністю у цифровій формі, що дуже спрощує його подальшу обробку. Перевагою даного прогнозу є те, що прогнозується приземна температура повітря та температура ґрунту на різних глибинах. Недоліком є те, що сайт надає тільки 6-ти годинний прогноз. Для більш достовірного порівняльного аналізу бажано використовувати 3-и годинний прогноз, а для прогнозування зимової слизькості – погодинний.

Прогнози погоди та архіви фактичної погоди містять дуже великий обсяг інформації, який проаналізувати «вручну» неможливо. З метою автоматизації порівняльного аналізу створено автоматизований спосіб зіставлення та аналізу прогнозів та фактичної погоди за допомогою програми Microsoft Excel. Дані архіву фактичної погоди було взято з сайту «Розклад погоди» [4].

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика прогнозів погоди

Характеристика прогнозів погоди	1	2	3	4	5	6	7	8
Температура повітря	+	+	+	+	+	+	+	+
Вологість повітря	+	+	+	+	+	-	+	+
Кількість опадів	+	+	+	-	-	+	+	+
Вид опадів	+	+	+	+	+	+	+	+
Атмосферний тиск	+	+	+	+	-	-	+	+
Швидкість вітру	+	+	+	+	+	+	+	+
Напрям вітру	+	+	+	+	+	+	+	+
Температура точки роси	-	-	-	-	-	-	+	-
Температура ґрунту	-	+	-	-	-	-	-	-
Таблична форма подання інформації	+/-	+	+	+/-	+/-	-	+	+/-
Подання інформації за допомогою графіків	-	-	-	-	-	+	+	-
Погодинний прогноз	+	-	+	-	+	-	+	-
3-х годинний прогноз	+	-	-	+	-	-	-	-
6-ти годинний прогноз	+	+	+	+	-	+	-	+

1-rp5.ua; 2-meteonova.ua; 3-meteoprog.ua; 4-gismeteo.ua; 5-weather.com; 6-foreca.ru; 7-woundergrоund.com; 8-weather.ua

Для того, щоб можна було провести порівняння спочатку необхідно було привести прогнози до одного вигляду з фактичними даними. Порівняльний аналіз ускладнювався через ряд причин. Перша – використання різної термінології в архіві фактичної погоди та на різних сайтах прогнозу погоди. Друга – подання інформації у різному вигляді. Третя – прогнози погоди потрібно було фіксувати кожен день в один і той самий час, зафіксована інформація зберігалась у вигляді растрових зображень, які необхідно оцифровувати. Оброблені, приведені до одного вигляду та оцифровані дані вносилися до програми Microsoft Excel.

Результатом роботи стало отримання робочого шаблону для аналізу та порівняння прогнозів погоди з фактичними даними в графічному вигляді. Ввівши вихідні дані у вигляді архіву фактичної погоди та прогнозу погоди за будь які дати ми відразу отримуємо графіки, за якими можна проводити аналіз. Ми отримуємо графічне відображення фактичної погоди, погоди за прогнозом, графіки з порівнянням фактичної та прогнозованої температури, діаграму

відхилення прогнозованих температур від фактичних, графік порівняння фактичної кількості та виду опадів з прогнозованими.

У якості прикладу наведемо дані аналізу достовірності прогнозу погоди з сайту «Розклад погоди» за період з 16.01.2016 до 20.01.2016 та прогнозу з сайту «Метеонова» за період з 06.01.2017 до 11.01.2017. Проведено порівняння основних погодних факторів, які призводять до утворення зимової слизькості: температура повітря, вид, кількість та тривалість опадів.

Графіки на рисунках 1 та 2 відображають зміну фактичної та прогнозованої температури повітря та їх різницю у вигляді гістограми.

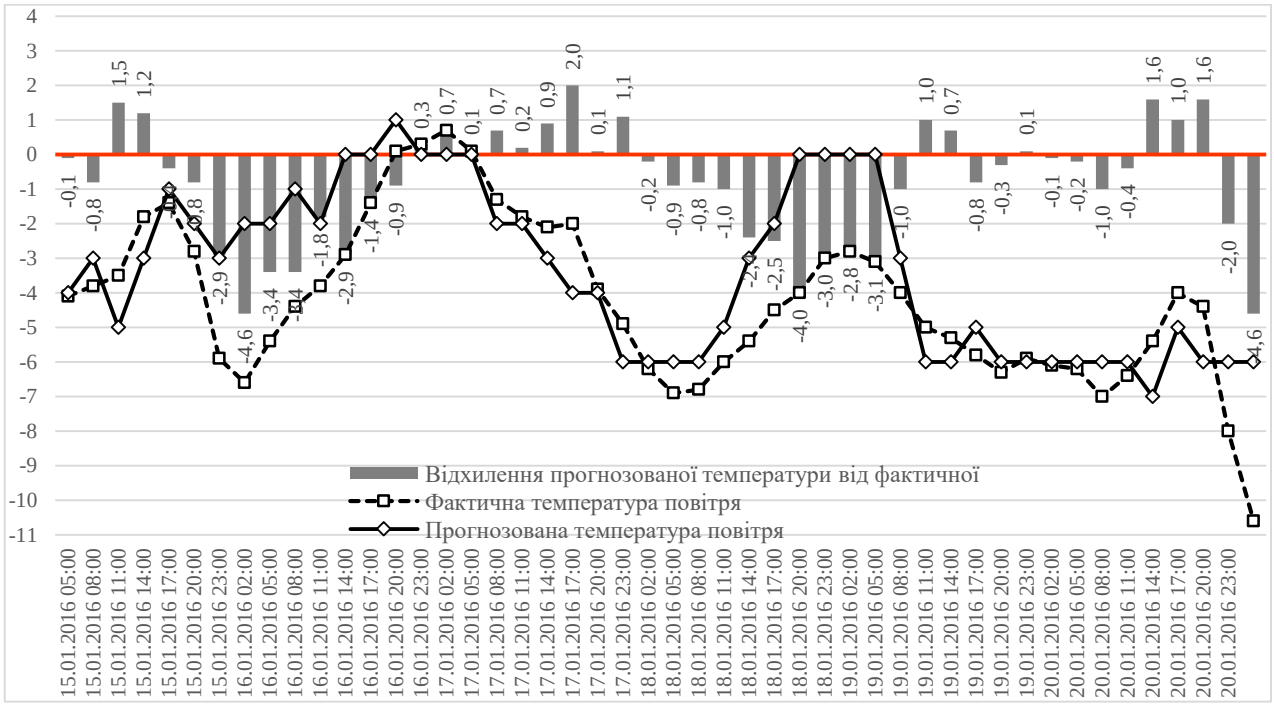


Рисунок 1 – Порівняння фактичної температури повітря з прогнозом «Розклад погоди»

Можна побачити, що температура повітря за даними сайту «Розклад погоди» за обраний період в більшості випадків завищена в середньому на 1,8 °С. Найбільше відхилення становить 4,6 °С, середнє – 1,44 °С. При аналізі прогнозованих температур повітря з сайту «Метеонова» спостерігаємо значно більше відхилення прогнозованої температури повітря від фактичної в порівнянні з прогнозом сайту «Розклад погоди». Так найбільше відхилення температури складає 8,4 °С, середнє – 2,66 °С.

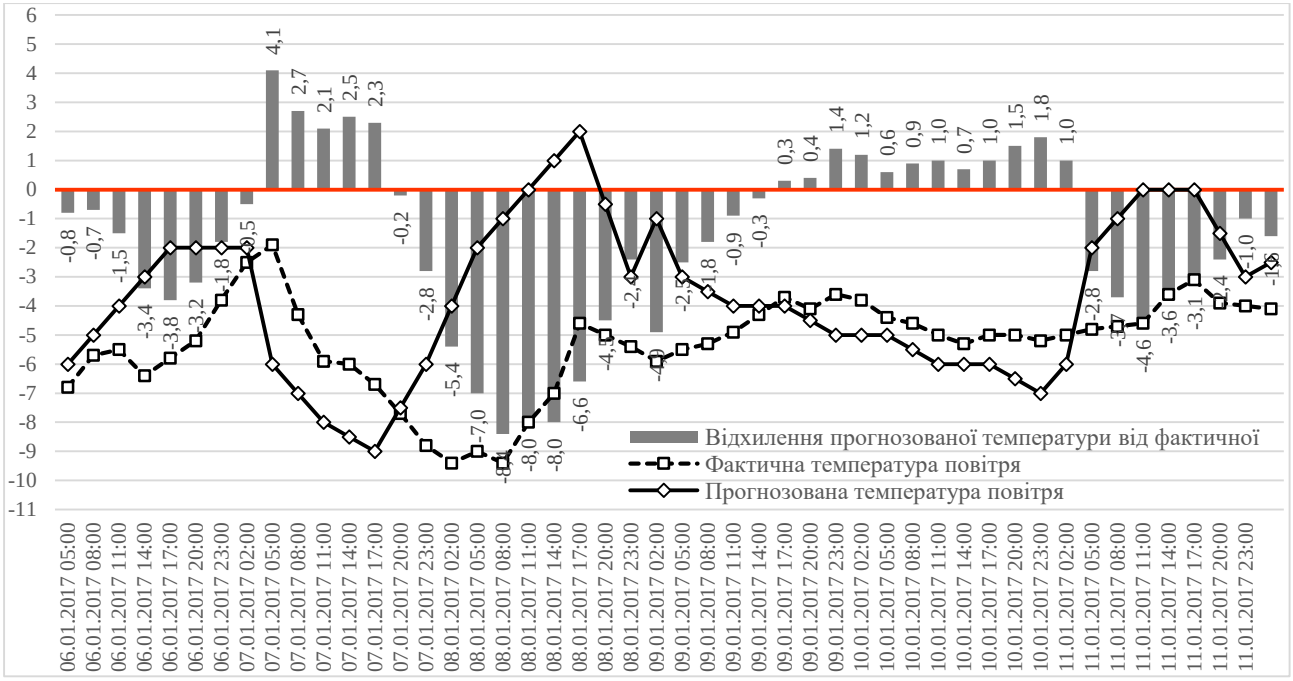


Рисунок 2 – Порівняння фактичної температури повітря з прогнозом «Метеонова»

Результати перевірки достовірності прогнозування кількості та виду опадів зображено графічно на рисунках 3 та 4. Фактичну та прогнозовану кількість опадів відображено у вигляді гістограми. Вид опадів, та час їх випадіння можна відстежити завдяки відповідним маркерам.

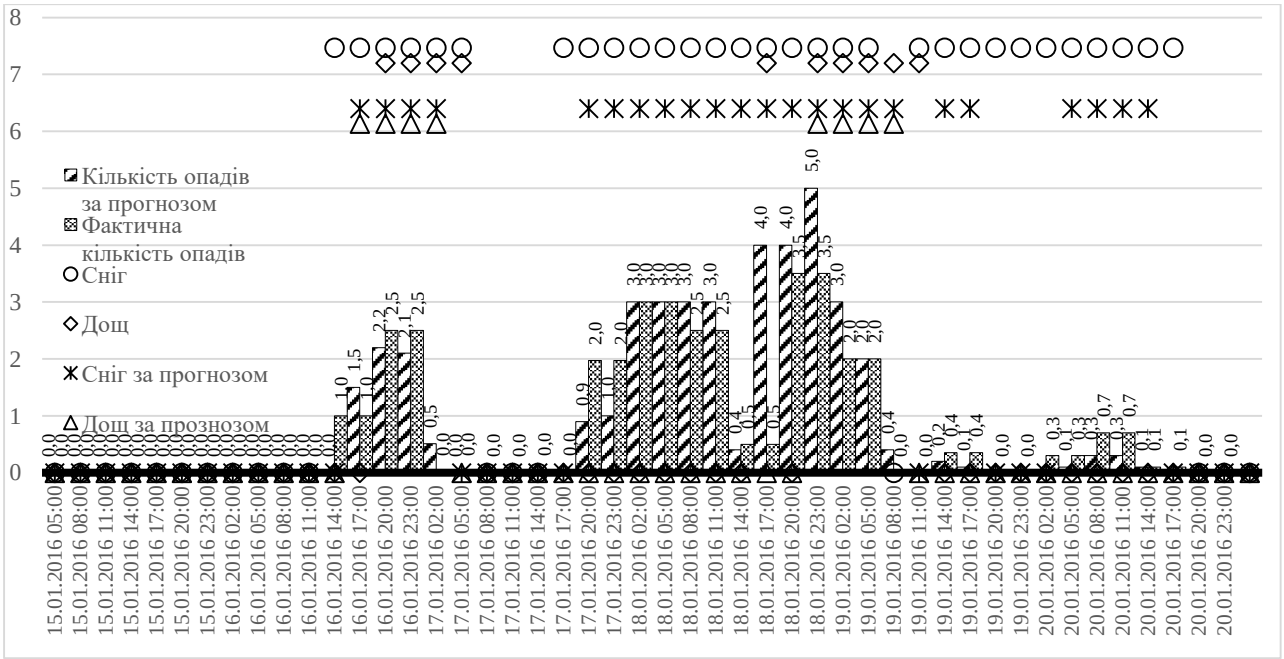


Рисунок 3 – Порівняння фактичної кількості та виду опадів з прогнозом «Розклад погоди»

Встановлено, що прогноз опадів з сайту «Розклад погоди» (рис. 3) досить точно передбачив вид, час випадіння та кількість опадів. За період, що розглядається фактична кількість опадів становила 36,9 мм, в том час, прогнозовано було 40,1 мм. Прогнозована кількість опадів була завищена лише на 8,55 %.

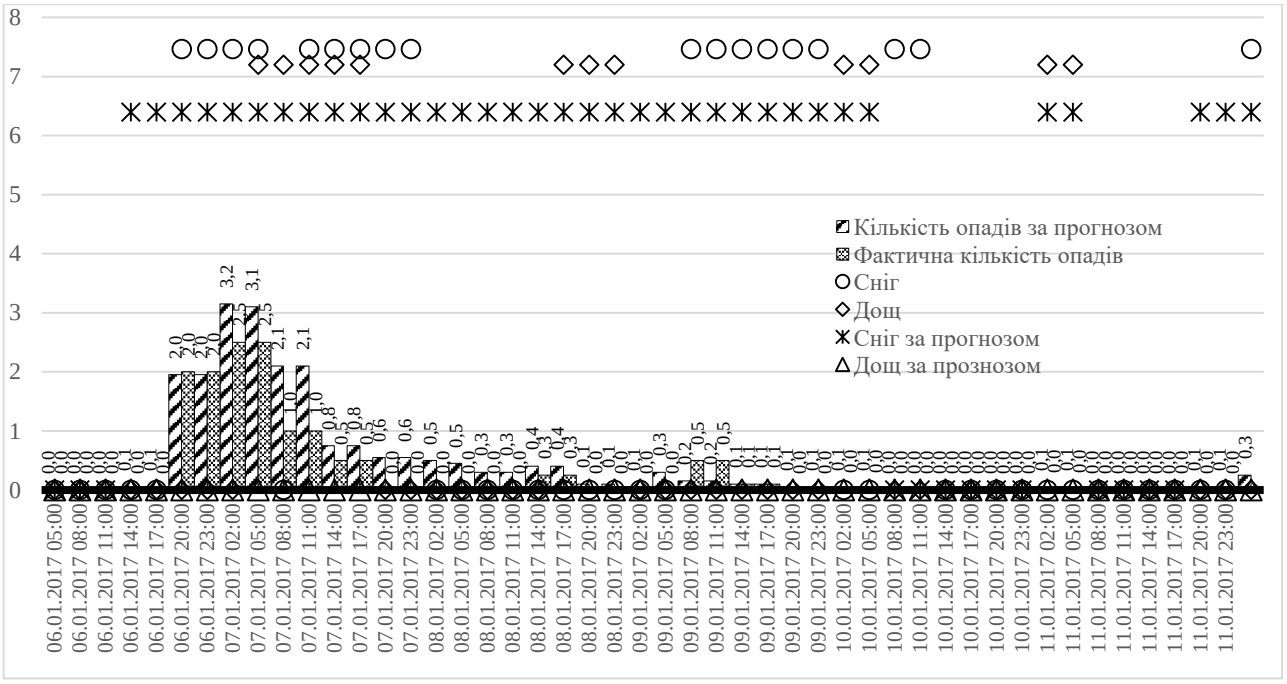


Рисунок 4 – Порівняння фактичної кількості та виду опадів з прогнозом «Метеонова»

Прогноз погоди з сайту «Метеонова» (рис. 4) поступається прогнозу «Розклад погоди», що стосується опадів. Фактична кількість опадів за аналізований період становила 15 мм, прогнозовано – 21,1 мм. Тобто прогнозована кількість опадів була завищена на 40,66%

Додатково для порівняння достовірності прогнозування опадів проводилось порівняння фактичної та прогнозованої тривалості опадів. Нажаль, отримана інформація з архіву погоди дає змогу оперувати лише тригодинними інтервалами часу.

З таблиці 2, в якій вказано дані отримані з прогнозу «Розклад погоди» можемо побачити, що прогнозована та фактична тривалість опадів за добу в більшості випадків має відхилення не більше ніж на один тригодинний інтервал. Найбільше відхилення спостерігається 19.01.2016 при прогнозуванні дощу, яке становить 9 годин.

Таблиця 2 – Порівняння фактичної та прогнозованої («Розклад погоди») тривалості опадів

Вид опадів		Тривалість опадів, годин						
		15.01.2016	16.01.2016	17.01.2016	18.01.2016	19.01.2016	20.01.2016	Всього
Дощ	факт	0	9	3	9	9	0	30
	прогноз	0	12	0	6	6	0	24
Сніг	факт	0	15	15	24	21	15	90
	прогноз	0	12	9	24	12	12	69

Аналізуючи тривалість опадів за прогнозом з сайту «Метеонова» (табл. 3) можна сказати про досить великі розбіжності в прогнозуванні тривалості опадів та їх виду.

Таблиця 3 – Порівняння фактичної та прогнозованої («Метеонова») тривалості опадів

Вид опадів		Тривалість опадів, годин						
		06.01.2017	07.01.2017	08.01.2017	09.01.2017	10.01.2017	11.01.2017	Всього
Дощ	факт	0	15	9	3	6	3	36
	прогноз	0	0	0	0	0	0	0
Сніг	факт	9	18	0	18	6	3	54
	прогноз	15	24	24	24	6	12	105

Отриманих результатів замало для аргументованих висновків про достовірність прогнозів. Але така задача і не ставилась на даному етапі, так як головною метою роботи було розроблення методики порівняльного аналізу прогнозів погоди та фактичної погоди, що зафіксована на метеорологічних станціях. Дослідження показали, що розроблена методика перевірки прогнозів погоди повністю справляється з поставленою ціллю, дозволяє автоматизованим способом обробити велику кількість інформації отриманої з архіву погоди та прогнозів, результати аналізу можна представляти в табличному або графічному вигляді для кращого сприйняття.

Необхідно усвідомлювати, що розглянуті прогнози є лише прогнозами погоди для загального користування, що не спеціалізуються для потреб дорожньої сфери. В той же час їх використання може стати перспективним напрямком для кращої організації робіт з зимового утримання за обмежених ресурсів. В подальшому передбачається порівняння більшої кількості прогнозів погоди за весь зимовий період та виявлення тих, що найбільш достовірно

прогнозують погодні умови утворення зимової слизькості та їх можна буде рекомендувати дорожнім службам.

Література

1. Теплофізичні властивості будівельних матеріалів. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://studall.org/all2-47023.html — Назва з екрана.

2. П Г.1-218-118:2005. Єдині правила зимового утримання автомобільних доріг. – Київ, Харків, 2005.

3. Комплекс АДМС (Комплекс технічних і програмних засобів визначення дорожніх умов) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://data-lufft.com/p21851687-kompleks-adms-kompleks.html — Назва з екрана.

4. Погода в Харкові [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://rp5.ua/Погода_в_Харькове — Назва з екрана.

5. МЕТЕОНОВА – прогноз погоди в Харкові – професійна версія для спеціалістів [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.meteonova.ua/pro/34300.htm — Назва з екрана.

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

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

Стаття надійшла до редакції: **15.03.2017 р**.

УДК 625.7

Кузло М.Т., д-р техн. наук, **Рижук М.В.**

ОБГРУНТОВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПАКАЗНИКІВ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ МІСЬКОЇ ВУЛИЦІ

Анотація. Наведено результати розрахунку дорожнього одягу міської вулиці при заданих модулях пружності верхнього шару покриття та різних інтенсивностях і складу руху транспортних засобів.
Ключові слова: дорожній одяг, допустимий пружний прогин, покриття.

УДК 625.7

Кузло Н.Т., д-р техн. наук, **Рыжук Н.В.**

ОБОСНОВАННОЙ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПАКАЗНИКІВ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ГОРОДСКОЙ УЛИЦЫ

Аннотация. Приведены результаты расчета дорожной одежды городской улицы при заданных модулях упругости верхнего слоя покрытия та различных интенсивностях и состава движения транспортных средств
Ключевые слова: дорожна одежда, допустимый упругий прогиб, покрытия.

UDC 625.7

Kuzlo M. T., Dr. Tech. Sci., **Ryzhuk M.V..**

REASONABLE POKAZNIKIV DEFORMATION OF ASPHALT PAVEMENT IN RECONSTRUCTION OF A CITY STREET

Abstract. The calculations of urban street road-mat under the given modules of upper layer covering tenacity and different intensities and the content of transport means movement have been presented.
Keywords: road-mat, allowable clastic bending, covering.

Вступ

Міські вулиці в багатьох містах України із за збільшення інтенсивності руху та осьового навантаження автомобілів, потребують реконструкції. Для забезпечення надійності покриття необхідно забезпечити умови, при яких виникають в конструктивних елементах напруження від руху транспрту не роблять руйнівного впливу на структуру [1]. Тип дорожнього одягу та вид покриття, конструкція дорожнього одягу в цілому повинні задовольняти транспортно-експлуатаційні вимоги, які ставляться до дороги певної категорії з очікуваним у перспективі складом й інтенсивністю руху, з урахуванням зміни інтенсивності протягом заданих міжремонтних термінів і передбачуваних умов ремонту й утримання [2]. Домогтися цього, у деякій міри, дозволяє раціональний розрахунок деформаційних характеристик покриття.

За останні роки технології влаштування дорожніх покриттів мало змінилися. Впровадження в галузь нових рішень зачіпає переважно технічне забезпечення у вигляді появи сучасних машин, інструментів і обладнання для приготування та укладання різних шарів дорожнього одягу. Основним матеріалом покриття автомобільних доріг, залишається асфальтобетон. Звичайно, у його структуру все частіше вносяться і нові модифіковані компоненти з добавками, але вони мають точковий характер підвищення експлуатаційних властивостей асфальтобетонних сумішей і радикально не змінюють характеристики типових конструкцій.

Основна частина

Аналіз останніх досліджень. Відомо, що розрахунок дорожніх одягів засновано на трьох критеріях граничного стану: пружному прогині дорожнього одягу під нгавантаженням, опору згину монолітних шарів і опору зсуву грунтів і шарів з малозв’язних матеріалів [2]. Граничний прогин дорожнього одягу є комплексною характеристикою його деформативної здатності. За допустимим пружним прогином робиться попереднє конструювання дорожнього одягу. У даному випадку дотримуються наступну послідовність розрахунку. З початку ведуть розрахунок дорожнього одягу за допустимим пружним прогином на основі залежності необхідного загального модуля конструкції від розрахункової інтенсивності руху транспортних засобів. У результаті цього розрахунку визначають товщину конструктивних шарів одягу і їхні моділі пружності таким чином, щоб загальний модуль пружності дорожнього одягу був не меншим за необхідний з урахуванням відповідного коефіцієнта міцності $K_{мц}$.

Мета даної роботи – встановити та обгрунтовати необхідні деформаційні показники асфальтобетонного покриття при реконструкції міської вулиці.

Об'єкт дослідження – існуюча вулиця одного із міст України. Дорожнє покриття якої знаходиться у незадовільному стані. Загальна довжина ділянки вулиці, що підлягає капітальному ремонту складає 2,261кілометри з шириною проїзної частини від 5,9 до 15,8м. Приведена інтенсивність руху в поточному році складає 3350 авт/добу.

Згідно [3,4]та аналізуючи інтенсивність руху приходимо до висновку, що дану вулицю необхідно проектувати за параметрами доріг магістральні вулиці районного значення з розрахунковою швидкістю 80км/год.

Основні технологічні нормативи й показники дороги наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Основні технологічні нормативи й показники дороги

№ з/п	Найменування	Один. вим.	Показник	
			існуючий	проектний
1	2	3	4	5
1.	Класифікація вулиці	-	Вулиця місцевого значення: житлові вулиці	Магістральна вулиця районного значення
2.	Категорія дороги	-	III	II
3.	Будівельна довжина ділянки	км	2,261	
4.	Розрахункова інтенсивність руху	привед. од/добу	200	500
5.	Розрахункова швидкість руху одиничного легкового автомобіля	км/год	60	80
6.	Показники рівності проїзної частини	см/км	100 – 130	70 – 80
7.	Тип дорожнього одягу	-	капітальний – полегшений	капітальний
8.	Коефіцієнт запасу міцності	-	0,9	0,95

В роботі запропоновано п'ять варіантів дорожнього одягу зі змінним верхнім шаром покриття залежно від їх модуля пружності. Це покриття із щільного асфальтобетону та добавкою термопластів з модулем пружності 5500, 5000, 4500, 4000, 3200МПа. У всіх випадках товщина шару складала 0,07 м;

Дорожній одяг був розрахований на міцність за критерієм пружного прогину всієї конструкції на перспективний період 20 років.

Розрахунок міцності дорожнього одягу виконаний під осьове навантаження автомобілів групи А1 з номінальним статичним навантаженням на одну вісь 115 кН, середнім розрахунковим тиском на покриття p=0,8 МПа, розрахунковим діаметром сліду колеса, що рухається, D=34,5 см. Розрахунок був проведений для кожної конструкції дорожнього одягу на кожен проектний рік.

Проведемо розрахунок коефіцієнта міцності для кожного запроектованого дорожнього одягу залежно від показників потрібного і загального модулів пружності. Результати розрахунку наведені на рис. 1.

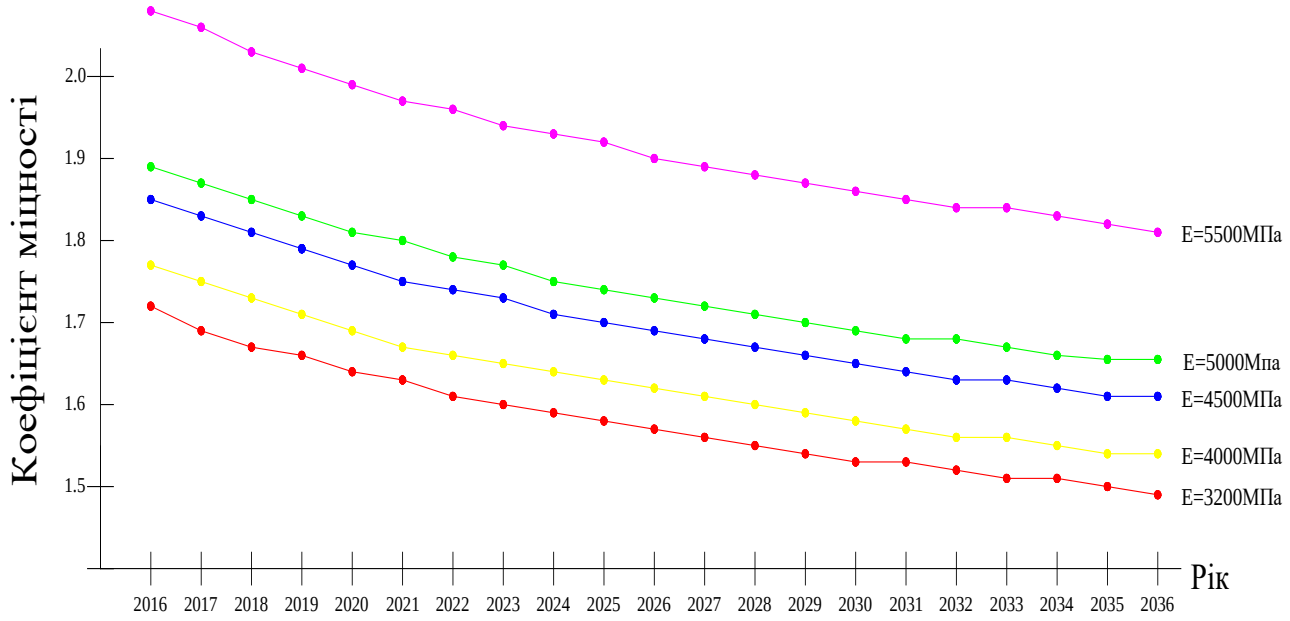


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта міцності від модуля пружності верхнього шару покриття

Порівнюючи коефіцієнти міцності розрахованих варіантів дорожнього одягу, можна зробити висновок, що варіант дорожнього одягу із покриттям верхнього шару, що моє модуль пружності E=3200МПа задовольняє умову міцності за допустимим пружним прогином. Така конструкція не потребує додаткових технологічних та матеріальних затрат порівняно з іншими запропонованими варіантами.

Виконано аналіз роботи покриття при різних інтенсивностях руху та складу транспортних засобів. Для проведення даного аналізу, в роботі запропоновано два варіанти складу транспортного потоку, при яких інтенсивність руху буде досягати максимального та мінімального значення на 20-ий проектний рік експлуатації дороги.

У першому варіанті мінімальну інтенсивность руху отримано шляхом зменшення легкових автомобілів та мікроавтобусів за рахунок використання автопоїздів у громадському транспорті та заборону руху на даній вулиці великогабаритного вантажного транспорту.

У другому варіанті максимальну інтенсивність руху отримано шляхом збільшення особистого автотранспорту громадянами у даномі місті та на різноманітних підприємствах і організаціях. Це призвело до збільшення кількості малогабаритних, середньогабаритних та великогабаритних транспортних засобів.

Визначено потрібний модуль пружності і коефіцієнт міцності для обраної конструкції дорожнього одягу при мінімальній і максимальній інтенсивності руху транспортних засобів. Результати розрахунків наведено на рис. 2.

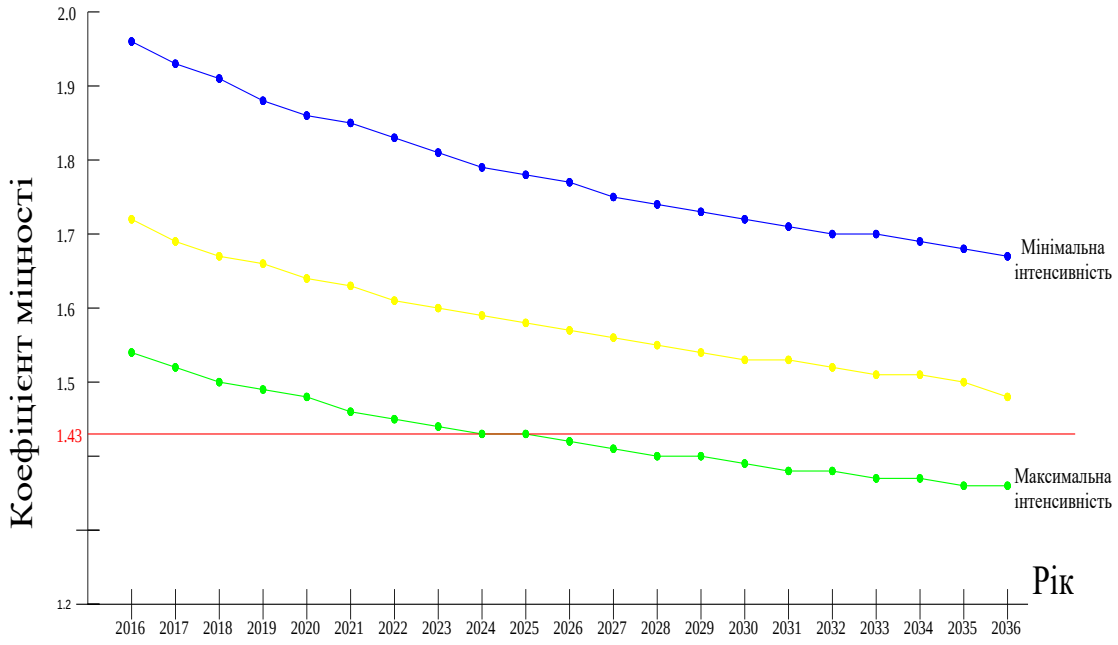


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнта міцності від інтенсивності руху транспорту

Провівши даний аналіз роботи покриття, можна зробити висновок, що при максимальній інтенсивності руху транспортних засобів у 2024році, покриття дорожнього одягу не забезпечує нормативне значення коефіцієнта міцності. Тому, при подібних тенденціях розвитку і збільшенні кількості одиниць транспортних засобів, потрібно буде вжити організаційних заходів щодо експлуатації даної вулиці.

Висновки

Варіант дорожнього одягу із покриттям верхнього шару, що моє модуль пружності Е=3200МПа задовольняє умову міцності за допустимим пружним прогином міської вулиці, що підлягає реконструкції. У випадку збільшення інтенсивності руху транспортних засобів та їх складу у 2024 році необхідно вжити організаційних заходів щодо подальшої експлуатації дорожнього покриття.

Література

1. Дмитриченко М.Ф. Надійність конструкцій дорожнього одягу / Дмитриченко М.Ф., Дмитрієв М.М., Гамеляк І. П., Райковсчький В.Ф., Якименко Я.М.: навч. посіб. – К.: НТУ, 2012. – 206 с.

2. ВБН В.2.3-218-186-2004 Дорожній одяг нежорсткого типу. – К.: Укравтодор, 2004. – 154 с.

3. ДБН В.2.3-5-2001. Вулиці та дороги населених пунктів. – К.: Держбуд України, 2001. – 89 с.

4. ДБН В.2.3-4: 2015.Автомобільні дороги. – К.: Мінрегіон України, 2015. – 104 с.

Рецензенти:
Жданюк В.К., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.
Нагайчук В.М., канд. техн. наук, ДП "ДерждорНДІ".

Reviewers:
Zhdaniuk V.K., Dr. Tech. Sci., Kharkiv National Automobile and Highway University.
Nahaichuk V.M. Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), "DerzhdorNDI".

Стаття надійшла до редакції: **27.02.2017 р**.

.

УДК 625.852

Мишутин А.В., д-р техн. наук

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА КОЛЕЕСТОЙКОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Аннотация. В статье наведен анализ различных факторов влияющих на колеестойкость асфальтобетона, а именно: зависимость сдвигоустойчивости от свойств минерального остова асфальтобетонной смеси, свойств вяжущего и асфальтового вяжущего вещества. Предложены практические способы повышения сдвигоустойчивости и стойкости асфальтобетона к колееобразованию за счет полимер битумного вяжущего и минеральной части.
Ключевые слова: сдвигоустойчивость, колеестойкость, асфальтобетон, асфальтобетонной смеси, загрузка, температура.

УДК 625.852

Мішутін А.В., д-р техн. наук

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА КОЛІЄСТІЙКІСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Анотація. У статті наведено аналіз різних факторів, що впливають на коліестійкість асфальтобетону, а саме: залежність зсувостійкості від властивостей мінерального частини асфальтобетонної суміші, властивостей в'яжучого і асфальтового в'яжучої речовини. Запропоновано практичні способи підвищення зсувостійкості і стійкості асфальтобетону до колієутворення за рахунок полімер бітумного в'яжучого і мінеральної частини.
Ключові слова: зсувостійкість, коліестійкість, асфальтобетон, асфальтобетонна суміш, навантаження, температура.

UDC 625.852

Mishutin A.V., Dr. Tech. Sci.

ANALYSIS OF THE FACTORS INFLUENCING THE ASPHALT CONCRETE CHOLESTANOL

Abstract. The article analyzes the various factors influencing the flocculation of asphalt concrete, namely: the dependence of shear stability on the properties of the mineral skeleton of the asphalt-concrete mixture, the properties of the binder and asphalt binder. Practical ways of increasing the shear stability and resistance of asphalt concrete to the rutting due to the polymer of bituminous binders and mineral parts are proposed.

Key words: shear stability, stiffness, asphaltic concrete, asphalt-concrete mixture, loading, temperature.

Введение

Автомобильные дороги в каждой стране мира имеют стратегическое значение. В Украине это значение особо велико, так как они связывают и объединяют обширную территорию, обеспечивая развитие как экономической, так и социальной сферы. Именно от уровня развития дорожной сети зависит насколько устойчивым будет развитие общества в целом, экономический рост, повышение уровня жизни граждан и повышения безопасности страны. От уровня качества автомобильных дорог и их доступности зависит степень их интеграции в международную транспортную систему. В таком случае автомобильные дороги становятся не только частью экономики страны, но и частью мировой экономики, так как от уровня автомобильных дорог зависит себестоимость автомобильных перевозок по территории конкретной страны. В случае если состояние сети автомобильных дорог неудовлетворительное, издержки на перевозки товаров автомобильным транспортом растут, что в свою очередь провоцирует рост цен на перевозимые товары и может в отдельных случаях сделать перевозки таким видом транспорта нерентабельными, что в свою очередь влечет снижение объема перевозок.

Для того что бы обеспечить экономику страны автомобильными дорогами в достаточном объеме, дорожная отрасль нуждается в постоянном уровне финансирования, растущем вместе с протяженностью автомобильных дорог.

Снижение финансирования дорожной отрасли спровоцировало рост протяженности участков автомобильных дорог, на которых наблюдается с 2000 года недоремонт. Одновременно с этим в Украине с начала 90-х годов прошлого столетия наблюдается рост автомобильного парка, который за это время увеличился более чем в 2 раза. Несмотря на такие темпы роста, дорожная сеть увеличилась незначительно. В результате произошедших перемен транспортный поток изменился не только количественно, но и качественно. Значительно возрос объем грузовых перевозок. В соответствии со статистикой [1-6] ежегодный прирост международных автомобильных перевозок в странах СНГ составляет от 10 до 18 %. Однако рост произошел не только с точки зрения увеличения оборота. Так, например, большинство автомобильных дорог Украине рассчитаны на осевые нагрузки 6т и лишь немногие на 10 т. С принятием изменения изменений в ВБН В.2.3-218-186 осевые нагрузки на вновь строящиеся дороги составляет 11,5 т на ось. Однако, большинство из применяемых грузовых автомобилей соответствуют нагрузки на ось в 13 т, которые, как правило, перегружены на 25-30%. Описанная выше неподготовленность сети автомобильных дорог к возникшим на нее нагрузкам спровоцировало повсеместное появление пластических деформаций в виде колеи. С 1995 по 2005 годы протяженность участков с колейностью выросла на 38% и составила порядка 20 тыс. километров и продолжает расти. Как правило, резкое появление колеи на автомобильной дороге сопровождается началом движения по ней автомобилей с осевой нагрузкой значительно превышающей расчетную. В таких случаях колея наблюдается по всей толщине дорожной одежды и даже земляного полотна. В странах Западной Европы, где величина расчетных нагрузок выше Украинских, а их разнообразие больше, процесс колееобразование связывают с недостаточной сдвигоустойчивостью асфальтобетона [7, 8]. Разнообразие расчетных нагрузок позволяет с максимальной точностью моделировать условия работы дорожной конструкции, что обеспечивает подготовленность дорожной конструкции к реальному движению. Экономический ущерб от образования колеи достаточно велик. Помимо снижения безопасности и ровности покрытия, которые сами по себе приносят убытки, образование колеи заставляет чаще менять покрытие автомобильной дороги, чем, если бы его приходилось менять

по причине прочностных разрушений. Использование асфальтобетонного покрытия становится более дорогим и эффективность от средств, вложенных в строительство нового покрытия, резко падает. Данная ситуация приводит к увеличению роста участков автомобильных дорог, требующих ремонта.

В решении проблемы колееобразования необходимо наряду с повышением расчетных осевых нагрузок для дорожных одежд применять асфальтобетоны, более устойчивые к пластическим деформациям. Помимо исследования свойств самого асфальтобетона, позволяющих повысить его сдвигоустойчивость, необходимо разработать метод, который позволял бы при проектировании асфальтобетона определить его способность сопротивляться необратимым деформациям на материалах, применяемых в каждом конкретном случае. Разработка такого метода позволит корректировать и получать составы с наибольшей сопротивляемостью к образованию колеи на стадии проектирования асфальтобетона.

Основная часть

Факторы, определяющие сдвигоустойчивость асфальтобетона. В настоящее время наиболее широкое распространение получил метод расчета различных конструкций, не исключая и конструкцию дорожной одежды, по предельным состояниям. Все существующие конструкции рассчитываются по 2 предельным состояниям: потеря прочности конструкции и появление значительных деформаций, не позволяющих безопасно использовать конструкцию. Конструкции дорожной одежды, в соответствии с [9] рассчитываются по первому предельному состоянию, то есть на прочность. Основным условием работоспособности конструкции считается условие, при котором прочность конструкции выше минимально допустимой, исходя из конкретных условий эксплуатации этой конструкции. Данные нормы предполагают, что удовлетворяя по прочности, конструкция дорожной одежды прослужит в течение всего срока службы. Однако, для асфальтобетонного покрытия не редко характерен выход из строя по второму типу предельного состояния, которым является возникновение необратимых деформаций превышающие допустимые. В результате этого безопасная эксплуатация дорожной конструкции становится невозможной. Такие деформации, как правило, не сильно влияют на величину прочности покрытия, однако их дальнейшая эксплуатация становится невозможной из-за нарушения основных

потребительских свойств покрытия, определяющих безопасность движения транспортных средств по покрытию. Появление необратимых деформаций способствуют скоплению воды на поверхности асфальтобетонного покрытия. Это может привести к появлению эффекта аквапланирования и создает трудности при перестроении транспортных средств из полосы в полосу. Кроме того, в период, когда возможно образование гололеда, скопление воды в колее особенно опасно. <вставка 1 Данные об увеличении аварийности на участках с колеей>

Основными признаками выхода покрытия из строя по второму предельному состоянию являются образование таких дефектов, как волны, наплывы, сдвиги, вмятины, колея, величины, больше допустимой из условия обеспечения безопасности дорожного движения. Появление таких дефектов на асфальтобетонном покрытии обусловлено комплексом факторов, основными из которых являются: высокие сдвиговые нагрузками от автомобильного транспорта и неспособностью асфальтобетонного покрытия воспринимать эти нагрузки, истирающее воздействие шипованых шин, недостаточная прочность дорожной одежды. [10-18.]

Как ранее упоминалось, при изучении процесса колееобразования с точки зрения работы асфальтобетона в покрытии необходимо рассматривать только один из трех типов колеи – пластическую колею, так как ее образование происходит исключительно за счет физических процессов, протекающих непосредственно в асфальтобетоне и зависят от его свойств. Так как деформации происходят из-за накопления незначительных деформаций, под действием многократно повторяющейся нагрузки, то основным свойством, влияющим на сопротивляемость асфальтобетона к накоплению остаточных деформаций является сдвигоустойчивость асфальтобетона. Именно недостаточная сдвигоустойчивость материала приводит к образованию колеи.

Однако, прежде чем делать выводы о причинах, которые определяют недостаточную сдвиговую устойчивость покрытия и факторах определяющих сдвигоустойчивость, необходимо определить физическую модель, по которой работает асфальтобетон на сдвиг.

Так Н.Н. Ивановым, В.А. Захаровым, Н.В. Горелышевым (и многими другими) [10-19], было показано, что сдвигоустойчивость асфальтобетона можно выразить уравнением Маслова (за основу было взято уравнение Кулона, которое было усовершенствовано Масловым до настоящего вида для

применения его к грунтам, в последствие использовано Ивановым, Горелышевым для описания свойств асфальтобетона), по которому сдвигоустойчивость обуславливается внутренним трением и сцеплением материала, которое в свою очередь делиться на сцепление зацепление и вязкой составляющей сцепления.

$$\delta_{СДВ} = Ptg\varphi + C_c + \Sigma_б \quad (1)$$

Данное уравнение наиболее точно описывает модель работы асфальтобетона на сдвиг и имеет три составляющих, от которых и зависит сдвигоустойчивость. Такие параметры как угол внутреннего трения (φ) и внутреннее зацепление частиц (C_c) зависят от свойств минерального остова, а составляющая $\Sigma_б$ от сил сцепления, обуславливаемых свойствами самого вяжущего и асфальтового вяжущего вещества (минеральный порошок и вяжущее). Так же авторами было показано, что увеличение сдвигоустойчивости асфальтобетона можно достичь двумя различными путями: повышение сдвиговых свойств минерального остова и повышение сдвиговых за счет улучшения характеристик битума и асфальтового вяжущего вещества. Более подробно каждое из двух отмеченных направлений повышения сдвигоустойчивости асфальтобетона будет рассмотрено далее.

Однако при рассмотрении свойств асфальтобетона, позволяющих оказывать сопротивление накоплению сдвиговых деформаций не достаточно рассматривать только силы сопротивления сдвигу. При работе в покрытии асфальтобетон подвергается многократным кратковременным или длительным нагрузкам, значительно более низким чес разрушающие. В связи с этим возникает необходимость наряду с рассмотрением свойств асфальтобетона, от которых зависит сдвигоустойчивость напрямую, рассматривать такие свойства асфальтобетона как сопротивление усталостным процессам и накоплению остаточных деформаций.

Зависимость сдвигоустойчивости от свойств минерального остова асфальтобетонной смеси. В рамках вышеописанной физической модели сдвигоустойчивость зависит от таких составляющих формулы Маслова, как угол внутреннего трения (φ) и внутреннее зацепление частиц (C_c). Поэтому, говоря о величине сдвигоустойчивости асфальтобетона, зависящей от свойств

минерального остова, в первую очередь стоит говорить о величине вышеуказанных параметров. Внутреннее трение минерального остова зависит от ряда факторов, в основном от гранулометрического состава и характера поверхности частиц. Так, например, по данным Н.Н. Иванова, В.А. Захарова, Н.В. Горелышева, Л.Б. Гезенцвея [20 - 23] с увеличением размеров частиц внутреннее трение увеличивается, если зерна дробленые и не изменяет его, если они окатанные.

По данным Н.Н. Иванова и Л. Нижбоера [22], тангенс угла внутреннего трения асфальтобетона с увеличением размера частиц от 2 до 16 мм изменяется примерно в пределах от 0.60 до 0,70. Несколько большее влияние оказывает формы и характер поверхности. Так, например, тангенс угла внутреннего трения в щебне выше на 0,10-0,15, чем в гравии. Таким образом, присутствие в составе асфальтобетона остроугольных частиц способствует повышению угла внутреннего трения. В своих работах Н.В. Горелышев и Л.Б. Гезенцвей [21 - 23] отмечали, что сдвигоустойчивость щебенистого асфальтобетона обеспечивается лишь в том случае, когда количество щебня в нем достаточно для образования устойчивого каркаса, обладающего высоким коэффициентом внутреннего трения и способного воспринимать возникающие горизонтальные усилия.

Так же, кроме увеличения размера зерен щебня и применения не окатанных форм зерен, существует еще один метод увеличения внутреннего трения асфальтобетонов. Так замена обыкновенного природного песка на отсевы дробления фракций 0-5 мм или 0-3 мм увеличивают внутреннее трение смеси [21, 22].

Введение же вяжущего в сухую смесь каменных материалов снижает угол внутреннего трения. Так опыты, проведенные Н.В. Горелышевым [19] показали, что угол внутреннего трения сухой минеральной смеси выше, чем смеси, содержащей битум. Объясняется это тем, что битум начинает работать как прослойка, снижающая трение между частицами каменного материала, поэтому с увеличением количества битума угол внутреннего трения снижается. Сопоставление величин внутреннего трения асфальтобетонной смеси в зависимости от формы частиц имеет смысл лишь при оптимальном или равном количестве битума. В противном случае, повышение количества битума резко снижает угол внутреннего трения в асфальтобетоне и в таком случае разница между окатанными и остроугольными частицами резко сокращается.

Авторами, на основании проведенных работ [17,19, 21], были сделаны выводы, что угол внутреннего трения не зависит от температуры и скорости деформирования асфальтобетона. На основании этого были выдвинуты предложения, что повышение сдвигоустойчивости асфальтобетона должно производиться за счет повышения угла внутреннего трения материала. Кроме того, Н.В. Горелышев выделял 4 основные фактора, от которых зависят эксплуатационные свойства асфальтобетона: качество составляющих материалов, гранулометрический состав и количество битума, технология устройства покрытия, конструкция дорожной одежды.

Н.Н. Ивановым, Н.В. Горелышевым были предложены смеси с прерывистой гранулометрией из которых исключены несколько фракций, которые были в дальнейшем исследованы рядом других авторов. В этих смесях средняя крупность зерен каркаса больше, чем при непрерывной гранулометрии, что положительно отражается на плотности и сдвигоустойчивости таких структур.

Исследования Б.И.Ладыгина и И.К. Яцкевича [24] показали, что именно щебен в асфальтобетоне создает основной каркас, который и определяет устойчивость асфальтобетона при воздействии транспортной нагрузки В работе авторами подчеркнуто, что песок выполняет функцию заполнителя между крупными зернами и влияет на его сдвигоустойчивость, а минеральный порошок является добавкой, структурирующией битум, переводящей его в пленочное состояние. До создания теории каркасного асфальтобетона значительные исследования в области объяснения механизма образования структуры асфальтобетона внес Н.В. Михаилов [25, 26], который в своих работах основным типом структуры считал коагуляционную структуру. Асфальтобетон проявляет ползучесть и способствует пластическим деформациям, что может приводить в свою очередь к деформации в дорожных покрытиях при повышенных температурах. С целью уменьшения склонности асфальтобетона к ползучести он рекомендовал применять высокоактивные тонкодисперсные заполнители. Безусловно, в настоящее время асфальтобетон не рассматривается как коллоидная система, но рассмотрение их под таким углом позволяет определить дополнительные пути повышения сдвигоустойчивости за счет изучения свойств битумного вяжущего, которое в частности является коллоидной системой.

Так некоторые из проведенных исследований в Польше [27] говорят о росте сопротивляемости к колееобразованию за счет применения извести

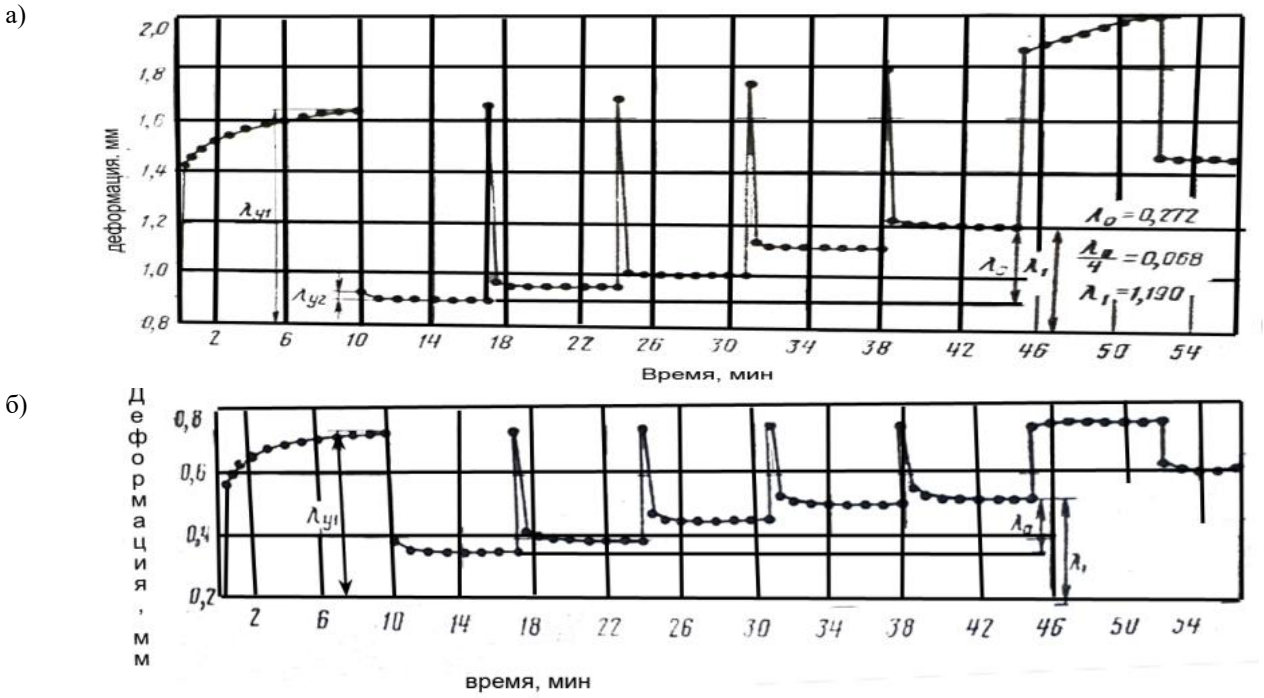
пушонки, которая значительно повышает адгезию битумного вяжущего. В рамках исследований был испытан один асфальтобетон с добавлением извести – пушонки в количестве 0, 1 и 1,5 %. Испытания проведены были на приборе оценки колееобразования путем нагружения 16000 циклов колесной нагрузки. В результате глубина колеи составила соответственно 2,2 мм, 1,2 мм и 0,9мм. Испытания проводились при температуре 50°С. Подобные результаты подтверждают необходимость применения высокоактивных добавок и говорят о влиянии активности материалов на сдвигоустойчивость.

В работах Л.Б. Гезенцвея, М.И. Кучмы и А.М. Алиева [20, 22, 28] по применению активированных минеральных порошков было показана. Что применение активированного заполнителя позволяет существенно снизить количество свободного битума в асфальтобетоне и усилить его структурные связи. Такие изменения в структуре асфальтобетона позволяют добиться резкого увеличения сдвигоустойчивости покрытия и его прочности при высоких летних температурах, а кроме того снизить битумоемкость на 15-25% в зависимости от применяемых веществ при активации материала. В этих же работах авторами были проведены исследования, показывающие, что накопление остаточных деформаций происходит значительно медленнее при применении активированного минерального порошка. Кроме того, полученные авторами данные показывают, что скорость релаксации напряжений в асфальтобетонных образцах выше при применении в асфальтобетоне активированного минерального порошка. (рис.1)

Таким образом, применение активированных минеральных порошков является дополнительным средством регулирования сдвигоустойчивости асфальтобетона и его способности сопротивляться накоплению остаточных деформаций.

Различие в пространственном расположении зерен в смесях непрерывной и прерывистой гранулометриях состоит в том, что в смесях с непрерывной гранулометрией крупные зерна, слагающие каркас, не могут опираться друг на друга. Происходит это из-за того, что следующая по величие фракция, размер которой только вдвое меньше предыдущей, не заполняет пустоты, а раздвигает крупные зерна, нарушая принцип каркасности. Н.Н. Ивановым и Н.В. Горелышевым было показано, что смеси прерывистой гранулометрии во всех случаях обладают большей плотностью каменного остова, чем смеси

непрерывной гранулометрии. Позднее, теорию каркасного асфальтобетона развил и внедрил в практику Н.В. Горелышев [19].



а)- с неактивированным порошком б) – с активированным порошком.

Рисунок 1 - Накопление сдвиговых деформаций асфальтобетонов

Помимо соотношения зерен по размерам и форме не малое влияние на способность сопротивляться колееобразованию и величину сдвигоустойчивости оказывает остаточная пористость асфальтобетона. Сама по себе остаточная пористость характеризуется заданной при проектировании состава асфальтобетонной смеси гранулометрической кривой. Как было отмечено выше, более плотный асфальтобетон имеет более высокую сдвиговую устойчивость. Однако остаточная пористость делает так же отрицательный вклад, с точки зрения способности асфальтобетона сопротивляться колееобразованию. Опыты, проведенные зарубежными учеными показали [8], что помимо снижения сдвигоустойчивости в более пористом асфальтобетоне, величина остаточной пористости сильно влияет на скорость накопления остаточных деформаций и на их конечную величину при одинаковом количестве приложения нагрузки. На рисунке 2 показана обобщенная кривая, полученная в результате проведения многочисленных испытаний на колейность. Из рисунка 2 видно, что снижение остаточной пористости асфальтобетона значительно увеличивает количество

циклов необходимое для достижения заданной величины необратимой пластической деформации при испытании на приборе АРА [29, 30].

Из графика видно, что остаточная пористость асфальтобетона сильно влияет на способность асфальтобетона сопротивляться пластическим деформациям. Однако стоит заметить, что эта зависимость для разных асфальтобетонов разная и влияние остаточной пористости на сопротивление появлению остаточных деформаций может так же проявляться в большей или меньшей степени. На основе этих данных можно сделать вывод, что к появлению деформаций более устойчивы покрытия из плотных асфальтобетонов. Данное заключение, нашло свое выражение в действующих нормативных документах, регламентирующих применение различных видов асфальтобетонов для автомобильных дорог с различными условиями эксплуатации, где для верхних слоев рекомендованы более плотные смеси.



Рис. 3 Зависимость количества циклов для достижения предельной деформации от остаточной пористости.

Рисунок 2 – Зависимость количества циклов для достижения предельной деформации от остаточной пористости

Помимо классического асфальтобетона по [31], в последнее время в Украине, и в Странах Европейского Союза активно применяют щебеночно-мастичный асфальтобетон [32]. Этот материал является наиболее подходящим материалом для устройства верхних слоев покрытий автомобильных дорог с тяжелым и интенсивным движением и покрытий аэродромов. Щебеночно-мастичный асфальтобетон положительно зарекомендовал себя в течение более 35 лет во всем мире как долговечный износостойкий вариант верхнего слоя покрытия[3, 4]. Щебеночно-мастичный асфальтобетон представляет собой смесь из щебня, песка из отсевов дробления, наполнителя, битумного вяжущего и добавок [32]. Характерной особенностью щебеночно-мастичного асфальтобетона является большое

содержание щебня прерывистого гранулометрического состава и содержания стабилизированного асфальтового вяжущего с большим содержанием битума. Основу механизма работы щебеночно-мастичного асфальтобетона составляет самоподдерживающийся каркас и асфальтовый раствор.

Содержание щебня достигает порядка 70-80%, что позволяет создать жесткую скелетную структуру, которая обуславливает высокую сопротивляемость материала пластическим сдвиговым деформациям, а наличие значительного количества битумного вяжущего, образующего толстую пленку вяжущего на поверхности каменных зерен и заполняющих пустоты – делает его чрезвычайно устойчивым к различным агрессивным средам и более долговечным. Щебеночно-мастичный асфальтобетон обладает прочным каркасом, высоким углом внутреннего трения и остаточной пористостью стремящейся к 0%, что делает его одним из лучших материалов для покрытия автомобильных дорог с высокой интенсивностью движения, высокими нагрузками. [32, 33]

М.И. Волковым совместно с рядом авторов ХНАДИ были проведены исследования, которые позволили сравнить удельных вес каждой составляющей в уравнении кулона для асфальтобетона с различным содержанием щебня. В качестве испытуемых асфальтобетонов были выбраны асфальтобетоны типов А и В. При вертикальной нагрузке равной 0,5 МПа в асфальтобетоне типа А на каркас приходится нагрузка равная 91% и 9% на долю асфальтового вяжущего от сдвигающей нагрузки. Для асфальтобетона типа В эти показатели составили соответственно 76% и 24%. Данные результаты показывают то, что с уменьшением удельной доли воспринимаемой битумом сдвиговой нагрузки снижается и чувствительность асфальтобетона к высоким температурам.

Помимо этого, авторами были получены результаты, которые говорят о том, что при изменении скорости нагружения образцов с 50 мм/мин до 0,01 мм/мин прочность асфальтобетона типа А падает на 28%, а типа В на 45%. Данный факт говорит о том, что увеличение количества щебня в асфальтобетоне повышает его способность сопротивляться деформациям при длительном нагружении.

Зависимость сдвигоустойчивости от свойств вяжущего и асфальтового вяжущего вещества. Как показано в исследованиях некоторых авторов [20, 34], сдвигоустойчивость минерального остова выше, чем его же, но смешанного с битумом. Основной задачей битума является склеивание частиц

минерального материала с минимальным изменением показателя сдвигоустойчивости. Таким образом, при подборе вяжущего необходимо подбирать такое, которое смогло бы минимизировать снижение сдвигоустойчивости и как можно меньше способствовать накоплению микроскопических деформаций.

По мнению ряда авторов [1-5, 10-12, 18-22, 24, 26, 28, 33], основным недостатком асфальтобетона, как дорожно-строительного материала является его высокая чувствительность к температурам, а именно его прочности и деформативным свойствам. При повышении температуры вязкость битума снижается, а связи между частицами ослабевают, что влечет за собой уменьшение прочности. В случае понижения температуры происходит обратный процесс. Так если средняя прочность асфальтобетона при +50 °С составляет 10-20 кгс/см^2, а при понижении температуры может достигать 300 кгс/см^2. Такие свойства асфальтобетона не могут не накладывать дополнительных условий на условия работы самого асфальтобетона.

Как упоминалось ранее, если сравнивать сдвигоустойчивость сухой смеси и смеси с битумом, то сухая смесь будет иметь более высокие показатели угла внутреннего трения и зацепления частиц. Вызвано это в первую очередь тем, что битум работает как смазка [18-20, 28]. Однако в работах ряда авторов показано, что битум в асфальтобетоне находится в пленочном состоянии, при котором его вязкость значительно возрастает, именно поэтому при содержании в смеси битума меньше или больше оптимального его прочность падает. В первом случае не происходит полного обволакивания частиц минеральных материалов и материал склеивается не по всех своей массе. Во втором случае, из-за избытка битума он переходит из пленочного состояния в объемное и начинает вести себя как менее вязкий материал. Учитывая вышесказанное, одним из важнейших элементов управлением сдвигоустойчивостью, является подбор оптимального количества вяжущего в смеси.

Таким образом, при сравнении сдвигоустойчивости двух различных асфальтобетонов необходимо сравнивать смеси с оптимальным количеством вяжущего. В формуле (1) $\Sigma_б$- это именно вязкое сцепление в структуре асфальтобетона, обусловленное свойствами вяжущего. Именно недостаточная вязкость битума в момент приложения нагрузки заставляет деформироваться асфальтобетон без восстановления его первоначального состояния. Рядом

авторов выдвинуто положение говорящее, что битум удовлетворяет своему назначению в пределах интервала пластичности, то есть того интервала, в пределах которого вяжущее работает как упруго – пластический материал. Нижней границей этого интервала считается температура хрупкости по Фраасу, при охлаждении битума до более низкой температуры переводит битум в разряд твердых тел (проявляет упругие свойства), которые характеризуются хрупкостью. Как показали исследования [22] температура хрупкости сильно зависит от толщины пленки, и чем толщина меньше, тем температура хрупкости ниже. Из этого можно сделать вывод, что в асфальтобетоне битум, находящийся в тонкой пленке имеет более температуру перехода в упругое состояние, чем температура полученная на приборе Фрааса, когда битум находится в свободном состоянии. Верхней границей интервала пластичности считается показатель температуры размягчения, при превышении которой битум переходит в состояние, при котором ему присущи свойства пластичного тела и он не способен сопротивляться пластическим деформациям. Температура размягчения битума зависит от вязкости битума при 25 ^{o}C, чем она выше, тем выше температура размягчения. Таким образом, более вязкий битум имеет более высокую температуру хрупкости и обладает большей тепловой устойчивостью при эксплуатации асфальтобетона в период повышенных температур.

Однако у более вязких битумов возникает проблема хрупкости при низких зимних температурах. Таким образом, применяя более вязкие битумы для предотвращения появления пластических деформаций летом, увеличивается риск возникновения температурных трещин зимой. Данная проблема обостряется тем, что на большинстве территории России присутствует резко континентальный климат, в условиях которого асфальтобетонное покрытие должно быть способным сохранять работоспособность при температурах зимой до минус 30-50^{o}C а летом до плюс 50-70 ^{o}C. Решением этой проблемы стало применение комплексных органических вяжущих с увеличенным интервалом пластичности [35].

Как показали исследования полимерно-битумных вяжущих, имея вязкость примерно равную вязкости обычного битума при 25 ^{o}C они имеют более высокую температуру пластичности и более низкую температуру хрупкости. Данные, представленные в стандарте [36] показывают сравнение Полимерно-битумного вяжущего и битума одинаковой вязкости. Основной идеей создания таких вяжущих является введение полимера в состав битума с целью получения

структур имеющих более широкий интервал пластичности и более высокую устойчивость к появлению деформаций.

К этим вяжущим материалам относятся вяжущие материалы на основе следующих групп полимеров [36]: Термоэластопласты (сополимеры стирол-бутадиен-стирол (SBS), стирол-изопрен-стирол (SIS), Стирол-бутадиен (SB), статические сополимеры стирол-бутадиен); Термопласты (Сополимеры этилен-винилацетата (EVA) , этилен-метилакрилата (EMA), этилен-бутилакрилата и др.); Латексы (эластомеры) (Полихлорпреновые, различные каучуки).

Определение конкретного вида применяемого полимера для модификации битума зависит от свойств исходного битума, условий эксплуатации полученного вяжущего. В России наибольшее распространение получили термоэластоплаты типа стирол-бутадиен-стирол (СБС), а так же резинобитумные вяжущие на основе измельченной резиновой крошки.

Исследование показали, что введение полимеров в битум позволяет значительно увеличить интервал пластичности вяжущего, чем самым перейти к производству вяжущих с заданными эксплуатационными характеристиками, а в результате этого получить асфальтобетоны с улучшенными эксплуатационными свойствами. Особенностью вяжущих с добавлением таких полимеров является не только увеличенный интервал пластичности, но и появление эластичности, что очень важно для сопротивлению процессу накопления остаточных деформаций при многократном нагружении. Вяжущие на основе этих полимеров обладают высоким показателем эластичности и имеют способность восстанавливаться до первоначального размера при значительных относительных деформациях.

Результаты испытаний показали, что применение асфальтобетонов на модифицированных битумах значительно сокращает образование на покрытии пластических деформаций [1-5, 10-12, 18-22].

Основным свойством вяжущего, влияющим на показатель сдвигоустойчивости является его вязкость при различных температурах. Косвенными показателями вязкости вяжущего при различных температурах являются его показатели пенетрации и растяжимости при 25°С и 0 °С, а так же температура размягчения и температура хрупкости вяжущего. В работах Л.М. Гохмана [35], по сравнению с предлагаемым ранее ставится принципиально новый подход к подбору вяжущего для асфальтобетона. Автором предлагается определять интервал эксплуатационных температур вяжущего, в зависимости от

климатических условий региона строительства и применять вяжущие, интервал пластичности которых удовлетворяет интервалу эксплуатационных температур. Для получения вяжущего с заданными характеристиками (в том числе интервала пластичности) предлагается использование полимерно-битумных вяжущих материалов на основе термоэластопластов [35].

Аналогичные работы были проведены в Соединенных Штатах в рамках исследовательской программы SHRP (стратегическая программа дорожных исследований) была выделена программа создания технических условий на органические вяжущие на основе их эксплуатационных показателей, что позволило бы увязать результаты лабораторных испытаний с поведением материала во время эксплуатации. Данная программа получила название “Superpave” (Superior Performing Asphalt Pavements), что можно перевести как «высококачественные асфальтобетонные покрытия». Результатом проведения данной программы стало введения марки свойств вяжущего (PG) которая в своем обозначении несет рабочий интервал температур вяжущего. [37] Наибольшей им верхним интервалом в данном показателе предусматривается температура 72°С, что в большинстве случаев соответствует температуре покрытия в летний период.

Помимо вышеописанного способа повышения качества битума и регулирования его структурно-реологических характеристик имеется и ряд других. Среди них каучук, сера, резина, прочие полимеры, минеральные волокна, другие химические отходы.

Так И.М. Руденская и А.И. Руденский установили, что особое влияние на свойства асфальтобетона с добавкой резины имеет значение способ введения в состав асфальтобетона. Ими предложены 2 метода введения резины: применение резины в виде наполнителя минеральной части асфальтобетона, применение расплавленной резины и введения её в битум. При первом методе применяется порошок из резины размером частиц до 0,063 мм, который смешивается со смесью минеральных материалов в количестве 1,5-3,0% от массы каменных материалов, подогретых до температуры 180°С. После смешения с битумом асфальтобетонную смесь выдерживают в течении 3-5 часов в течении которых происходит модификация. При втором способе добавления резины к порошку добавляется пластификатор. Который делает ее пригодной для введения в битум, что позволяет получить вяжущее с широким интервалом пластичности.

Выводы

Из всего сказанного можно сделать следующие выводы, что для получения более сдвигоустойчивого и стойкого к колееобразованию асфальтобетона следует стремиться к следующему:

1. Применять каркасные виды асфальтобетона – асфальтобетон с большим содержанием щебня и прерывистой гранулометрией.
2. Применять более плотные асфальтобетоны, которые снижают возможность доуплотнения асфальтобетона в процессе эксплуатации и обладают более высокой сдвиговой устойчивостью.
3. Применять каменные материалы с повышенной прочностью и износостойкостью, а так же щебень кубовидной формы и низким содержанием лещадных частиц, а природный песок заменять на отсевы дробления.
4. В качестве минерального заполнителя применять высокоактивные минеральные по заполнители, а так же адгезионные добавки к битумам.
5. Для обеспечения сдвигоустойчивости необходимо применять эксперементально подобранное оптимальное количество вяжущего.
6. Для получения более сдвигоустойчивого асфальтобетона необходимо применять битум с более широким интервалом пластичности и высокой температурой размягчения.
7. Для предотвращения накопления пластических деформаций в асфальтобетоне необходимо применять комплексные органические вяжущие на основе термоэластопластов (полимерно-битумные вяжущие).
8. Для повышения стойкости асфальтобетона к колееобразованию не обходимо разработать практические методы, а именно материаловедческие, конструктивные и технологические.

Литература

1. Жданюк В.К., Даценко В.М., Чугуєнко С.А., Воловик О.О. До питання про методи оцінки та показники зсувостійкості асфальтобетонів. // Автошляховик України. – 2008. - №3. – С.28-30.

2. Воловик А.А. Колееустойчивость мелкозернистого асфальтобетона на битумах разных марок / Воловик А.А., Костин Д.Ю., Чугуенко С.А., Жданюк В.К. // Международная научно-практическая конференция молодых ученых: «Эффективные материалы, технологии, машины и оборудование для строительства и эксплуатации современных транспортных сооружений». – 2009. – С. 92-97.

3. Онищенко А.Н. Причины образования колеи на асфальтобетонном покрытии автодорожных мостов и способы повышения колеестойкости / А.Н. Онищенко // Дорожная техника. – Санкт-Петербург – 2013 – С. 134-144.

4. Поздняков М.К. Разработка метода оценки сопротивляемости асфальтобетона колееобразованию / Поздняков М.К., Быстров Н.В. // Ассоциация исследователей асфальтобетона. Сборник докладов. – 2010. – С. 91-99.

5. Онищенко А.М. Існуючі способи підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття штучних споруд автомобільних доріг/ Онищенко А.М. // Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов. В кн.: Мат. Межд. науч. – практ. конф. 01-04.11.12. – Харьков. – С. 193-198.

6. Б.Б. Каримов, Е.К. Салимбаев Автомобильные дороги содружества независимых государств (состояние, проблемы, перспективы, управление, финансирование, безопасность, экология) – М.: Интрансдорнаука, 2006. – 264 с.

7. «Научно-техническое обоснование причин образования колейности на участке км 345-405 автодороги Москва – Минск с разработкой предложений» Отчет НИР по договору № 56/НТР-02. ДП ФГУП «СоюздорНИИ».

8. Validation of asphalt binder and mixture tests that measure rutting susceptibility. FHWA-RD-99-204. 2000.

9. ВБН В.2.3-218-008-97 Проектування і будівництво жорстких та з жорсткими прошарками дорожніх одягів.

10. Рыбьев И.А. Асфальтовые бетоны. - М.: Высшая школа, 1969.

11. Богуславский А.М. , Богуславский Л.А. Основы реологии асфальтобетона. - М.: Высшая школа, 1972. - 200 с.

12. Васильев А.П., Яковлев Ю.М., Руденский А.В. ОДМ «Рекомендации по выявлению и устранению колей на нежестких дорожных одеждах»: Росавтодор, М. 2002, 180 с.

13. Г.Н. Кирюхин, Методы проектирования и испытания асфальтобетона. Обзорная информация СОЮЗДОРНИИ 6.2005.

14. Еремин В.Г., Еремин А.В., Волокитин В.П. Результаты исследования деформационно-прочностных свойств асфальтобетона методом вдавливания сферического штампа. Научный Вестник Воронежского государственного архинектурно-строительного университета, серия «Дорожно-транспортное строительство» вып. №1, 2003 г., с. 69-72.

15. Страгис В.И. Обоснование требований к сдвигоустойчивости асфальтобетона применительно к местным условиям Литовской ССР. :Автореф. дисс... канд. техн. наук. - Каунас, 1974.-29 с.

16. Ладыгин Б.И. Основы прочности и долговечности дорожных бетонов. - Минск: МВСС и ПО БССР, 1963, с. 127.

17. Ребиндер П.А. Образование и механические свойства дисперсных структур. Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева, 1963, №8, с.162.

18. Никольский Ю.Е., Гмыря Б.С, Губач Л.С., Старков Г.Б. Новый эффективный способ оценки сдвигоустойчивости асфальтобетона. Автомобильные дороги N 11-12, 1992, с.20.

19. Н.В. Горелышев Каркасный асфальтобетон. Дисс. Д.т.н. / М. – 1978

20. Л.Б. Гезенцвей. Асфальтовый бетон, «Стройиздат» Москва, 1964 (625.8 Г-28) УДК 624.01.12.3: 666.97.03.004

21. Н.Н. Иванов Устойчивость асфальтобетонных покрытий при высоких температурах. В кН.: Повышение качества асфальтобетона . М. 1975, с21-25. Труды СОЮЗДОРНИИ. Вып. 79.

22. Л.Б. Гезенцвей Дорожный асфальтобетон М. «Транспорт», 1976. 336с.

23. М. Иваньски, Н.Б. Урьев Асфальтобетон как композиционный материал (с нанодисперсными и полимерными компонентами). М., Техполиграфцентр, 2007.-668с.

24. Ладыгин Б.И., Яцевич И.К. Прочности и долговечности дорожных бетонов. – Минск. Наука и техника. 1972.

25. Михайлов Н.В. Упруго-пластические свройства нефтяных битумов// Уоллоидный журнал. 1955.-17.-№3.

26. Михайлов Н.В. Основы улучшения и регулирования свойств дорожных битумов и битумоминеральных материалов. Балашиха: СоюздорНИИ, 1965.

27. Luxemburg F. Limite hydrate as an additive to improve the adhesion of bitumen to aggregates// II international conference "Durable and save road pavements". Poland, Kielce, 1996.

28. А.М. Алиев Исследование сдвигоустойчивости асфальтобетонов при высоких температурах. В кН.: Повышение качества асфальтобетона. М.. СоюзДорНИИ, 1975, с. 119-124 (Труды союздорнии вып. 79).

29. NCHRP Report 465. Simple Performance Test for Superpave Mix Design: National Academy Press, Washington D.C. - 2002, s.105.

30. Larry Santucci «Rut resistant asphalt pavements» , Technology transfer program report., 2002.

31. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови : ДСТУ Б В.2.7–119–2011. – [2012–10–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 37 с.

32. Будівельні матеріали. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево–мастикові. Технічні умови : ДСТУ Б В.2.7–127:2015. – [Чинний від 2016–07–01]. – К.: Мінбуд України, 2015. – 28 с.

33. Кирюхин Г.Н., Смирнов Е.А. Строительство дорожных и аэродромных покрытий из щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. – М., 2003. – 96 с. – (Автомоб. Дороги и мосты: Обзорн. Информ./ Информавтодор; Вып. 2).

34. EN 12697-22:2003+A1:2007 «Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 22: Wheel tracking».

35. .М. Гохман Комплексные органические вяжущие материалы на основе блоксополимеров типа СБС. Учебное пособие. – М. 2004

36. Будівельні матеріали. Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови : ДСТУ Б В.2.7–135:2014. – [Чинний від 2015–04–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2014. – 23 с. – (Національний стандарт України).

37. Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing Superpave Series №1 (SP-1) - Asphalt Institute, 1995.

Рецензенти:
Савенко В.Я., д-р тех. наук, Національний транспортний університет.
Жданюк В.К., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Reviewers:
Savenko V.Ya., Dr. Tech. Sci., National Transport University.
Zhdaniuk V.K., Dr. Tech. Sci., Kharkiv National Automobile and Highway University.

Стаття надійшла до редакції: **17.03.2017 р**.

УДК 625. 7/.8

Сівко В.Й., д-р техн. наук

ВПЛИВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА НАКОПИЧЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ В АСФАЛЬТОБЕТОННОМУ ПОКРИТТІ

Анотація. В статті наведено аналіз існуючих моделей накопичення залишкових деформацій в покритті автомобільних доріг від дії транспортних засобів при високих температурах. Обґрунтована модель для об'єктивного прогнозування колії в асфальтобетонному покритті.
Ключові слова: транспортний засіб, асфальтобетонне покриття, деформація, навантаження, температура.

Сивко В.Й., д-р техн. наук

ВЛИЯНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА НАКОПЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В АСФАЛЬТОБЕТОННОМ ПОКРЫТИИ

Аннотация. В статье приведен анализ существующих моделей накопления остаточных деформаций в покрытии автомобильных дорог от воздействия транспортных средств при высоких температурах. Обоснованная модель для объективного прогнозирования колеи в асфальтобетонном покрытии.
Ключевые слова: транспортное средство, асфальтобетонное покрытие, деформация, нагрузка, температура.

Sivko V.Y., Dr. Tech. Sci.

EFFECT OF VEHICLES THE ACCUMULATION OF RESIDUAL STRAIN IN ASPHALT PAVEMENT

Annotation. The article analyzes the existing models of accumulation of residual deformations in the coverage of motor roads from the impact of vehicles at high temperatures. A valid model for objective forecasting of track in asphalt concrete pavement.
Keywords: vehicle, asphalt-concrete coating, deformation, load, temperature.

Вступ

Рівність дорожніх покриттів обумовлює важливі споживчі властивості автомобільної дороги. З погіршенням рівності знижується середня швидкість руху транспортного засобу. У деформованих зонах покриття накопичується вод, яка призводить до зменшення коефіцієнта зчеплення пневматичного колеса з покриттям. Як відомо кількість транспортних засобів на автомобільних дорогах постійно зростає це призводить до появи на асфальтобетонному покритті з урахуванням високої температури до напливів, колій, зсувів [1-3]. Такі деформації в покритті найбільш часто виникають в місцях зафіксованих зупинок, біля світлофору та в зоні перехрестя де присутній підвищений рух транспортних засобів, а також повільний рух на автодорожніх мостах в крайніх правих полосах руху великовантажних транспортних засобів [3]. Нерівність призводить до виникнення динамічних навантажень у результаті, яких максимальне зусилля, що передається на від колесо на покриття в середньому зростає 1,3 рази [2]. При цьому мінімальне зусилля знижується до 0,7 – 0,8 від статичного навантаження. Така варіація величини навантаження призводить до різних переміщень (деформувань) поверхні покриття вздовж траєкторії руху транспортного засобу і являється причиною подальшого зниження повздовжньої рівності. Тому прогнозування рівності покриття є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Великий внесок з розв'язку проблем деформування середовища від дії транспортного засобу внесли такі вчені як: А.С. Александров, І.О. Барашков, І.М. Бартенєв, А.М. Богуславського, О.М. Бурмистрова, А.П. Васильєв, Л.Б. Гезенцвей, К. Джонсон, А.Ю. Ішлінскій, М.М. Иванов Б.С. Радовський, П.А. Ребиндера, А.В. Руденська, І.А.Золотарь, В.О. Золотарьов, В.П. Матуа, І.Г. Овчиников, М.Я.Хархута, М. О. Цитович [1, 4-18] та інші дослідники. Аналіз цих робіт показав, що на даний час існуючі моделі з використанням реологічних основ механіки матеріалу дуже складні, пов'язані з його показниками, які визначаються експериментальним шляхом в лабораторних умовах, у цьому випадку [10] запропоновано модель деформування для оцінки колієутворення в матеріалі дорожнього одягу від дії жорсткого та пневматичного колеса. Тому актуальність роботи полягає в пошуку моделей деформування асфальтобетону для прогнозування рівності покриття.

Виклад основного матеріалу. Існуючі моделі деформацій асфальтобетонного покриття за своєю природою утворюються поступово за рахунок накопичення незворотних мікродеформацій. Дослідженнями залежності

розвитку деформації від певних напружень широко описані в роботах П.А. Ребиндера і його учнів [13, 16-18].

Так, узагальнюючи викладене авторами, Л.Б. Гезенцвей вказував, що при постійно діючому напружені розвиток деформацій в часі в пружно-пластичних матеріалах залежить від величини напружень і пропонує розглядати два випадки: 1 - коли діючі напруження Р досить малі і менше межі пружності або межі текучості, тобто $P<P_к$. В цьому випадку у деформованому тілі розвиваються тільки зворотні деформації, що поділяються на два типи а) пружна деформація ε_0, що підкоряється закону Гука. Вона виникає після прикладення навантаження миттєво зі швидкістю поширення звуку в даному матеріалі і з такою ж швидкістю спадає після зняття навантаження, і б) деформація пружної післядії ε_e, вона повільно розвивається, після прикладення напружень і так само повільно спадає після зняття напружень. Цю деформацію іноді називають деформацією сповільненій пружності. Говорячи про пружнью деформацію першого типу, після зняття напружень первісна геометрична форма повністю відновлюється, а крива, характерна для такого типу деформації показана на рисунку 1а. Другий випадок, коли діє напруження Р перевищує межу текучості, але менше $P_к$, але менше граничного напруження P_m, що викликає руйнування матеріалу. В цьому випадку в основі, що деформується матеріал при досить тривалому часу (що перевищує час, протягом якого розвивається еластична деформація) розвивається ще один тип деформації, крім двох описаних раніше - деформація в'язкої і пластичної течії, що є незворотною $\varepsilon_{ост}$. Другий випадок деформування відбувається як показано на рисунку 1б.

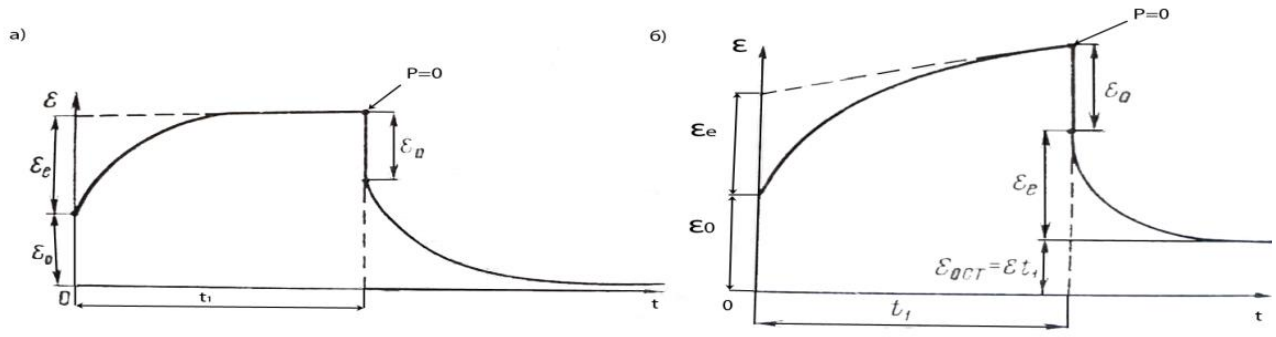


Рисунок 1 - Розвиток деформації при напруженнях: а) менше межі текучості; б) що перевищують межу текучості

Крім описаного вище Л.Б. Гезенцвеем вказується на те, що структурно-механічні властивості можна найбільш повно охарактеризувати наступними, незалежними один від одного константами матеріалу. Модуль пружності

(умовно миттєвий або початковий модуль пружності, модуль еластичності, рівноважний модуль), в'язкість (найбільша гранична в'язкість, найменша в'язкість, ефективна в'язкість, пластична в'язкість і в'язкість пружної після дії), час релаксації напружень, межа плинності. Крім того, Л.Б. Гезенцвей відзначає важливу властивість залежності поведінки тіла від тривалості прикладання навантаження: «При дуже малому часі дії навантаження любе в'яже тіло може розглядатися як пружне і навпаки, любе пружно - в'язке тіло великому часі спостереження і постійній швидкості прикладання навантажень може розглядатися як в'язке ». З точки зору вивчення процесу утворення колії, цей вислів має велике значення, так як передбачає врахування часового фактора впливу навантаження.

Так в своїй роботі Л.А. Горелишев [19], говорить про необхідність врахування тимчасового фактору впливу навантаження при виборі частотних режимів випробування асфальтобетону на втому. Дані принципи закладені в рекомендаціях по проектуванню дорожніх одягів доріг різних категорій з заданими розрахунковими швидкостями руху США. Даний посібник [20] враховує той факт, що на дорогах вищої категорії швидкості вищі і тривалість навантаження відповідно нижче. І, навпаки, на місцевих дорогах розрахункова швидкість мала і частота навантаження набагато нижче.

У своїх роботах М.М. Іванов [14] показав, що умовою утворення незворотних деформацій є невідповідність міцності асфальтобетону наступній умові:

$$R_{расч} = \frac{2 \cdot \sigma \cdot h \cdot \lambda}{D \cdot tg \cdot \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right)}, \qquad (1)$$

де σ – розрахункове напруження, що діє на покриття;

h – товщина асфальтобетону;

λ – коефіцієнт, який враховує спільну дію вертикальних і горизонтальних напружень;

D – діаметр відбитку колеса;

φ – кут внутрішнього тертя асфальтобетону.

Цей вираз (1) дозволяє судити про те, що чим більше товщина шару асфальтобетону, тим більшою зсувостійкість він повинен володіти. Однак, в своїх роботах L.W. Hewitt [21] довів, що збільшення опоруі асфальтобетону до

зсуву по даній залежності відбувається до досягнення товщини шару в 10-12 см, подальше збільшення шару не впливає на здатність шару асфальтобетону чинити опір зрушенню. Це ймовірно пов'язано з тим, що максимальні зсувні напруження утворюються на глибині шару асфальтобетону до 10 см, що підтверджується дослідженнями, проведеними А.П. Васільєвим, Ю.М. Яковлевим і А.В. Руденським, в яких визначається товщина зсувонебезпечної зони до 9-10 см і залежить від товщини асфальтобетону, як показано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Товщина зсувонебезпечної зони

Загальна товщина асфальтобетонного шару, см.	6-10	11-15	16-20	21-25	Более 25
Н, см.	5	6	7	8	9

Вивчаючи деформаційні характеристики асфальтобетону Л.Б. Гезенцвей запропонував схему деформації в пружно-в'язкому тілі при багаторазовому додатку навантажень, яка представлена на рисунку 2.

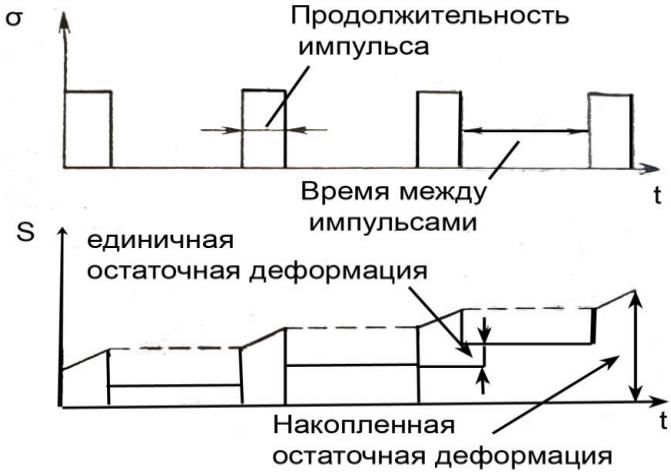


Рисунок 2 - Схема деформації в пружно-в'язкому тілі при багаторазових циклічних навантаження [18]

.

Дана схема (рис. 2) найбільш показово описує процес накопичення незворотних деформацій в асфальтобетоні і найбільш точно характеризує режим навантаження асфальтобетону в покритті. Важливість врахування втомних характеристик, а також здатність асфальтобетону сприймати повторювані навантаження обумовлена умовами роботи асфальтобетону в покритті. Вперше розробкою методів, що дозволяють оцінити поведінку асфальтобетону в умовах

багаторазового навантаження (умовах наближених до реальних умов роботи асфальтобетону). Розробкою такого методу вперше зайнялися на початку 70-х років вчені Франції [22]. Використання такого методу показало хорошу кореляцію з поведінкою асфальтобетону в покритті. Дані установки були сконструйовані таким чином, що при випробуванні на них, асфальтобетонні зразки піддаються повторюваному навантаженню, що імітує рух автомобільного колеса по покриттю [23]. Як правило, серед усього розмаїття подібних методів колесо, що імітує рух автомобільного колеса не має свого приводу, що виключає вплив на зразок дотичних напружень, пов'язаних з початком і закінченням руху, вплив на зразок здійснюється тільки за допомогою нормального навантаження. Дослідження асфальтобетону на приладі такого роду дозволяє визначити втомні характеристики асфальтобетону і за допомогою кореляції отриманих результатів з поведінкою матеріалу в покритті перейти до нормуванню таких показників. Ідея створення подібних приладів була підхоплена вченими інших країн і в даний час існує безліч методів як для визначення властивостей при циклічному навантаженні зразка, так і випробування. Які безпосередньо спрямовані на визначення стійкості конкретного асфальтобетону до утворення колії [23].

В даний час об'єднані норми країн ЄС на методи випробування містять безліч методів випробування циклічними навантаженнями [24-26]. Дані стандарти передбачають випробування різних зразків із застосуванням різної апаратури (циліндричних, консольних балочок постійного і змінного перерізу, балочок на двох опорах). Одночасно з розробкою таких методів проводилося і вдосконалення моделі, яка б описувала поведінку асфальтобетону при багаторазових навантаженнях. Як відомо асфальтобетон в напружено-деформаційному стані характеризується рядом складних властивостей: пружність, пластичність і повзучість. Протягом періоду навантаження мають місце численні процеси: релаксація напружень, зміна міцності від швидкості деформування, накопичення деформацій при багаторазовому навантаженні і багато інших. Таким чином, автори приходять до думки [27], що в залежності від прояву тих чи інших властивостей для їх описі слід застосовувати не тільки закони теорії пружності і пластичності, а й теорії повзучості, яка в свою чергу оперує додатковою незалежною перемінною - часом.

Так, авторами пропонувалося описувати працездатність реальних тіл з використанням теоретичних моделей, що складаються із з'єднання пружного в'язкого і пластичного елементів. Дослідження зарубіжних вчених, описані в

роботі [27], кажуть, що основними моделями для цих цілей є модель Максвелла та Кельвіна-Фойота. Подальші дослідження [28] показали, що існують більш відповідні моделі для опису цих процесів - модель Бюргерса, яка надалі була модифікована. Основний принцип моделі Бюргерса є те, що крива розвантаження є дзеркальне відображення кривої навантаження. Схема розвитку деформації відповідно до моделі Бюргерса представлена на рисунку 3 і виражається формулою:

$$\varepsilon_1(t) \quad \text{при} \quad t \in (t_0, t_1),$$
$$\varepsilon_2(t) \quad \text{при} \quad t \in (t_1, t_2),$$

$$\varepsilon_1(t) = \frac{\sigma_0}{E_1} + \frac{\sigma_0 \cdot t}{\eta_1} + \frac{\sigma_0}{E_2} \cdot \left(1 - e^{\frac{-t \cdot E_2}{\eta_2}}\right). \tag{2}$$

$$\varepsilon_2(t) = \frac{\sigma_0 \cdot t_1}{\eta_1} + \frac{\sigma_0}{E_2} e^{\frac{-t \cdot E_2}{\eta_2}} \cdot \left(e^{\frac{t_1 \cdot E_2}{\eta_2}} - 1\right). \tag{3}$$

де $\varepsilon = \frac{\Delta h}{h}$ - одинична деформація;
h – висота зразка;
Δh – зменшення зразка;
σ_0 – напруження;
E_1 – миттєвий модуль пружності;
E_2 – запізнюючий модуль пружності;
η_1 – коефіцієнт в'язкості повзучості;
η_2 – коефіцієнт в'язкості пружного запізнення;
t_0 – час з моменту прикладання навантаження;
t_1 – час з моменту зняття навантаження.

Однак результати деяких досліджень [27, 28] асфальтобетонів показали часткову невідповідність результатів випробування моделі, в результаті була запропонована модифікована модель Бюргерса з додатковим елементом.
Модифікована модель Бюргерса з додатковими елементами вважається найбільш успішною [27, 28] і точно описує поведінку асфальтобетону при багаторазових навантаженнях. Схематичне зображення моделі представлено на рисунку 4.

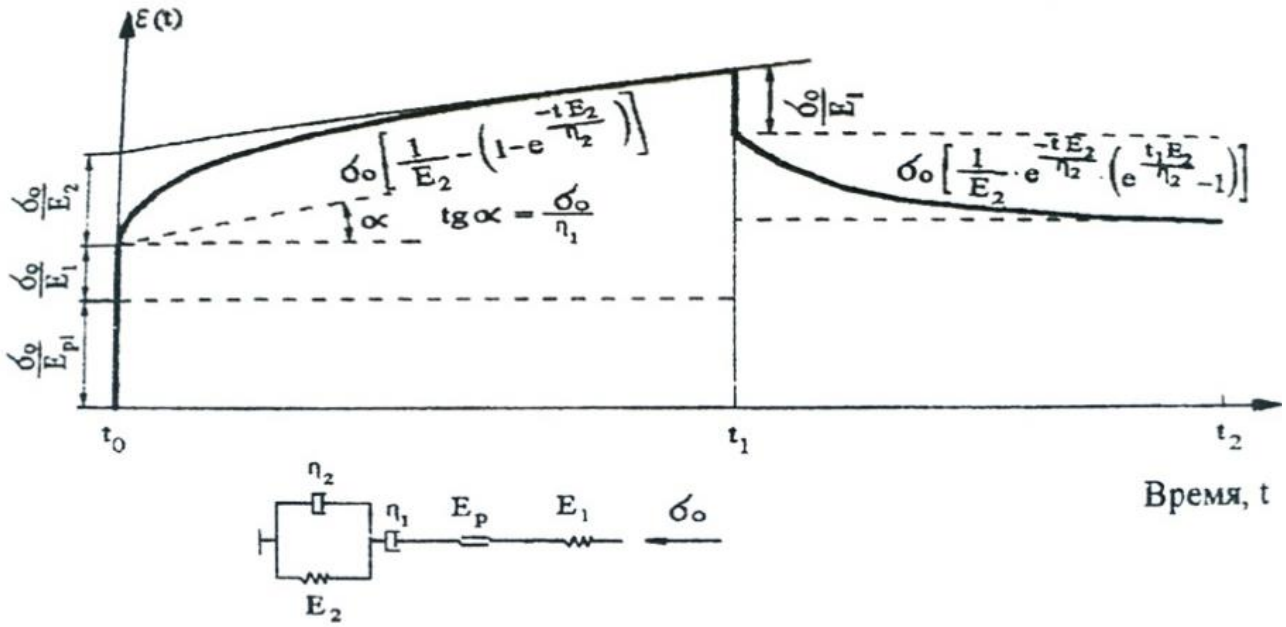


Рисунок 3 – Модель Бюргерса

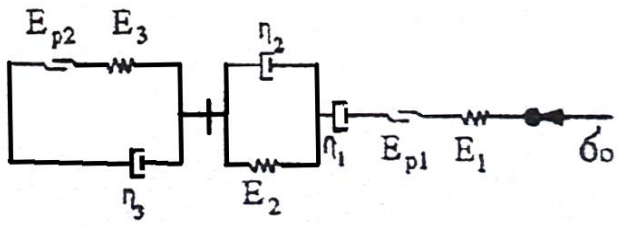


Рисунок 4 - Схема модифікованої моделі Бюргерса з додатковим елементом

$$\varepsilon_1(t) = \frac{\sigma_0}{E_{p1}} + \frac{\sigma_0}{E_1} + \frac{\sigma_0 \cdot t}{\eta_1} + \frac{\sigma_0}{E_2} \cdot \left(1 - e^{\frac{-t \cdot E_2}{\eta_2}}\right). \quad (4)$$

$$\varepsilon_2(t) = \frac{\sigma_0}{E_{p1}} + \frac{\sigma_0}{E_{p2}} + \frac{\sigma_0}{E_3} e^{\frac{-t \cdot E_3}{\eta_3}} \cdot \left(e^{\frac{t \cdot E_3}{\eta_3}} - 1\right). \quad (5)$$

де η_3 – коефіцієнт в'язкості короткочасного в'язко - пружного запізнення;
E_{p1} - миттєвий в'язко - пружній модуль;
E_{p2} – запізнюючий в'язко - пружній модуль;

Графічна інтерпретація формул, що описують модифіковану модель Бюргерса з додатковим елементів представлена на (рис. 5). Далі представлені самі формули, що описують поведінку асфальтобетону в момент прикладання та зняття навантаження.

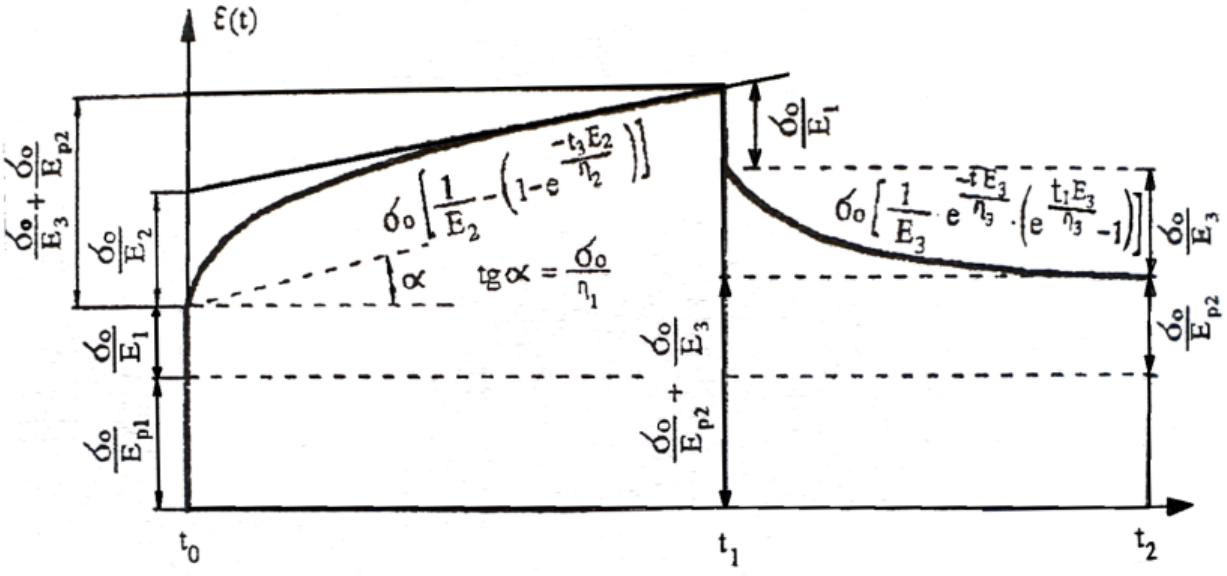


Рисунок 5 – Графічна інтерпретація формул, що описують кривою повзучості

Крім вищеописаної робіт [27, 28] визначили асимптоти для функцій, які в загальному вигляді були представлені так:

$$A(t) = K_t + b \tag{6}$$

$$\text{где } K_t = \lim_{t\to\infty} \frac{\varepsilon(t)}{t} \qquad b = \lim_{t\to\infty} (\varepsilon(t) - K_{t)} \tag{7}$$

де A(t) – значення яке визначається на осі координат.

Застосовуємо у рівняння (6) і (7) функції $\varepsilon_1(t)$ і $\varepsilon_2(t)$ отримуємо залежності:

$$A(t) = \frac{\sigma_0 \cdot t}{\eta_1} + \frac{\sigma_0}{E_{p1}} + \frac{\sigma_0}{E_1} \text{ для функції } \varepsilon_1(t) \tag{8}$$

$$\varepsilon_2(t) = \frac{\sigma_0}{E_{p1}} + \frac{\sigma_0}{E_{p2}} \qquad \text{для функції } \varepsilon_2(t) \tag{9}$$

Достовірність отриманих залежностей авторами була підтверджена експериментально на асфальтобетонах різних складів і з різним вмістом в'яжучого. В результаті проведених випробувань, авторами було введено поняття модуля жорсткості, який з'явився характеристикою, що визначає деформативність асфальтобетону в період дії довготривалого навантаження.

В роботі [10] запропоновано в’язко-пружньо-пластична модель колієутворення від дії навантаження пневматичного колеса транспортного

засобу в покритті дорожнього одягу. Для отримання формули для глибини колії, що утворилася після першого проходу колеса:

$$h = \frac{1}{2}\left(c \times \beta \times R\right)^{-\frac{1}{3}}\left[\left(\frac{3 \times P}{b}\sqrt{\frac{c+\beta}{c \times \beta}-1}\right)\right]^{\frac{2}{3}}, \qquad (10)$$

де c - коефіцієнт пропорційності;

R – радіус колеса;

P - сила навантаження на колесо;

Дане рівняння (10) є справедливим для прогнозування залишкових деформацій в асфальтобетонному покритті на автомобільних дорогах та мостах. З метою наближеного моделювання накопичення залишкових деформацій в асфальтобетонному покритті може використовуватись наближений метод скінченних різниць [29]. Такий метод дозволяє замінити диференційне рівняння системою алгебраїчних виразів.

Висновок

В даній статті проаналізовано існуючі моделі для прогнозування накопичення залишкових деформацій в покритті від дії транспортних засобів та високої температури.

Для більш точного та практичного застосування пропонується рівняння (10) А.Ю.Ішлінского [10], яке складається з в’язко пружньо – пластичної моделі і враховує дію пневматичного колеса транспортного засобу та розрахункові властивості досліджуваного середовища з метою прогнозування залишкових деформацій в покритті на автомобільних дорогах та мостах.

Література

1. Золотарев В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов / Золотарев В.А.. – Харьков: Вища школа, 1977. – 116 с.
2. Александров А.С. Применение теории наследственной ползучести к расчету деформаций при воздействии повторных нагрузок: монография / А.С. Александров – Омск: СибАДИ, 2014. – 152 с.
3. Онищенко А. М. Проектування зернового складу асфальтобетону підвищеної коліїстійкості з оптимізацією за показником розрахункового строку служби./ Онищенко А. М.// Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference «Methodology of Modern Research» : Международное периодическое научное издание. - 2017. - № 4(20), Vol.2. – Dubai, «WORLD SCIENCE», UAE. – P. 32-35. - ISSN 2413-1032. Видання входить до наукометричних баз даних: Index Copernicus, eLIBRARY, РІНЦ, RSCI, Schoolar Google, ORCID.
4. Радовский Б.С., Телтаев Б.Б. Вязкоупругие характеристики битума и их оценка по стандартным показателям. – Алматы: «Білім», 2013. – 152 с.
5. Барвашов В.А. К расчету осадок грунтовых оснвоаний, представленных различными моделями / В.А. Барвашов // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 1977. - №4. - С.26-27.
6. Овчинников И.Г. Прикладная механика дорожных одежд на мостовых сооружениях / И.Г. Овчинников, А.Г. Щербаков, А.В. Бочкарев, Г.А. Наумова - М.: Монографія Волгоград: ВолгГАСУ, 2006. -310 с.
7. Цытович Н.А. Механика грунтов / Цытович Н.А. М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.
8. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия/ К. Джонсон: Пер. с англ. – М.: Монографія : Мир, 1989. – 510 с.
9. Золотарь И.А. К определению остаточных деформаций в дорожных конструкциях при многократных динамических воздействиях на них подвижных транспортных средств / И.А.Золотарь. - Санкт-Петербург: Изд-во "ВАТТ", 1999. - 31 с.
10. Ишлинский А.Ю. Математическая теория пластичности / А.Ю.Ишлинский , Д.Д. Ивлев - М.: Монографія : ФИЗМАТЛИТ, 2001, 2003. - 704 с. - ISBN 5-9221-0141-2.
11. Матуа В.П. Прогнозирование и учет накопления остаточных деформаций в дорожных конструкциях / В.П. Матуа, Л.Н. Панасюк. – Ростов – на - Дону: РГСУ, 2001. – 327 с.
12. Хархута Н.Я. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог / Н.Я. Хархута, Ю.М.Васильев. - М.: Транспорт, 1975. - 592 с.
13. Богуславский А.М. Основы реологии асфальтобетона / А.М.Богуславский, Л.А. Богуславский. - М. Высшая школа, 1972. - 200 с.
14. Иванов Н.Н. Основы новой методики расчета жестких дорожных одежд с учетом повторяемости воздействия нагрузок / Н.Н.Иванов, М.С.Коганзон, С.В.Коновалов. - М.: Высшая школа, 1959. - 61 с.
15. Бируля А.К. Эксплуатация автомобильных дорог / Бируля А.К. – М.: Автотрансиздат, 1956. – 340 с.
16. Ребиндер П.А. Образование и механические свойства дисперсных структур. Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева, 1963, №8, с.162.
17. Руденский А.В. Руденская И.М. Реологические свойства битумоминеральных

материалов. М. Высшая школа, 1971. 130 с.
18. Л.Б. Гезенцвей Дорожный асфальтобетон М. «Транспорт», 1976. 336с.
19. Л.А. Горелышева, А.А. Штромберг Усталость долговечности. Журнал «Автомобильные дороги». 2008, № 7, с 136-137.
20. Guide for Mechanistic – Empirical Design of new and rehabilitated pavement structures: final report. NCHRP, 2004.
21. W.L. Hewitt, High. Res. Re, 1965, №104, с. 78-104.
22. Brosseaud Y., Delorme J., Hiernaux R., Study of permanent deformations in asphalt in with the help of LCPC wheel tracking rutting tester: evaluatin and future prospects. TRB, 01/93 с. 175-182
23. Онищенко А.М. Методи оцінки колієстійкості асфальтобетону. / Онищенко А.М.// Slovak international scientific journal «CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE»: Международное периодическое научное издание. – 2016/ - № 2 (2). Slovakia. P. 16-26. – ISSN 5782-5319.
24. EN 12697-24:2004+A1:2007 Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 24: Resistance to fatigue
25. EN 12697-25:2005 Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 25: Cyclic compression test
26. EN 12697-26:2004 Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 26: Stiffness
27. М. Иваньски, Н.Б. Урьев Асфальтобетон как композиционный материал (с нанодисперсными и полимерными компонентами). М., Техполиграфцентр, 2007.-668с.
28. Szczesna J., Zawadzki J. Zastosowanie zmodyfikowanego modelu Burgesa do okreslania cech reologicznych betonu asfaltowego. // Prace IBDiM, 1985, №4, с25-26.
29. Напружено-деформований стан будівельних матеріалів в технологічних процесах виробництва: Підручник для студ. вищ. навч. закл. тех. спец. / Сівко В.Й., Поляченко В.А., Кузьмінець М.П., Сівко Є.В., Науменко Ю.В. – К. НТУ, 2010. – 352 с. – Бібліографія.: 342 – 347.

Рецензенти:
Павлюк Д.О., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.
Кіяшко І.В., канд. техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Reviewers:
Pavliuk D.O., Dr. Tech. Sci., National Transport University.
Kiiashko I.V., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Kharkiv National Automobile and Highway University.

Стаття надійшла до редакції: **30.03.2017 р.**

ЕКОНОМІКА ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА, ТЕХНІЧНА ЕКСПЕРТИЗА ТА ОЦІНКА МАЙНА

УДК 528.4:332.3

Мамонов К. А., д-р техн. наук, **Грек М. О.**

ОСНОВНІ НАПРЯМИ ТА ОСОБЛИВОСТІ МІСТОБУДІВНОГО РОЗВИТКУ ЗЕМЕЛЬ МЕГАПОЛІСУ

Анотація. Метою статті є визначення основних напрямів та виявлення особливостей містобудівного розвитку м. Харкова.

Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні завдання: визначення напрямів та основних показників містобудівного розвитку м. Харкова; характеристика містобудівних зон міста; визначення функціональних напрямів використання.

Визначені напрями та особливості містобудівного розвитку м. Харкова, враховуючи шляхи розподілу й функціонального використання земель мегаполісу.

Ключові слова: містобудівний розвиток, мегаполіс, розподіл й функціональне використання земель.

УДК 528.4:332.3

Мамонов К. А., д-р техн. наук, **Грек Н. А.**

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ЗЕМЕЛЬ МЕГАПОЛИСА

Аннотация. Целью статьи является определение основных направлений и выявление особенностей градостроительного развития г. Харькова.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: определение направлений и основных показателей градостроительного развития г. Харькова; характеристика градостроительных зон города; определение функциональных направлений использования.

Определены направления и особенности градостроительного развития г. Харькова, учитывая пути распределения и функционального использования земель мегаполиса.
Ключевые слова: градостроительное развитие, мегаполис, распределение и функциональное использование земель.

UDK 528.4:332.3

Mamonov K. A., Dr. Tech. Sci., **Hrek M. O.**

MAIN TRENDS AND FEATURES OF THE LAND METROPOLIS URBAN DEVELOPMENT

Abstract. The purpose of this article is to identify main trends and to identify the peculiarities of urban development of the city of Kharkiv.
To achieve this goal the following tasks: definition of the directions and key indicators of urban development of the city of Kharkov; the characteristics of urban zones; definition of the functional areas of use.
Identified areas and features of urban development in the city of Kharkov, given the way distribution and functional land use of the metropolis.
Key words: urban development, urban distribution and functional use of land.

Вступ

На сучасному етапі м. Харків є важливим адміністративним, політичним центром, що впливає на розвиток України. За даними Генерального плану складає майже 31 тис. га. Просторові характеристики міста свідчать про його привабливість, у тому числі з точки зору формування, розподілу та використання земель для забезпечення містобудівної діяльності.

Відповідно до розробленого Генерального плану м. Харкова основна мета містобудівного розвитку є забезпечення комплексного, планомірного, економічно-доцільного розвитку міської інфраструктури, а також зі створення умов поліпшуючих життєдіяльність населення міста і прилеглих територій [1].

Мета та завдання статті

Метою статті є визначення основних напрямів та виявлення особливостей містобудівного розвитку м. Харкова.

Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні завдання:

– визначення напрямів та основних показників містобудівного розвитку м. Харкова;

– характеристика містобудівних зон міста;

– визначення функціональних напрямів використання земель міста для забезпечення містобудівного розвитку м. Харкова.

Виклад основного матеріалу дослідження

Основними напрямами забезпечення містобудівного розвитку є (рис. 1):

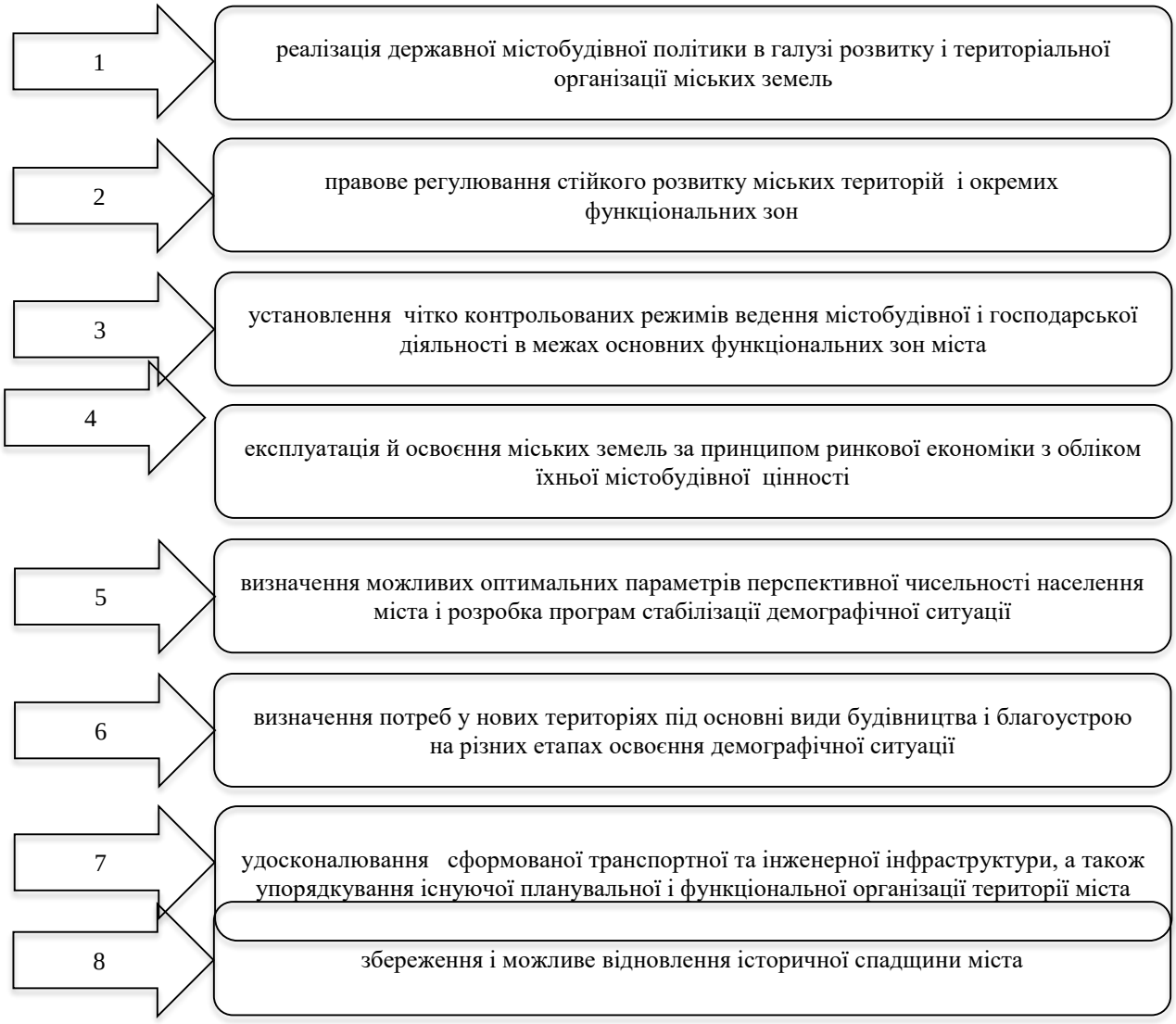


Рисунок 1- Основні напрями містобудівного розвитку м. Харкова [1]

Містобудівний розвиток м. Харкова, використання земель міста здійснюється за радіальною планувальною структурою, з елементами кільцевої системи. Визначено сім радіальних напрямів (табл. 1), які, з одного боку,

дозволяють визначити шляхи містобудівного розвитку міста, а, з іншого боку, мають два основі недоліки:

1. Усі напрямки сходяться практично в одній точці – зоні історичного центру.

2. Відсутні кільцеві чи напівкільцеві перемички для зв'язку з цими районами м. Харкова [1].

Таблиця 1- Радіальні напрями містобудівного розвитку м. Харкова [1]

Назва радіального напряму	Характеристика
Західний	Полтавський Шлях, з районами садибної забудови (Холодна Гора, Залютино, Новоселівка) та історична забудова, що сформувалася, у центральній частині міста з Залютинсько-Баварським промрайоном.
Північно-Західний	Вул. Клочківська, проспект Науки з житловими районами багатоквартирної забудови Олексіївка, Павлове Поле і садибна забудова Іванівка, Павлівка.
Північний	Вул. Сумська, забудова переважно багатоквартирними будинками історичної забудови і північним промрайоном, що сформувався.
Північно-Східний	вул. Академіка Павлова, забудовано, переважно, багатоквартирними будинками із селищами садибної забудови Журавлівка, Тюрінка, Б.Данилівка.
Південно-Східний	Московський проспект, на цьому промислово-селітебному радіусі зосереджені основні промзони міста – Балашовська, Індустріальна, а також житлові райони багатоквартирної забудови (Селекційний, Нові будинки, район ХТЗ, Рогань) і садибної забудови (Східний, Ново-Східний, П'ятихатки).
Південний	Проспект Гагаріна, забудований частково багатоквартирними будинками, і селище Основа, ский проходить між Диканівською і Балашовською промзонами.
Південно-Західний	Вул. Москалівська, забудована садибною забудовою Левада, Москалівка, Новожаново і Диканівською промзоною.

Показники, що характеризують містобудівний розвиток м. Харкова за адміністративними районами представлено у табл. 2.

Показники, що характеризують містобудівний розвиток м. Харкова за адміністративними районами свідчать про те, що найбільшими за територією є Київський, Шевченківський райони. Поряд з цим, за густотою населення найбільшими є Московський, Немишлянський та Слобідський райони.

Таблиця 2 - Показники, що характеризують містобудівний розвиток м. Харкова за адміністративними районами [1]

№ п/п	Адміністративні райони міста	Територія		Населення		Густота населення		У т.ч. у межах сельбищної забудови	
		га	%	тис. чол.	%	чол. / га	% до міста	чол. / га	% до міста
1.	Шевченківський	4578	15,0	220,6	15,00	48,20	92,51	126,34	146,38
2.	Новобаварський	3425	11,2	111,2	7,56	32,50	62,38	50,15	58,10
3.	Київський	4620	15,1	188,7	12,83	40,80	78,31	67,35	78,03
4.	Слобідський	2419	7,9	149,8	10,18	61,90	118,81	109,06	126,36
5.	Холодногірський	3331	10,9	93,8	6,38	28,20	54,13	60,21	69,76
6.	Московський	2554	8,4	310,3	21,10	121,50	233,21	187,67	217,44
7.	Індустріальний	3541	11,6	155,8	10,59	44,00	84,45	81,65	94,60
8.	Немишлянський	2141	7,0	144,2	9,80	67,40	129,37	107,51	124,56
9.	Основ'янський	3953	12,9	96,5	6,56	24,40	46,83	39,51	45,78
	Всього по місту	30604	100	1470,9	100	52,10	100	86,31	100

Для забезпечення містобудівного розвитку м. Харкова визначені відповідні зони, які вказують на напрями створення архітектурно-планувальної структури і функціонального зонінгу.

У результаті аналізу визначено, що містобудівний розвиток м. Харкова здійснюється відповідно встановлених зон (загальноміський центр, селітебна, ландшафтно-рекреаційна, промислово-складська), де охарактеризовані характеристики, які обґрунтовуються просторовими, земельними, інвестиційними, містобудівними та ін. факторами. Обгрунтовано, що існують певні проблеми щодо містобудівного розвитку у межах встановлених зон, проте їх розвиток залежить від траєкторій, що визначені у попередніх періодах.

Для забезпечення містобудівного розвитку важливого значення мають напрями формування, розподілу та використання земель міста. За функціональним призначенням у м. Харкові визначені наступні категорії земель:

землі під житловою (багатоквартирною та садибною) забудовою;

промислові і інші підприємства;

підприємства та організації транспорту;

території суспільної забудови, заклади, установи, організації;

організації, підприємства і заклади природоохоронного, оздоровчого і історико-культурного призначення;

підприємства, організації і учбові заклади оборони;

землі водного фонду;

сільськогосподарські землі;

лісогосподарські підприємства;

землі запасу та землі, що надані у власність та постійне користування в межах населених пунктів [1].

Функціональний розподіл земель м. Харкова представлено у табл. 3.

Таблиця 3 - Функціональний розподіл земель м. Харкова [1]

№ п/п	Категорії земель	У поточному періоді		У проектному періоді (2026 р.)	
		га	%	га	%
1.	Житлова забудова	8321,6	27,0	10668,0	33,5
1.1.	багатоквартирна	2608,0	8,5	3808,0	11,9
1.2.	садибна	5713,6	18,5	6860,0	21,6
2.	Промислові та інші підприємства	3939,8	13,0	4800	13,0
3.	Підприємства та організації транспорту	1358,4	4,0	5420,0	17,0
4.	Територія громадської забудови, закладів, установ, організацій	1652,8	5,0	2652,0	8,0
5.	Організації, підприємства і заклади природоохоронного, оздоровчого, рекреаційного та історико-культурного призначення	2954,1	10,0	3554,0	11,0
6.	Частини, підприємства, організації, установи, навчальні заклади оборони	887,3	3,0	607,0	1,9
7.	Землі водного фонду	337,5	1,0	1167,0	4,1
8.	Лісогосподарські підприємства	1883,0	6,0	1883,0	5,9
9.	Сільськогосподарські землі	803,5	3,0	803,0	2,5
10.	Землі запасу, не надані у власність, землі загального користування, в межах населеного пункту	8445,6	27,93	901,0	2,8
11.	Сумісні підприємства, іноземних юридичних осіб	20,5	0,07	120,0	0,1
	Разом	30604,0	100%	31975,0	100%

Функціональний розподіл земель м. Харкова свідчить про те, що найбільшу питому вагу складають: землі під житловою забудовою та землі запасу, не надані у власність, землі загального користування, в межах населеного пункту. Поряд з цим, у прогнозованому періоді зусилля спрямовуються на

подальше зростання використання земель під житловою забудовою, при значному зниженні земель запасів. Крім того, збільшується рівень функціонального використання у прогнозованому періоді на підприємства та організації транспорту, території громадської забудови, закладів, установ, організацій, організації, підприємства і закладі природоохоронного, оздоровчого, рекреаційного та історико-культурного призначення, землі водного фонду, сумісні підприємства, іноземних юридичних осіб.

Висновки та перспективи подальших розвідок

У результаті аналізу основних напрямів та особливостей містобудівного розвитку м. Харкова визначено, що місто розвивається відповідно зон і радіальних напрямів, які мають певні недоліки щодо спрямованості усіх шляхів у одній точці – зоні історичного центру й відсутності кільцевих чи напівкільцевих перемичок для зв'язку адміністративними районами мегаполісу. Використання земель для містобудівного розвитку характеризується найбільшим їх розподілом для житлового будівництва, проте у проектному періоді планується зростання територій під інші напрями, зокрема, підприємства та організації транспорту.

Перспективами подальшого дослідження є розробка підходу та застосування інструментів для містобудівного розвитку мегаполісу, враховуючи відповідне інформаційно-аналітичне забезпечення й особливості взаємодії між різними групами зацікавлених осіб, що функціонують у сфері формування, розподілу і використання земель міст.

Література

1. Харків. Генеральний план. Державний комітет України з будівництва та архітектури. Український державний науково-дослідний інститут проектування міст “Діпроміcто”. – К.: Український державний науково-дослідний інститут проектування міст “Діпроміcто”, Т.1. – 144 с.

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

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

Стаття надійшла до редакції: **08.03.2017 р**.

УДК 338+625.7

Славінська О.С., д-р техн. наук, **Усиченко О.Ю.,** канд. техн. наук

УДК 338+625.7

Славінська О.С., д-р техн. наук, **Усиченко О.Ю.,** канд. техн. наук

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ БУДІВНИЦТВА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. У статті розглянуті питання управління якістю в процесі виконання земляних робіт при будівництві автомобільних доріг. Проблема забезпечення якості будівництва земляного полотна може вирішуватись запровадженням системи управління якістю в дорожньо-будівельних організаціях України.
Ключові слова: система управління якістю, земляне полотно, дорожнє будівництво.

УДК 338+625.7

Славинская Е.С., д-р техн. наук, **Усиченко А.Ю.,** канд. техн. наук

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы управления качеством в процессе производства земляных работ при строительстве автомобильных дорог. Проблема качества строительства земляного полотна может решаться введением системы управления качеством в дорожно-строительных организациях Украины.
Ключевые слова: система управления качеством, земляное полотно, дорожное строительство.

UDC 338+625.7

Slavinska O.S., Dr. Tech. Sci., **Usychenko O.Yu.,** Cand. Eng. Sci. (Ph.D.)

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM IN THE THE ROADBED CONSTRUCTION PROCESS

Abstract. The questions of quality management in the process of excavation works in the construction of highways are considered. The problem of the quality of roadbed construction can be resolved by introduction of quality management systems in road construction organizations in Ukraine.
Keywords: quality management system, roadbed, road construction.

Актуальність дослідження. Початок весни є періодом найбільш інтенсивних деформацій та руйнувань елементів дорожньої конструкції. Споживач сприймає дефекти дорожнього одягу, але основною причиною руйнувань в цей період є недоліки, допущені при будівництві земляного полотна. Перезволоження, морозне здимання, навантаження, що перевищують межу міцності ґрунту призводять до деформацій ґрунтової основи і, як наслідок – до деформацій та руйнувань дорожнього одягу. Найбільш небезпечними з точки зору виникнення деформацій дорожньої конструкції є погодні умови зими з великою кількістю опадів (особливо в передвесняний період), періодичними відлигами в зимовий період, тривалими періодами низьких від'ємних температур. Разом з тим, керуючись досвідом будівництва та експлуатації автомобільних доріг в Україні, розроблені нормативні документи, що дозволяють запроектувати дорожню конструкцію з урахуванням негативного впливу погодних умов. Масові руйнування дорожнього покриття у післязимовий період свідчать про те, що поодинокі випадки помилок при проектуванні мають місце, але основною причиною їх виникнення є недотримання технології виконання робіт при будівництві земляного полотна та недотримання вимог нормативних документів. Важливість контролю якості виконання робіт для забезпечення міцності та стійкості дорожньої конструкції стає на перше місце. Проблема забезпечення якості будівництва земляного полотна може вирішуватись запровадженням системи управління якістю в дорожньо-будівельних організаціях України.

Викладення основного матеріалу. Термін «якість (quality)» відповідно до [2] – це ступінь, до якого сукупність власних характеристик (характерних особливостей) задовольняє вимогам нормативних документів. Рівень якості (grade) – категорія чи розряд, надані різним вимогам щодо якості продукції, процесів або систем, які мають те саме функціональне застосування.

Автор [3] вважає, що сама по собі якість відноситься до універсальної категорії, що має безліч аспектів і особливостей. До його основних аспектів відносять філософський, соціологічний, технічний, економічний і правовий. З філософської точки зору розуміння категорії "якість" означає сутнісну визначеність розглянутого об'єкта, завдяки якій він стає специфічним і відрізняється від іншого об'єкта. Разом з тим якість об'єднує багато об'єктів в єдину сукупність, тобто робить їх однорідними. Категорія якості висловлює відповідну ступінь пізнання людиною об'єктивної реальності. При

філософському підході якість визначається усім тим, що об'єктивно становить відносно стійку, внутрішньо певну сутність об'єкта. Соціологічний аспект якості пов'язаний з відношенням суб'єкта до досліджуваному об'єкту, наприклад зі сприйняттям споживачами відповідної продукції або послуг. При цьому якість може розглядатися як категорія, що відповідає законам попиту та пропозиції і залежна від рівня культури, доходів споживачів тощо. Технічний аспект якості обумовлений кількісними та якісними змінами об'єкта дослідження . Об'єктом дослідження стають технічні закономірності прояву фізичних та інших властивостей об'єктів однакового призначення. З інженерних позицій якість досліджується в плані зіставлення сукупності властивостей обраного об'єкта з аналогічним об'єктом, прийнятим за якийсь еталон. З економічних позицій якість розглядається як результат споживання або споживча вартість досліджуваного об'єкта. З економічної точки зору важливо знати, наскільки якість відповідає потребі. Інакше не всяке високу якість може бути благом, тобто між технічними та економічними розумінням якості є протиріччя. Правовий аспект якості відноситься до розробки нормативно-технічної документації, порядку її розробки, затвердження, впровадження, виконання та обліку. З правової точки зору якість виступає як сукупність властивостей об'єкта, що відповідають установленим в документації вимогам.

Що стосується будівельних робіт, то терміну якість найбільше відповідає правовий аспект якості тобто якість – це дотримання прийнятої технології виконання робіт, що регламентується будівельними нормами (державні будівельні норми ДБН, галузеві будівельні норми ГБН) та нормативними документами (національний стандарт у сфері будівництва ДСТУ Б, настанова, яку прийнято як стандарт ДСТУ-Н Б, технічні умови України, які не є стандартом ТУУ, стандарт організації СОУ, технічне свідоцтво ТС). Якість закінчених будівельних об'єктів це сукупність властивостей, що зумовлює їх придатність задовольняти певні потреби відповідно до призначення в конкретних умовах експлуатації. Споживчий рівень якості готових об'єктів встановлюється на рівні нормативної документації, забезпечується при проектуванні, виготовленні матеріалів, конструкцій, деталей і виробів, виконанні будівельно-монтажних робіт і підтримується в процесі експлуатації.

Управління якістю є складовою частиною управління будівництвом і являє собою систему інформаційних, організаційних, технічних, правових та економічних заходів, що забезпечують і підтримують заданий рівень

властивостей будівельної продукції на стадіях проектування, виготовлення будівельних матеріалів і конструкцій, транспортування, виконання будівельно-монтажних робіт і експлуатації готових будівель і споруд. Виконані роботи можуть мати два рівня якості – відповідає умовам стандарту або не відповідає. Невідповідність вимогам стандартів класифікують як дефект. Виявлені під час робіт або при приймальному контролі дефекти виправляють, оскільки такі роботи не підлягають оплаті.

Перевірку якості виконаних робіт виконують при проведенні вхідного, операційного, приймального та інспекційного контролю.

При будівництві земляного полотна контролюють такі параметри [4]: відповідність проектних та натурних показників виду ґрунтів (зернового складу, пластичності) та їх стану (вологість, щільність); склад та об'єм геодезичної розбивочної основи, закріплення ґрунтових кар'єрів та резервів на місцевості; при роботі на крутосхилах крутизною понад 1:3, а також на слабких ґрунтах - відсутність осідань та зсувів земляного полотна нівелюванням; правильність розміщення осьової лінії поверхні земляного полотна в плані та висотні відмітки; товщину родючого шару ґрунту, що зрізається; щільність ґрунту в основі земляного полотна; вологість, однорідність, щільність ґрунту в шарах насипу; рівність поверхні ґрунту; ширину земляного полотна поверху, поперечний похил, крутизна укосів; якість влаштування траншей; відповідність проекту підготовленої основи під труби; відповідність проекту матеріалів фільтруючих шарів. Встановлення необхідного рівня якості передбачає обґрунтування мінімальної кількості показників для об'єктивної оцінки якості продукції, методів розрахунку і кількісного виміру цих показників. При виконанні земляних робіт в будівельній організації слід підтверджувати технологічні процеси, результати які неможна перевірити засобами моніторингу або вимірювань. До прихованих робіт відносяться – товщина зняття рослинного шару ґрунту, підготовка основи якість влаштування дренажів, ущільнення ґрунтів, закріплення ґрунтів. Будівельна організація, що виконує земляні роботи повинна затвердити перелік процесів, що впливають на якість на безпеку але не контролюються вимірюваннями або візуально із розробленням заходів по забезпеченню якості та способів їх документального оформлення.

При оцінці якості будівельної продукції виділяють нормативний, фактичний і експлуатаційний рівні якості будівельної продукції. Нормативний рівень якості визначається вимогами нормативних документів. Цей рівень

встановлюється на стадіях наукових і експериментальних досліджень, виходячи з технічних та економічних можливостей держави. Фактичний рівень – досягнутий рівень якості на стадіях проектування (рівень якості проекту) і здійснення проекту (якість виконаних робіт). Фактичний рівень якості визначається ступенем відповідності виконаних робіт до вимог проекту. Експлуатаційний рівень якості будівництва проявляється в процесі експлуатації і характеризує ступінь фактичного задоволення споживачів.

Для підвищення експлуатаційного рівня якості дорожнього будівництва слід забезпечити:

- високий рівень нормативної та проектної документації, керуючись визнаними світовими стандартами (нормативній рівень якості);
- якість будівельних матеріалів, конструкцій та обладнання (фактичний рівень якості);
- якість виконання будівельно-монтажних робіт (фактичний рівень якості);
- якість експлуатації дорожніх споруд.

При низькому рівні будь-якого рівня якості неможливо забезпечити високий експлуатаційний рівень, навіть за рахунок підвищення будь-якого іншого рівня. Забезпечення якості кінцевої продукції будівництва досягається розробкою про здійсненням комплексу з взаємопов'язаних заходів на всіх стадіях життєвого циклу будівельної продукції – проектування, виробнича (виготовлення будівельних конструкцій, матеріалів, виробів, обладнання, будівельно-монтажні роботи) та експлуатаційна стадія. Підтримання досягнутого рівня якості кінцевої продукції будівництва (післявиробнича стадія) полягає в розробці та реалізації заходів, що дозволяють зберегти фактичний досягнутий рівень якості при експлуатації об'єктів протягом заданого періоду в певних умовах експлуатації.

Стан автомобільних доріг України свідчить про те, що проблема забезпечення якості при будівництві залишається невирішеною у більшості будівельних організацій України. Вирішенням проблеми може бути запровадження системи управління якістю відповідно до стандарту [1]. Впровадження стандарту ISO 9001 дає можливість постійного удосконалення процесів та систем управління якості в рамках будівельної організації. У вересні 2015 року Міжнародною організацією зі стандартизації ISO були прийняті нові п’яті редакції стандартів ISO 9000:2015 та ISO 9001:2015. Розробником міжнародних стандартів серії ISO 9000 є Міжнародна організація зі

стандартизації ISO (International Organization for Standardization) – це всесвітня федерація національних органів стандартизації (комітетів – членів). Нові версії стандартів містять поняття про ризик-орієнтоване мислення. Ризик-орієнтоване мислення дає змогу організації визначати чинники, які можуть спричиняти відхилення її процесів та її системи управління якістю від запланованих результатів, щоб установлювати запобіжні заходи контролю для унайменшення негативних впливів і якнайбільшого використання можливостей, по мірі їх виникнення. Запровадження системи менеджменту ISO 9001 сприяє розвитку та підвищенню ефективності будівельної організації.

Перевагами системи менеджменту ISO 9001:

- дозволяє створити конкурентні переваги на ринку;
- дозволяє задовольняти вимоги замовників;
- ефективні методи роботи дозволять скоротити час, засоби та ресурси;
- підвищення продуктивності дозволить збільшити прибуток;
- ефективні контролюючі заходи дозволять виявити та виправити помилки в робочих процесах та операціях;
- підвищиться мотивація працівників до підвищення ефективності виконаних робіт;
- відповідність виконаних робіт світовим стандартам дозволить стати конкурентоспроможним на внутрішньому та зовнішньому ринках.

Відповідно до вимог ISO 9001 для створення системи управління якістю організація повинна:

- визначити процеси, потрібні для системи управління якістю, та їх застосування в межах організації;
- визначити необхідні входи цих процесів і очікувані від них виходи;
- визначити послідовність і взаємодію цих процесів;
- визначити та застосовувати критерії та методи (зокрема моніторинг, вимірювання та відповідні показники дієвості), потрібні для забезпечування результативності функціювання та контролювання цих процесів;
- визначити ресурси, потрібні для цих процесів, і забезпечувати їх наявність;
- призначити осіб з відповідальністю та повноваженнями щодо цих процесів;
- розглядати ризики та можливості;
- оцінювати ці процеси та запроваджувати будь-які зміни, потрібні для забезпечування того, щоб ці процеси досягали своїх передбачених результатів;

- поліпшувати процеси та систему управління якістю.

Планування та управління якістю є функціями вищого керівництва будівельної організації та структурних підрозділів.

Висновки

Технологічний процес будівництва тривалий, витрато- та капіталомісткий. Результат роботи визначається як зовнішніми чинниками – якістю виконання проектних робіт, якістю будівельних матеріалів та виробів, своєчасністю та рівнем фінансування, якістю роботи субпідрядних та логістичних організацій так і плануванням робіт всередині самого підприємства. Будівельна організація повинна планувати, запроваджувати та контролювати будівельні процеси на всіх стадіях життєвого циклу для забезпечення відповідності будівельної продукції вимогам якості. Система управління якістю повинна ґрунтуватися на принципах системного підходу, стандартизації, оптимальності. Запровадження системи управління якістю та сертифікація за ДСТУ ISO 9001:2015 призведе до підвищення конкурентоспроможності та ділового іміджу будівельної організації.

Література

1. ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT) Системи управління якістю. Вимоги.

2. ДСТУ ISO 9000:2007 (ISO 9000:2005, IDT) Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів.

3. Управление качеством : учебник для бакалавров / А. Г. Зекунов, В. Н. Иванов, В. М. Мишин, Ю. В. Пазюк, Т. И. Власова ; под ред. А. Г. Зекунова. — М. : Издательство Юрайт , 2013. – 475 с.

4. ДБН В 2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина 1 Проектування. Частина 2 Будівництво.

5. Шаповал М. І. Менеджмент якості: підручник. – К. : Знання, 2007. – 471 с.

6. Руководство по применению стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2008 в строительных организациях Р НОСТРОЙ 2.35.2-2011. - Общество с ограниченной ответственностью Издательство «БСТ». - М., 2011. – 214 с.

7. Стандартизація управління якістю в будівництві / Р. Пинда // Журнал європейської економіки. - 2014. - Т. 13, № 1. - С. 94-103.

8. Товарный менеджмент : учебник для прикладного бакалавриата / И. М. Лифиц, Ф. А. Жукова, М. А. Николаева. — М. : Издательство Юрайт, 2017. – 405 с.

Рецензенти:
Мамонов К.А., д-р економ. наук, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
Батракова А.Г., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

Reviewers:
Mamonov K.A., Dr. Econ. Sci., O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv.
Batrakova A.**H.**, Dr. Tech. Sci., Kharkiv National Automobile and Highway University/

Стаття надійшла до редакції: **05.02.2017 р.**

УДК 338.4:625.76

Соколова Н.М., канд. екон. наук, **Маковська Ю.А.**

УДК 338.4:625.76

Соколова Н.М., канд. екон. наук, **Маковська Ю.А.**

МОДЕЛЬ ОБҐРУНТУВАННЯ ЦІНИ КОНТРАКТУ З УТРИМАННЯ ДОРІГ ТРИВАЛОГО СТРОКУ ДІЇ

Анотація. В останні роки в Україні виконуються наукові дослідження з впровадження контрактів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг тривалого строку дії, що засновані не на оплаті за виконані об'єми робіт, а на досягненні і підтримці якісних показників стану доріг. Одними з головних проблем укладання таких контрактів є обґрунтування нормативних рівнів обслуговування елементів доріг та визначення ціни контракту.

В роботі розглянута імітаційна модель та її комп'ютерна реалізація в середовищі Excel 2007, що призначена для вирішення цих проблем. Модель враховує випадковий характер кількості дефектів, часу і вартості їх усунення, які моделюються на основі експертних оцінок ймовірнісних розподілень параметрів випадкових величин.

Ключові слова: контракт тривалого строку дії, експлуатаційне утримання доріг, рівні обслуговування, імітаційна модель, ціна контракту.

УДК 338.4:625.76

Соколова Н.М., канд. экон. наук**, Маковская Ю.А.**

МОДЕЛЬ ОБОСНОВАНИЯ ЦЕНЫ КОНТРАКТА ПО СОДЕРЖАНИЮ ДОРОГ ДЛИТЕЛЬНОГО СРОКА ДЕЙСТВИЯ

Аннотация. В последние годы в Украине выполняются научные исследования по внедрению контрактов по эксплуатационному содержанию автомобильных дорог длительного срока действия, основаны не на оплате за выполненные объемы работ, а на достижении и поддержании качественных показателей состояния дорог. Одними из главных проблем заключения таких контрактов является обоснование нормативных уровней обслуживания элементов дорог и определения цены контракта.

В работе рассмотрена имитационная модель и ее компьютерная реализация в среде Excel 2007, предназначенная для решения этих проблем. Модель учитывает случайный характер количества дефектов, времени и стоимости их устранения, которые моделируются на основе экспертных оценок вероятностных распределений параметров случайных величин.

Ключевые слова: контракт длительного срока действия, эксплуатационное содержание дорог, уровни обслуживания, имитационная модель, цена контракта.

UDC 338.4:625.76

Sokolova N. M., Cand. Econ. Sci. (Ph.D.), **Makovska Yu. A.**

THE MODEL FOR THE CONTRACT PRICE FOR MAINTENANCE OF ROADS IS A LONG TERM

Annotation. In recent years, in Ukraine has been carrying out scientific research into the implementation of Output and Performance-based Contract for Roads, based not on paying for the work done, but on achieving and maintaining high-quality road performance indicators. One of the main problems of concluding such contracts is the justification of the regulatory levels of servicing the road elements and determining the price of the contract.

The simulation model and its computer implementation in the Excel 2007 environment designed to solve these problems are considered. The model takes into account the random nature of the number of defects, time and cost of their elimination, which are modeled on the basis of expert estimates of probabilistic distributions of parameters of random variables.

Keywords: long-term contract, maintenance of roads, service levels, simulation model, contract price.

Постановка проблеми

Довгостроковий контракт, заснований на кінцевих показниках (ДККП) – це тривалий (більше одного року) договір з поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання доріг (далі - утримання) за показником рівня їх обслуговування [1].

Підрядники в ДККП отримують щомісячну фіксовану оплату не за виконані об'єми робіт і послуг, а за досягнення встановлених рівнів обслуговування елементів доріг, за винятком непередбачених аварійних робіт, які оплачуються окремо. Невиконання кінцевих показників утримання або несвоєчасне усунення виявлених дефектів оцінюється штрафними балами і зменшує щомісячну оплату за ДККП, в залежності від кількості балів.

З метою реалізації ДККП була створена Інформаційної аналітична система управління контрактом (ІАСУ-ДККП), яка забезпечує [2]: аналіз даних та підготовку звітів про різні інспекції, що вимагаються контрактом; розрахунок щомісячної суми оплати підряднику на основі фіксованої суми оплати за умовами контракту та сум утримань за штрафні бали.

ДККП є новим явищем в дорожньому господарстві України. Їх економічне обґрунтування є складним науковим завданням, яке вимагає розв'язання теоретико-методологічних задач: розробки моделей і методик обґрунтування ціни контракту; системи стимулювання підрядника; розподілення ризиків між замовником і підрядником; організації їх здійснення і контролю дотримання встановлених у контракті рівнів обслуговування.

Для функціонування ІАСУ-ДККП був створений перший варіант бази даних рівнів обслуговування елементів доріг [3]. Проте, ІАСУ-ДККП не містить в собі інструменту обґрунтування фіксованої суми оплати за умовами контракту. Крім того, необхідний інструмент для обґрунтування самих нормативних рівнів обслуговування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Запровадження контрактів тривалого строку дії на утримання автомобільних доріг, їх оцінка системою кількісних показників-індикаторів, що відображують досягнуті рівні споживчих якостей – рівні обслуговування, є одним з 9 пунктів Плану заходів щодо реалізації Концепції реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування (п. 8) [4].

Такі контракти (в англомовних джерелах - Output and Performance-based Contract for Roads (OPRC), або Performance-based Maintenance Contract (PBMC) проектуються для збільшення суспільної ефективності доріг і ефективного їх виконання підрядними організаціями. Вони гарантують адекватність фізичного стану доріг потребам користувачів доріг протягом всього періоду дії контракту [5, 6].

В традиційних метод-базованих контрактах на утримання доріг підрядник несе відповідальність за виконання робіт, які визначаються дорожньою адміністрацією (замовником), і робота підрядника оплачується на основі одиничних розцінок. Фактично підрядник має негативний стимул, який сприяє здійсненню максимальної кількості робіт, з метою максимізації обороту і прибутку підрядника.

Відмінність OPRC (або PBMC) від традиційного метод-базованого контракту полягає в тому, що більша частина оплати підряднику базується на досягнутому і виміряному «виході», який відображує прийнятий у контракті цільовий стан доріг через так звані «рівні обслуговування», визначені при укладанні контракту. Цей підхід діє в якості системи мотивації для забезпечення підрядником оптимізації ресурсів, зайнятих в обслуговуванні і експлуатації доріг. Дорожні агентства, які впровадили контракти OPRC, досягли економії витрат від 10% до 40% порівняно з традиційними контрактами [6].

Однією з головних проблем впровадження ДККП є визначення ціни ДККП і суми щомісячного платежу підряднику за досягнуті експлуатаційні показники. Складність її вирішення обумовлена природнім випадковим процесом виникнення і накопичення об'ємів дефектів елементів доріг, відсутністю, у багатьох випадках, кількісних закономірностей прогнозування об'ємів дефектів, впливом ризику і невизначеності на технічні і економічні параметри процесу відновлення експлуатаційного стану елементів доріг, відсутністю історичних баз даних. Означена проблема розглядається економічною наукою в рамках теорії агентства, теорії контрактів і теорії трансакційних витрат, а також теорії експлуатації доріг [7, с. 257; 8, 9].

Для вирішення проблеми стосовно покриття дороги автори роботи [8] спираються на поняття дискретного стану покриття $i \in \{0,1,\ldots, s\}$. Зусилля підрядника в періоді $t \in \{0,1,\ldots, n\}$ для переводу стану покриття від початкового i до цільового j моделюється функцією вартості $c_t(i,j)$, де $j \geq i$; $c_t(i,i) = 0$. Замовник проектує платежі (I - стимул) і штрафи (D - антистимул) потенційному підряднику для кожного i-го стану покриття і періоду t. I/D позначається $h_t(i)$. Цільова функція Пt(i) - це очікуваний підрядником прибуток від періоду t і далі, якщо початковий стан був i-й [8, с. 30]:

$$\Pi_t(i) = h_t(i) + \max(-c_t(i, j) + \alpha \sum_{0 \leq k \leq j} P_{jk} \Pi_{t+1}(k), j \geq i, \qquad (1)$$

де α – фактор дисконтування; $t \in \{1,\ldots, n\text{-}1\}$; P_{jk} – імовірність переходу зі стану *i* в стан *k*.

Інший підхід з позицій теорії агентства зроблений в роботі [9]. Згідно з нею, суспільні вигоди, одержувані від експлуатації дороги, можуть бути виміряні за допомогою ряду показників. Досягнутий рівень експлуатаційного показника q_i зв'язаний з зусиллями e_i підрядника, які мають випадкову складову ε_i: $q_i = e_i + \varepsilon_i$, тобто підрядник діє в умовах ризику. Підрядник є не нейтральним до ризику і виконує свої функції з витратами $C = C_0 + \sum_{i=1}^{n} \psi_i(e_i)$, де С – вартість послуг підрядника; C_0 - фіксована вартість необхідних початкових інвестицій для надання послуг; $\psi_i(e_i)$ – функція витрат підрядника залежна від зусиль.

Підрядник отримує кожного місяця однакову суму від замовника, яка залежить від рівня якості q_i. Очікуване значення функції корисності підрядника $U_r = \alpha + \sum_{i=1}^{n} (\beta_i \cdot e_i) - C - r \cdot \sigma_t^2$, де σ_t^2 - дисперсія доходу, отриманого підрядником; α, і β_i – фіксовані параметри, встановлені в контракті; C – вартість послуг підрядника; r – параметр відношення підрядника до ризику.

Функція суспільного добробуту W_s, яка максимізується [9, с. 471]:

$$W_s = S_0 + \sum_{i=1}^{n} (a_i \cdot e_i) - (1+\lambda) \cdot [C_0 + \sum_{i=1}^{n} \psi_i(e_i) + r \sum_{i=1}^{n} (\beta_i^2 \cdot \sigma_i^2] - \lambda \cdot U_r, \qquad (2)$$

де λ – параметр, який характеризує податкову систему країни, $\lambda > 0$.

Мета статті – запропонувати імітаційну модель обґрунтування рівнів обслуговування елементів доріг і фіксованої щомісячної суми оплати в ДККП.

Виклад основного матеріалу

В прийнятому в ДККП підході ціна контракту включає: для робіт і послуг з утримання - *фіксовану суму*, яка виплачується рівними щомісячними частками; для аварійних робіт - *резервну суму*, передбачену для таких цілей.

Резервна сума, включена в ціну контракту, являє собою оцінену кошторисними розрахунками суму, яка використовується для оплати аварійних

робіт і непередбачених витрат та знаходиться у межах, які встановлені національними законодавчими актами.

Модель обґрунтування суми щомісячного платежу підряднику базується на понятті рівня обслуговування дефекту - сукупності встановлених критеріїв: максимально допустимого періоду між оглядами елементу дороги; рівня втручання (серйозності і розповсюдження дефекту); строку ліквідації - часу, протягом якого дефект повинен бути усунений і який дорівнює різниці між моментом усунення та моментом реєстрації дефекту. Одному виду дефекту, в залежності від його параметрів, може відповідати декілька вимог з усунення [1, с. 7-8].

Стану елементів можна надати деяку метрику – рівень стану, який може бути абсолютним (наприклад, рівність дорожнього покриття) або відносним (за шкалою рейтингу з певною кількістю балів, додатково розділеної на дискретні категорії). Стан елементів автомобільних доріг, від якого залежить значення функції суспільних вигод, формується під впливом двох процесів: процесу деградації – виникнення і розвитку в просторі і часі дефектів елементів дороги; процесу відновлення – ліквідації підрядником дефектів елементів дороги шляхом виконання робіт з утримання елементів доріг.

Кожна робота або послуга триває певний час, величина якого залежить від призначеної для її виконання кількості трудових і матеріально-технічних ресурсів (зусиль підрядника).

Зауважимо, що моделі процесу деградації елементів складових доріг в Україні більш-менш детально розроблені лише для дорожнього одягу та його покриття і для елементів мостів. Ці дві моделі базуються на різних принципах. Рівень деградації дорожнього одягу характеризується коефіцієнтом запасу міцності, рівністю і коефіцієнтом зчеплення покриття. Рівень деградації елементів мостів характеризується п’ятьма експлуатаційними станами, параметром надійності або характеристикою безпеки, рівнем зносу.

У пропонованій моделі прийнято, що кожна робота з усунення дефекту знаходиться під впливом множини притаманних їй внутрішніх і зовнішніх випадкових факторів, тому тривалість і вартість роботи оцінюється через добуток нормативних значень і випадкових коефіцієнтів затримки (випередження) і здороження (здешевлення) роботи, які знаходяться в інтервалі від мінімального a_i до максимального b_i значення з найбільш імовірним значенням c_i.

Конкретні модельні значення цих випадкових коефіцієнтів визначаються методом Монте-Карло за допомогою відповідних трикутних законів розподілу. Отже, наприклад, функція витрат $\psi_i(e_i)$ (2) в пропонованій моделі прийнята випадковою величиною:

$$\psi_i(e_i) = C_i(\tau_i) \cdot \xi, \tag{3}$$

де $C_i(\tau_i)$ – проектна вартість роботи з усунення дефекту за час відгуку τ_i;

ξ – реалізація випадкової величини за трикутним законом розподілу з параметрами a_i, b_i, c_i.

Оцінка вартості роботи $C_i(\tau_i)$ здійснюється на основі технологічної карти, яка проектується з урахуванням часу відгуку τ_i. В технологічній карті потрібна кількість нескладованих ресурсів (робочих, машин) визначається округленням до більшого цілого числа, отже ефективність використання ресурсів залежить від графіку трудового процесу, де мають місце очікування одними ресурсами виконання технологічно зв'язаних попередніх операцій іншими ресурсами. Час на усунення дефекту τ_i^y складається з часу на обробку інформації відносно дефекту і його ліквідації τ_i^p, часу доставки ресурсів до місця розташування дефекту τ_i^∂, часу виконання роботи $\tau_i^в$. Повинне виконуватись обмеження:

$$\tau_i^y = (\tau_i^p + \tau_i^\partial + \tau_i^в) \le \tau_i. \tag{4}$$

Коли τ_i^y перевищує регламентований у контракті час відгуку τ_i, підряднику нараховуються штрафні бали, кількість яких може бути прогресивною в залежності від інтервалу часу затримки усунення дефекту [1, с. 23-24]. Усі суми зниження оплати, рівні добутку кількості штрафних балів і вартості одного балу, віднімаються з сум, належних підряднику, в кінці кожного місяця. У випадку порушення критерію рівня обслуговування фіксується дата та час реєстрації t_1 і дата та час усунення t_2. Різниця між ними $t_2 - t_1$ називається фактичним часом реагування (усунення дефекту) τ_y.

Час на усунення дефекту τ_i^y моделюється також за трикутними законом розподілу, подібно вартості (3). Вибір трикутного закону розподілу мотивований відсутністю достатньої кількості спостережених фактичних даних, необхідної для обґрунтування закону розподілу необхідних для моделювання випадкових

величин. В такому випадку, для їх оцінки найчастіше застосовують експертні методи з використанням трикутного або, навіть, рівномірного закону розподілу [11, с. 444–445].

Першим важливим параметром, що приймається до уваги при оцінюванні вартості контракту, є кількість випадків дефектів, відповідних кожному рівню обслуговування. Ця кількість випадків залежить від багатьох чинників: виду і типу елементу автомобільної дороги, його матеріалу і віку, кількості на ділянці дороги або на мережі доріг під контрактом; природно-кліматичних, ґрунтово-геологічних і гідрологічних умов; рельєфу місцевості; інтенсивності і складу дорожнього руху; кількості опадів, ожеледиць тощо.

Річну кількість випадків дефектів також пропонується визначати експертним методом за трикутним законом розподілу, як випадкову величину. Експерт, прийнявши до уваги надані йому дані про наявність і об’єми елементів на конкретній ділянці дороги або на конкретних ділянках мережі доріг, здатний оцінити можливу кількість випадків дефектів. Такий підхід дозволяє виключити з комп’ютерної програми, яка реалізує пропоновану модель, складний етап прямого визначення кількості випадків дефектів через структуру і кількість елементів доріг і фактори впливу та їх взаємодію з-за відсутності необхідних статистичних моделей, а , спиратись на досвід експерта. Річна кількість випадків дефектів розподіляється по місяцях року з урахуванням сезону року, коли такі дефекти виникають і усуваються.

На кожний випадок рівня обслуговування дефекту визначається випадковий об’єм роботи з усунення дефекту за відповідним трикутним розподілом ймовірностей, на основі якого визначаються нормативні вартість і тривалість усунення, які помножаються на випадкові величини коефіцієнтів здороження і затримки.

Результати моделювання накопичуються належним чином, а потім здійснюється їх статистична обробка. Укрупнена схема алгоритму імітаційного моделювання наведена на рис. 1. Комп’ютерна програма реалізована на Visual Basic for Application Excel 2007.

Вихідні дані в попередньо витягуються на лист книги Excel шляхом використання режимів завантаження даних з бази даних ІАСУ-ДККП, що створена в 2015 році кафедрою управління виробництвом і майном Національного транспортного університету. Вихідні дані можуть бути задані вручну без підключення бази даних ІАСУ-ДККП. При необхідності задаються

або коригуються параметри трикутних розподілень ймовірностей річної кількості випадків дефектів, об'ємів робіт на один випадок, тривалості і вартості робіт, а також розподілення річної кількості випадків по місяцях року. Вводяться параметри контракту: вартість одного балу штрафу за перевищення часу відгуку, кількість місяців тривалості контракту і номер місяця початку здійснення контракту.

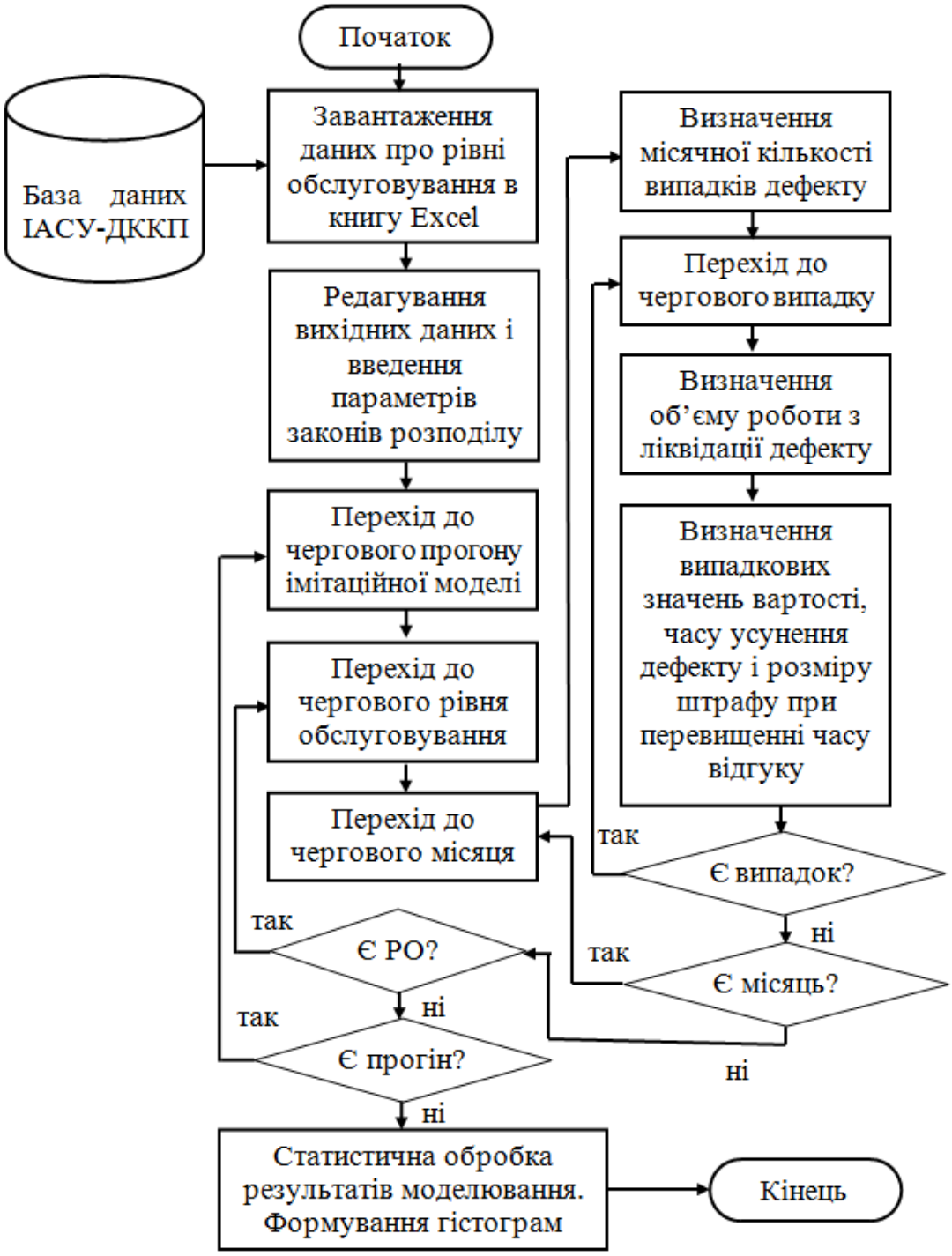


Рисунок 1 – Укрупнена схема імітаційного моделювання

В моделі можна задати різну кількість прогонів, яка, однак, не повинна перевищувати 10000 прогонів. Це достатньо для задачі, яка розв'язується.

Книга Excel складається з трьох листів: Вихідні дані; Результати моделювання; Статистика.

Вони дають змогу оцінити вплив розміру щомісячного платежу підряднику, вартості штрафного балу і параметрів рівнів обслуговування на доход підрядника за весь період терміну контракту, а шляхом зміни вихідних даних дослідити ефективність застосування тих чи інших технологічних методів усунення дефектів.

Результати, які отримані в кожному прогоні імітаційної моделі виводяться на лист книги Excel «Статистика», де визначаються середні значення, середньоквадратичні відхилення і коефіцієнти варіації. Отримана вибірка результатів може бути далі використана для визначення інших показників.

Результати моделювання включають ряд таблиць та декілька гістограм, наприклад, оцінки розподілів сум штрафів, вартості робіт, що наведені на рис. 2 і рис. 3.

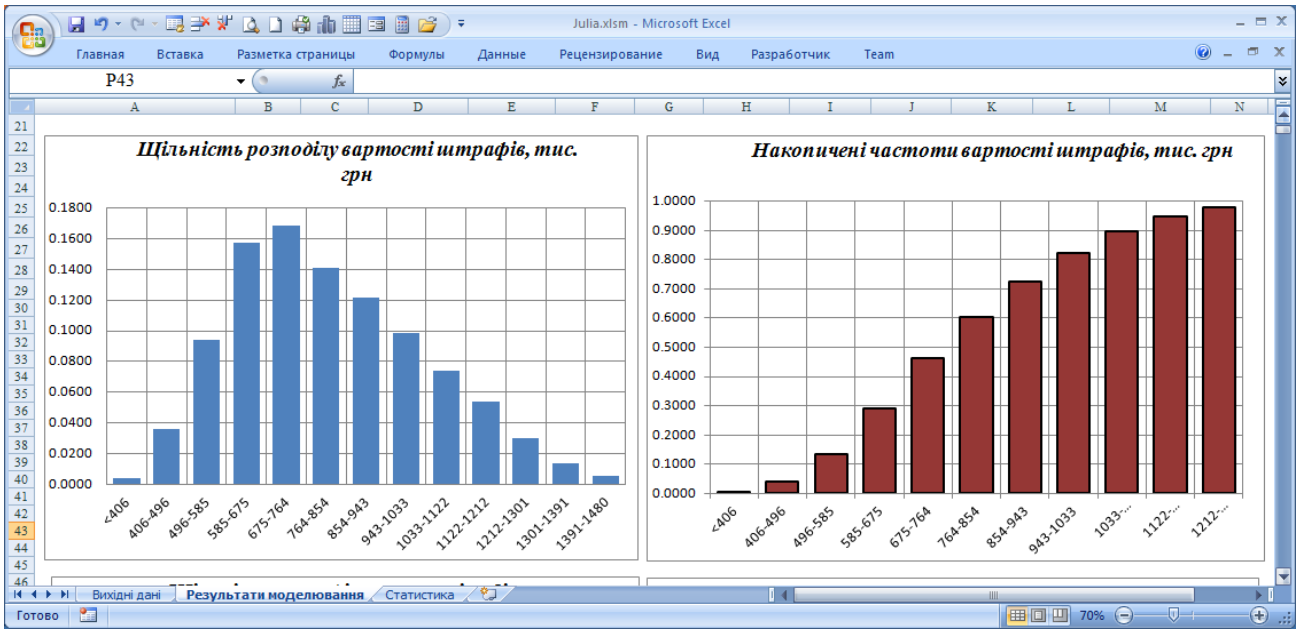


Рисунок 2 – Гістограми розподілу ймовірностей вартості штрафів

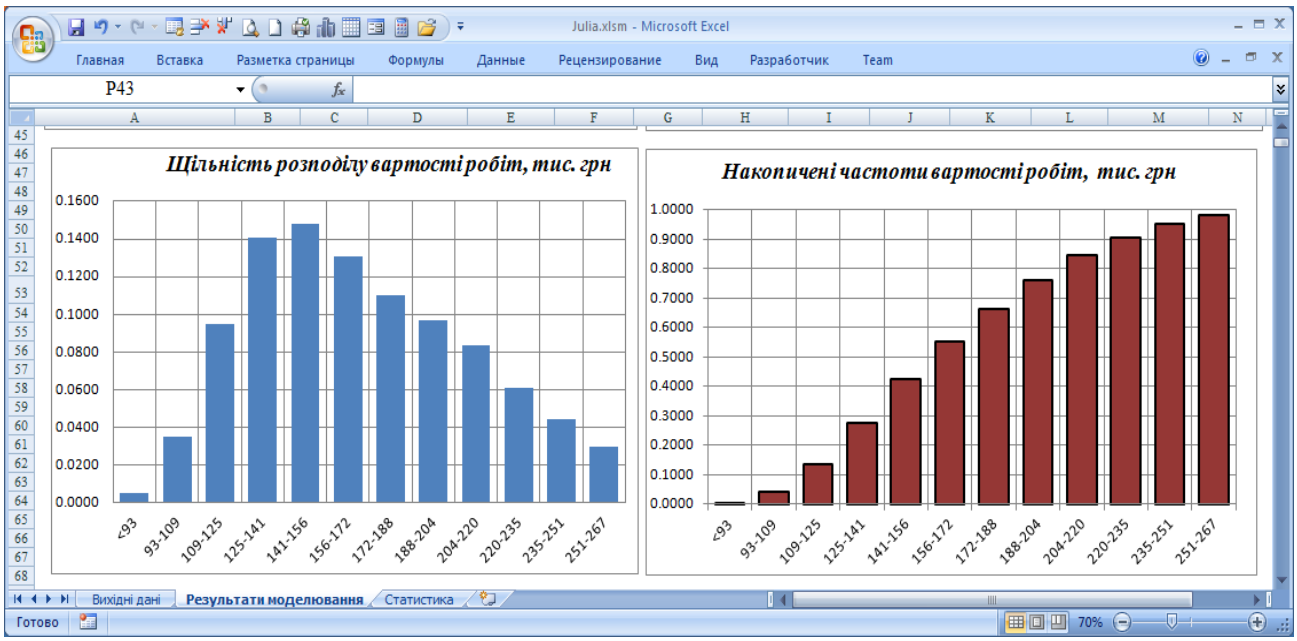


Рисунок 3 – Гістограми розподілу ймовірностей вартості робіт

Висновки

Запропонована і реалізована в Excel 2007 імітаційна модель є корисним інструментом для обґрунтування фіксованої щомісячної ціни ДККП та інструментом обґрунтування рівнів обслуговування в процесі розробки відповідного нормативного документу.

В подальших дослідженнях передбачається розглянути питання оптимізації рівнів обслуговування і включення запропонованої програми у склад ІАСУ-ДККП.

Література

1. МР В.3.2-02070915-844:2014 «Методичні рекомендації з управління станом автомобільних доріг на основі довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та утримання доріг за показником рівня їх обслуговування» / Канін О.П., Соколова Н.М., Харченко А.М., Шпиг А.Ю., Маковська Ю.А., Шкарівська Н.Ю. // Укравтодор. К.: 2014.

2. Канін О.П. Інформаційно-аналітична система управління довгостроковими контрактами на основі рівнів обслуговування доріг / О.П. Канін // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2015. – Вип. 94. – С. 112-123.

3. Канін О.П. База даних рівнів обслуговування в управлінні довгостроковими контрактами на основі кінцевих показників якості доріг / О.П. Канін, А.М. Харченко, Н.М. Соколова, А.Ю. Шпиг // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2015. – Вип. 94. – С. 124-134.

4. Деякі питання реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування [Електронний ресурс] / Розпорядження Кабінету міністрів України від 31 березня 2015 р. № 432-р. - Режим доступу: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/432-2015-%D1%80.

5. Performance-Based Contracting for Maintenance. TRB's National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Synthesis 389 [Електронний ресурс] 2011. - Режим доступу: http://www.trb.org/Main/Blurbs/161949.aspx.

6. Станкевич Наталья Содержание и улучшение дорожной инфраструктуры с помощью контрактов, основанных на показателях качества работ [Електронний ресурс] / Н.Станкевич, Н. Кюреши, Ц. Кейроз // Транспортный бюллетень TN-27. – Вашингтон (США): Всемирный банк. – Сентябрь, 2005. – Режим доступу: http://www-esd.worldbank.org/pbc_resource_guide/Docs-latest%20edition/PBC/PBC_final_Russian_Jan16_2006.pdf

7. Bliemer M.C.J. Handbook on Transport and Urban Planning in the Developed World [Електронний ресурс] / Michiel C.J. Bliemer? Corinne Mulley? Claudine J. Moutou // Edward Elgar, 2016. – 544 p. - Режим доступу: http://www.amazon.com/Handbook-Transport-Urban-Planning-Developed/dp/1783471387#reader_1783471387.

8. Gupta D. Optimal Contract Mechanism Design for Performance-Based Contracts [Електронний ресурс] / D. Gupta, A. Vedantam, J. Azadivar // University of Minnesota, Report No. MN/RC 2011-18. - Режим доступу: https://www.lrrb.org/PDF/201118.pdf.

9. Soliño A. S. Optimizing performance-based mechanisms in road anagement: an agency theory approach. EJTIR 15(4), 2015, - pp. 465-481. Avaliable at: http://www.tbm.tudelft.nl/fileadmin/Faculteit/TBM/Onderzoek/EJTIR/Back_issues/15.4/2015_04_04.pdf.

10. Богданофф Дж., Козин Ф. Вероятностные модели накопления повреждений / Дж. Богданофф, Ф. Козин ; [пер. с англ.] – М.: Мир, 1989. – 344 с.

11. Кельтон, В. Имитационное моделирование : пер. с англ. / В. Дэвид Кельтон, Аверилл М. Лоу. – 3-е изд. – СПб. : Питер ; Киев : BHV, 2004. – 847 с.

Рецензенти:
Угненко Є.Б., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.
Безуглий А.О., канд. екон. наук, ДП "ДерждорНДІ".

Reviewers:
Uhnenko Ye.B., Dr. Tech. Sci., Kharkov National Automobile and Highway University.
Bezuhlyi A.O., Cand. Econ. Sci., "DerzhdorNDI".

Стаття надійшла до редакції: **05.02.2017 р.**

УДК 528.4:332.63

Штерндок Е.С.

ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ПРОСТОРОВИХ ФАКТОРІВ НА ФОРМУВАННЯ, ВИКОРИСТАННЯ ТА РОЗВИТОК ЗЕМЕЛЬ МЕГАПОЛІСУ

Анотація. Метою статті є визначення напрямів та реалізація інтегральної оцінки впливу факторів на формування, використання й розвиток земель мегаполісу.
Завданнями представленого дослідження є: визначення напрямів інтегральної оцінки впливу просторових факторів на формування, використання й розвиток земель мегаполісу; реалізація напрямів інтегральної оцінки впливу просторових факторів на формування, використання й розвиток земель мегаполісу.
Запропоновані напрями реалізації інтегральної оцінки впливу просторових факторів на формування, використання та розвитку земель мегаполісу, враховуючи особливості взаємодії між зацікавленими особами. Побудовано модель та визначено інтегральний критерій, що дозволило створити інформаційно-аналітичне та просторове забезпечення для прийняття рішень у сфері земельних відносин мегаполісу.
Ключові слова: інтегральна оцінки, просторові фактори, зацікавлені особи, формування, використання та розвиток земель мегаполісу.

УДК 528.4:332.63

Штерндок Е.С.

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ЗЕМЕЛЬ МЕГАПОЛИСА

Аннотация. Целью статьи является определение направлений и реализация интегральной оценки влияния факторов на формирование, использование и развитие земель мегаполиса.

Задачами представленного исследования являются: определение направлений интегральной оценки влияния пространственных факторов на формирование, использование и развитие земель мегаполиса; реализация направлений интегральной оценки влияния пространственных факторов на формирование, использование и развитие земель мегаполиса.

Предложены направления реализации интегральной оценки влияния пространственных факторов на формирования, использования и развития земель мегаполиса, учитывая особенности взаимодействия между заинтересованными лицами. Построена модель и определен интегральный критерий, что позволило создать информационно-аналитическое и пространственное обеспечение для принятия решений в сфере земельных отношений мегаполиса.

Ключевые слова: интегральная оценки, пространственные факторы, заинтересованные лица, формирования, использования и развития земель мегаполиса.

UDC 528.4:332.63

Shterndok E. S.

INTEGRATED ASSESSMENT OF THE IMPACT OF SPATIAL FACTORS ON THE FORMATION, USE AND DEVELOPMENT OF LAND IN THE METROPOLIS

Abstract. The purpose of this article is to determine directions and implementation of an integrated estimation of influence factors on the formation, use and development of land in the metropolis.

Objectives of the present study are: identify areas of integral assessment of impact of spatial factors on the formation, use and development of land in the metropolis; the implementation of the directions of the integral evaluation of the impact of spatial factors on the formation, use and development of land in the metropolis.

The directions of realization of integral estimation of the influence of spatial factors on the formation, use and development of land in the metropolis, given the nature of interaction between stakeholders. The model is constructed and defined by the integral criterion, which enables development of analytical and spatial support for decision-making in the sphere of land relations of the metropolis.

Key words: integrated assessment, spatial factors, interested persons of formation, use and development of land in the metropolis.

Вступ

На сучасному етапі розвиток міст України особливого значення набуває формування інформаційного підгрунтя для прийняття рішень щодо формування, використання та розвитку земель мегаполісів, враховуючи вплив просторових факторів і напрями й особливості взаємодії різних груп зацікавлених осіб (стейкхолдерів).

У таких умовах виникає необхідність здійснення інтегральної оцінки впливу просторових факторів на формування, використання та розвиток земель мегаполісу, враховуючи напрями й особливості взаємодії стейкхолдерів.

Проблемам формування, розподілу й розвитку земель мегаполісу із використанням відповідних інструментів присвячені роботи: К. Мамонова [1], Ю. Палехи [2, 3], В. Шипуліна [4, 5] та ін.

Мета та завдання статті

Метою статті є визначення напрямів та реалізація інтегральної оцінки впливу факторів на формування, використання й розвиток земель мегаполісу.

Завданнями представленого дослідження є:

– визначення напрямів інтегральної оцінки впливу просторових факторів на формування, використання й розвиток земель мегаполісу;

– реалізація напрямів інтегральної оцінки впливу просторових факторів на формування, використання й розвиток земель мегаполісу.

Виклад основного матеріалу дослідження

Сутність підходу до інтегральної оцінки впливу просторових факторів на формування, використання та розвиток земель мегаполісу полягає у визначенні узагальнюючого критерію на основі сформованих просторових факторів і особливостей взаємодії між групами зацікавлених осіб, що дозволило створити інформаційний базис для прийняття управлінських рішень на різних рівнях функціонування міських агломерацій.

Для реалізації підходу до інтегральної оцінки впливу просторових факторів на формування, використання й розвиток земель мегаполісу запропоновано здійснювати наступні напрями:

1. Формування інформаційно-аналітичного, просторового та геоінформаційного забезпечення для інтегральної оцінку формування, використання й розвиток земель мегаполісу.
2. Визначення та характеристика просторових факторів, які впливають на формування, використання й розвиток земель мегаполісу.
3. Визначення стейкхолдерів, які взаємодіють у сфері земельних відносин міст.
4. Побудова моделі інтегральної оцінки формування, використання й розвиток земель мегаполісу, враховуючи вплив просторових факторів і рівень взаємодії між групами зацікавлених осіб.
5. Формування локальних моделей визначення впливу просторових факторів і груп стейкхолдерів.
6. Визначення інтегрального стейкхолдерно-просторового критерію оцінки формування, використання й розвитку земель мегаполісу.
7. Розробка заходів щодо зростання ефективності формування, використання й розвитку земель мегаполісу.

Для реалізації представленого підходу, визначені групи стейкхолдерів та розроблена модель оцінки. У дослідженні визначені наступні групи стейкхолдерів, що взаємодіють у системі земельних відносин міст:

- землекористувачі: фізичні та юридичні особи, які спрямовують свої дії на використання земель мегаполісу для досягнення поставленої мети (отримання економічних вигод або застосування земельних ділянок і об’єктів нерухомості для власних або інших цілей);
- землевласники: фізичні, юридичні особи, комунальні та державні інституції, що володіють землями і впливають на формування й розподіл земельних ділянок і об’єктів нерухомості мегаполісу;
- державні органи влади: визначаються у широкому сенсі як система інституцій на всіх рівня державної влади, що впливають на формування земельних відносин, здійснюють їх регулювання, забезпечують взаємодію між землекористувачами і землевласниками через відповідні інструменти управління та нормативно-правове забезпечення.

Запропоновані групи зацікавлених осіб визначають особливості впливу системи просторових факторів і оцінюються відповідними інтегральними стейкхолдерними критеріями.

У результаті дослідження побудована модель інтегральної оцінки формування, використання розвитку земель мегаполісу, враховуючи вплив просторових факторів і рівень взаємодії між групами зацікавлених осіб:

$$I_{spc}=I_{lu}xI_{pc}+I_{lo}xI_{pc}+I_{g}xI_{pc}, \quad (1)$$

де I_{spc} – інтегральний стейкхолдерно-просторовий критерій оцінки формування, використання й розвитку земель мегаполісу;

I_{lu} – інтегральний стейкхолдерний критерий, що характеризує вплив та рівень взаємодії землекористувачів у системі земельних відносин міст;

I_{lo} - інтегральний стейкхолдерний критерий, що характеризує вплив та рівень взаємодії землевласників у системі земельних відносин міст;

I_{g} - інтегральний стейкхолдерний критерий, що характеризує вплив та рівень взаємодії державних органів влади у системі земельних відносин міст;

I_{pc} – інтегральний просторовий критерій, що характеризує вплив просторових факторів на напрями формування, використання й розвитку земель мегаполісу.

У представленій інтегральній моделі інтегральній моделі інтегральні стейкхолдерні критерії визначаються методом експертних оцінок шляхом побудови відповідної анкети, визначення достовірності отриманих оцінок і встановлення рівня впливу землекористувачів, землевласників, державних органів влади на формування, використання й розвитку земель мегаполісу. Отже значення інтегральних стейкхолдерних критеріїв варіюється у проміжку між 0 і 1 із кроком у 0,1.

Інтегральні стейкхолдерні критерії визначаються за середніми оцінками експертів, думки 20-ти із яких використовуються у дослідженні. Слід зазначити, що для характеристики рівня достовірності отриманих експертних оцінок застосовується коефіцієнт конкордації, який показує достовірність проведеного дослідження. Якщо значення коефіцієнту знаходиться у діапазоні від 0,7 до 1, то можна стверджувати про високий рівень узгодженості думок експертів та достовірності проведеного дослідження. Крім того, визначаються коефіцієнти

значущості, які характеризують важливість відповідної групи стейкхолдерів на просторові фактори формування, використання й розвитку земель мегаполісу.

Локальні моделі дозволяють визначити інтегральні просторові критерії, що характеризують вплив просторових факторів на напрями формування, використання й розвитку земель мегаполісу, враховуючи різні рівні й сформувати інформаційне підгрунтя для отримання узагальнюючої інтегральної оцінки й визначення відповідного критерію.

Значення локальних узагальнюючих просторових критеріїв знаходяться у діапозоні від 0 до 1 і вище, й визначають рівень впливу просторових факторів на ефективність формування, використання й розвиток земель мегаполісу.

Значення інтегрального стейкхолдерного критерію представлені у табл. 1, які визначені на основі застосування експертної оцінки.

У результаті дослідження визначено, що найбільше значення має інтегральний стейкхолдерний критерий, що характеризує вплив та рівень взаємодії землекористувачів у системі земельних відносин міст (I_{lu}), що свідчить про значний їх вплив на земельні відносини міських територій. Поряд з цим, на думку експертів, на сучасному етапі знижується значення та роль державних інтитуцій, що вказує на лібералізацію відносин у системі формування, використання та розвиток земель мегаполісу (інтегральний стейкхолдерний критерий, що характеризує вплив та рівень взаємодії державних органів влади у системі земельних відносин міст дорівнює 0,245). Інтегральний стейкхолдерний критерий, що характеризує вплив та рівень взаємодії землевласників у системі земельних відносин міст знаходиться на рівні 0,345. Представлені значення не враховують коефіцієнти значущості, які характеризують важливість відповідної групи стейкхолдерів на просторові фактори формування, використання та розвиток земель мегаполісу.

Коефіцієнти значущості визначені на рівні 0,5, 0,3 і 0,2 відповідно до впливу інтегральних стейкхолдерних критеріїв.

Результати оцінки інтегрального стейкхолдерно-прострового критерію оцінки формування, використання та розвитку земель мегаполісу представлені в табл. 2.

Отже, у результаті дослідження визначено інтегральний стейкхолдерно-просторовий критерій оцінки формування, використання та розвитку земель мегаполісу на рівні 0,946, який свідчить про побудовану систему просторових факторів з відповідним інформаційно-аналітичним та просторовим

забезпеченням, де взаємодіють групи зацікавлених осіб, які впливають на представлені фактори земель та об'єкти нерухомості.

Таблиця 1 - Результати оцінки інтегрального стейкхолдерного критерію (розроблено автором)

Експерти	Інтегральні стейкхолдерні критерії			Сума оцінок
	інтегральний стейкхолдерний критерий, що характеризує вплив та рівень взаємодії землекористувачів у системі земельних відносин міст (I_{lu})	інтегральний стейкхолдерний критерий, що характеризує вплив та рівень взаємодії землевласників у системі земельних відносин міст (I_{lo})	інтегральний стейкхолдерний критерий, що характеризує вплив та рівень взаємодії державних органів влади у системі земельних відносин міст (I_g)	
E_1	0,4	0,3	0,3	1
E_2	0,5	0,4	0,1	1
E_3	0,4	0,4	0,2	1
E_4	0,3	0,3	0,4	1
E_5	0,6	0,3	0,1	1
E_6	0,4	0,4	0,2	1
E_7	0,4	0,3	0,3	1
E_8	0,3	0,4	0,3	1
E_9	0,5	0,3	0,2	1
E_{10}	0,4	0,3	0,3	1
E_{11}	0,3	0,5	0,2	1
E_{12}	0,4	0,4	0,2	1
E_{13}	0,4	0,5	0,1	1
E_{14}	0,3	0,2	0,5	1
E_{15}	0,4	0,5	0,1	1
E_{16}	0,3	0,2	0,5	1
E_{17}	0,5	0,2	0,3	1
E_{18}	0,3	0,4	0,3	1
E_{19}	0,5	0,3	0,2	1
E_{20}	0,6	0,3	0,1	1
Середнє значення	0,41	0,345	0,245	1

Таблиця 2 - Результати оцінки інтегрального стейкхолдерно-просторового критерію оцінки формування, використання та розвитку земель мегаполісу (розроблено автором)

Показники	Значення
Інтегральний стейкхолдерний критерий, що характеризує вплив та рівень взаємодії землекористувачів у системі земельних відносин міст (I_{lu})	0,205
Інтегральний стейкхолдерний критерий, що характеризує вплив та рівень взаємодії землевласників у системі земельних відносин міст (I_{lo})	0,104
Інтегральний стейкхолдерний критерий, що характеризує вплив та рівень взаємодії державних органів влади у системі земельних відносин міст (I_g)	0,049
Узагальнюючий стейкхолдерний критерій (I_s)	0,358
Узагальнюючий критерій просторових факторів регіонального рівня (PC_1^1)	0,183
Узагальнюючий критерій просторових факторів місцевого (зонального) рівня (PC_2^1)	0,287
Узагальнюючий критерій просторових факторів місцевого локального рівня (PC_3^1)	0,223
Узагальнюючий критерій просторових факторів безпосередньо об'єкту нерухомості і земельної ділянки (PC_4^1)	0,253
Інтегральний стейкхолдерно-просторовий критерій оцінки формування, використання та розвитку земель мегаполісу (I_{spc})	0,946

Проте неповністю вирішені проблеми забезпечення зростання ефективного формування, використання та розвитку земель мегаполісу, об’єктів нерухомості за рахунок неоднозначного впливу органів державної влади. Побудована система оцінки земель мегаполісу, що відповідає напрямам і умовам розвитку ринку та враховує інтереси різних груп зацікавлених осіб. Поряд з цим, на нашу думку, спостерігається недооцінка земель мегаполісу, шо впливає на їх привабливість й рівень ефективності формування, використання та розвитку територій.

Висновки та перспективи подальших розвідок

На основі проведеного дослідження розроблено підхід до інтегральної оцінки земель мегаполісу, застосування якого дозволяє отримати інтегральний стейкхолдерно-просторовий критерій і розробити відповідні рішення для зростання ефективності формування, використання та розвитку земель міста. На основі проведеної оцінки запропоновані заходи щодо зростання ефективності формування, використання та розвитку земель мегаполісу.

Література

1. Мамонов К. А. Методи і моделі оцінки формування, розподілу та використання земель мегаполісу, що застосовуються у системі геоінформаційного забезпечення / К. А. Мамонов, Е. С. Штерндок. Збірник

наукових праць “Економічна кібернетика: аспекти становлення і розвитку електронної економіки”. 2017, с. 92 – 96.

2. Палеха Ю.Н. Применение ГИС-технологий в градостроительных проектах на государственном и региональном уровнях / Ю.Н.Палеха, А.В. Олещенко, И.В. Соломаха // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И.Вернадского. География. 2012. 25 (64). №1 – С. 155-166.

3. Палеха Ю. Н. Развитие градостроительных ГИС в Украине на современном этапе / Ю. Н. Палеха [Текст] // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. География. – 2010. – 23 (62). – № 2 – С. 214-221.

4. Основные принципы геоинформационных систем: учебн. пособие / Шипулин В. Д.; Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва. – Х.: ХНАГХ, 2010. – 337 с.

5. Шипулін В. Д. Посібник із навчання роботі з кадастрово-реєстраційною системою / В. Д. Шипулін. – К : ЕСОММ, ІЛС Україна. – 439 с.

Рецензенти:
Славінська О.С., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.
Яценко І.В., канд. екон. наук, Національний транспортний університет.

Reviewers:
Slavinska O.S., Dr. Tech. Sci., National Transport University.
Yatsenko I.V., Cand. Econ. Sci., National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **08.03.2017 р**.

УДК 336.77

Яценко І.В., канд. екон. наук, **Соколова Н.М.,** канд. екон. наук,
Канін О.П., канд. техн. наук

КРЕДИТУВАННЯ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЕКТІВ

Анотація. Робота присвячена комплексному дослідженню проблем, пов'язаних з діяльністю банків України в сфері інвестиційного кредитування. У роботі визначено сутність, функції, принципи й особливості кредитування інвестиційних проектів. Розкрито методи оцінки ефективності інвестиційних проектів, запропоновано метод оцінки прогнозної інвестиційної кредитоспроможності позичальника, розглянуто інструменти та методи управління проектними ризиками. Проаналізовано сучасний стан банківського інвестиційного кредитування в Україні, розглянуто основні проблеми, які перешкоджають активізації діяльності банків у цій сфері. Запропоновано напрями активізації банківської сфери в інвестиційних процесах.
Ключові слова: інвестиційний кредит, механізм інвестиційного кредитування, інвестиційний проект, проектні ризики, інвестиційна кредитоспроможність позичальника.

УДК 336.77

Яценко И.В., канд. экон. наук, **Соколова Н.М.,** канд. экон. наук,
Канин О.П., канд. техн. наук

КРЕДИТОВАНИЕ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Аннотация. Работа посвящена комплексному исследованию проблем, связанных с деятельностью банков Украины в сфере инвестиционного кредитования. В работе определены сущность, функции, принципы и особенности кредитования инвестиционных проектов. Раскрыты методы оценки эффективности инвестиционных проектов, предложен метод прогнозной оценки инвестиционной кредитоспособности заемщика, рассмотрены инструменты и методы управления проектными рисками. Проанализировано современное

состояние банковского инвестиционного кредитования в Украине, рассмотрены основные проблемы, препятствующие активизации деятельности банков в этой сфере. Предложены направления активизации банковской сферы в инвестиционных процессах.

Ключевые слова: инвестиционный кредит, механизм инвестиционного кредитования, инвестиционный проект, проектные риски, инвестиционная кредитоспособность заемщика.

UDC 336.77

Yatsenko I. V., Cand. Econ. Sci. (Ph.D.), **Sokolova N. M.** Cand. Econ. Sci. (Ph.D.), **Kanin O. P.,** Cand. Eng. Sci. (Ph.D.)

FINANCING OF INVESTMENT PROJECTS

Abstract. The work is devoted to the complex research problems related to the activities of banks of Ukraine in the sphere of investment crediting. The study also identified the nature, functions, principles and features of crediting of investment projects. Disclosed are methods of assessing the effectiveness of investment projects, proposed a method for prognostic assessment of investment creditworthiness of the borrower, are considered tools and techniques for project risk management. Analyzes the current state of Bank investment lending in Ukraine, considers the main issues hindering the revitalization of the banks in this area. The directions of the revitalization of the banking sector in investment processes.

Key words: investment credit, investment credit, investment project, project risks, investment creditworthiness of the borrower.

Постанова проблеми

За умов низького інвестиційного потенціалу держави, недостатнього рівня розвитку фінансового ринку, обмежених можливостей підприємств самостійно фінансувати інвестиційні проекти роль банківської системи в активізації інвестиційної діяльності посилюється, адже банківський сектор розвивається динамічніше, ніж інші сектори економіки й залишається найбільшим сегментом фінансового ринку країни. Позитивні тенденції діяльності банків сприяють

підвищенню їхньої функціональної ролі у розвитку економіки: банки, будучи посередниками в акумулюванні та перерозподілі тимчасово вільних коштів, визначають напрями й обсяги інвестування, опосередковуючи відтворювальні процеси в економіці. Втім, залишаються актуальними проблеми оптимізації кількісної структури банків, забезпечення стабільності і достатності ресурсної бази банків, створення спеціалізованих банківських установ, об'єднань, усунення територіальних диспропорцій на регіональному ринку кредитування реального сектора, які негативно впливають на розвиток банківського сектора зокрема та структурну перебудову економіки загалом.

Аналіз останніх досліджень.

Різні аспекти зазначеної проблематики висвітлені в працях українських вчених - економістів: І.О. Бланка, Б.В. Губського, В.В. Корнєєва, Б.Л. Луціва, О.В. Дзюблюка, М.Л. Лапішко, Л.І. Нейкової, А.А. Пересади, Т.В. Майорової, А.П. Вожжова, М.І. Савлука, І.О. Лютого, А.М. Мороза, Д.Г. Лук`яненка, С.В. Науменкової, В.Д. Лагутіна тощо. Серед російських вчених варто виокремити праці В.В. Ковальова, І.В. Ліпсица, Я.С. Мелкумова, І.І. Мазура, В.Д. Шапіро, Н.Г. Ольдерогге та інших. Вагомий внесок у розробку цієї тематики зробили такі зарубіжні економісти як Й. Шумпетер, Р. Кінг, Р. Левайн, Д. Фернадеза, А. Галетовіц та інші.

Разом з тим, проблема підвищення ресурсної ролі банківського кредиту в інвестиційній сфері потребує комплексного наукового вивчення. Дослідження цієї теми відкриває можливості поглиблення теоретичних пошуків щодо побудови ефективного механізму кредитування інвестиційних проектів, подальшого розширення участі фінансово-кредитних інститутів у їх реалізації в Україні.

Постановка задачі

Метою дослідження є теоретичне обґрунтування, вироблення науково-методичних засад і практичних пропозицій, спрямованих на вдосконалення банківського кредитування інвестиційних проектів, як чинника розширення інвестиційної сфери і підвищення ефективності економіки України за умов становлення та розвитку ринкових відносин.

Відповідно до поставленої мети в роботі було визначено і вирішено такі завдання:

- узагальнити та систематизувати теоретичні й практичні засади інвестиційного кредитування для уточнення економічного змісту цього поняття;

- розробити дієвий механізм банківського інвестиційного кредитування, спрямований на оптимізацію формування та розподілу банківських інвестиційних ресурсів;
- критично проаналізувати показники оцінки ефективності інвестиційних проектів та методи їх розрахунку з метою детермінації недоліків, внесення пропозицій щодо доцільності використання на практиці зазначених методів;
- запропонувати підходи щодо вдосконалення організації процесу кредитування інвестиційних проектів, які ґрунтуються на засадах системності для виявлення організаційно-економічних передумов підвищення ефективності використання кредиту в процесі реалізації інвестиційного проекту;
- виявити та обґрунтувати проблеми ідентифікації й оцінки проектних ризиків на всіх етапах розроблення і реалізації інвестиційного проекту; окреслити систему інструментів управління проектними ризиками через призму оптимізації кредитного портфеля інвестиційних проектів;

Об`єктом дослідження є система економічних відносин, які виникають між учасниками інвестиційного ринку з приводу ресурсного забезпечення інвестиційних проектів.

Предметом дослідження є організація діяльності банків з кредитування інвестиційних проектів.

Виклад основного матеріалу

Використання банківського кредиту як джерела інвестування є одним з дієвих чинників активізації інвестиційної діяльності. Визначальним критерієм ідентифікації банківського кредиту як інвестиційного ресурсу є його спрямування на відтворення капіталу позичальника в розширених масштабах.

У результаті дослідження виділено напрями участі банків в інвестиційному процесі. У цьому зв’язку виокремлено три види діяльності банків: кредитування інвестиційних проектів, надання посередницьких послуг, здійснення операцій на фондовому ринку. Наявні підходи до дослідження особливостей діяльності банків у сфері інвестиційного кредитування вказують на існування двох основних напрямів: безпосереднє надання інвестиційних кредитів та опосередковане.

У роботі наголошується, що відокремлення інвестиційного кредитування як важливого елементу в системі банківського кредитування зумовлено як

специфікою сутнісного змісту інвестиційного кредиту, так і особливостями реалізації позичальником інвестиційних проектів. У результаті дослідження виокремлено характерні ознаки інвестиційного кредитування, що дало змогу визначити його переваги і недоліки як на мікро-, так і на макрорівні. Зокрема, здійснюючи інвестиційне кредитування, банки мають можливість достовірніше оцінити платоспроможність і надійність позичальника; розглянути інвестиційний проект щодо його життєздатності, ефективності, реалізованості, забезпеченості, ризиків; спрогнозувати результат реалізації інвестиційного проекту. Крім того, проектне кредитування відкрило нові напрями діяльності банківських установ у сфері банківського бізнесу (надання гарантійних, консультативних послуг, послуг інвестиційних брокерів, створення банківських консорціумів, купівля цінних паперів проектних компаній, здійснення лізингових операцій). Попри перелічені переваги цього виду кредитування у роботі названо вагомі причини, що стримують надання інвестиційного кредиту: високий рівень витрат передінвестиційної фази, вищий відсоток за кредит у зв'язку з високими ризиками, а також зростання видатків на оцінку проекту, організацію кредитування, нагляд тощо.

Ґрунтуючись на теоретичному аналізі та узагальненні, визначено, що інвестиційним проектом є інвестиційна акція, яка передбачає вкладення певної кількості ресурсів, у тому числі інтелектуальних, фінансових, матеріальних, людських для отримання запланованого результату і досягнення певних цілей в обумовлені терміни. Фінансовим результатом інвестиційного проекту є прибуток/дохід, матеріально-речовим результатом - нові чи реконструйовані основні фонди.

З огляду на практику інвестиційного кредитування встановлено, що мають місце відмінності в підходах до поділу проектного циклу кредитором і позичальником. У межах окремих фаз проектного циклу позичальник і кредитор визначають різні етапи. Втім, кредитор повинен мати чітке уявлення про проектний цикл позичальника для того, щоб максимально точно врахувати витрати і доходи, пов’язані з реалізацією проекту, сукупність ризиків, а також розробити свій графік контролю за реалізацією проекту. З метою недопущення затримок у просуванні проекту важливо діяти максимально скоординовано.

При вивченні можливих видів банківського інвестиційного кредитування проаналізовано ті з них, які мають найширше застосування на практиці, та виділено проблеми їх розвитку в Україні. Застосування проектного кредитування

дало змогу виокремити такі види кредитування інвестиційних проектів: банківське кредитування інвестиційних проектів, кредитування інвестиційних проектів, в яких передбачено використання лізингу, кредитування інвестиційних проектів державою через банківські установи та надання кредиту для реалізації інвестиційних проектів міжнародними фінансово-кредитними організаціями.

Проаналізувавши методики визначення ефективності інвестиційних проектів, встановлено, що увага акцентується на оцінці ефективності інвестиційних проектів з позиції позичальника, до кінця не враховуючи інтересів кредитора. Такий однобічний підхід не може в повній мірі дозволити оцінити проект, який потребує залучення додаткових коштів, зокрема, кредитних. З огляду на це, доведено, що показник "чистий приведений дохід" (різниця між приведеними до теперішньої вартості сумою чистого грошового потоку за період експлуатації інвестиційного проекту і сумою інвестиційних витрат для його реалізації) може бути використаний банком як критерій доцільності кредитування інвестиційного проекту, а також як інструмент для здійснення порівняльної оцінки варіантів інвестиційних проектів за умови, коли рух грошових потоків відображується у вигляді надання кредиту (відплив грошових коштів) і повернення кредиту (приплив грошових коштів). Зокрема, якщо величина чистого приведеного доходу має від’ємне чи нульове значення, то вкладання коштів не принесе додаткового прибутку; при порівнянні кількох проектів найбільш ефективним з варіантів інвестиційних об’єктів вважатиметься той, який характеризується більшою величиною чистого приведеного доходу. Зважаючи на те, що кредитор мусить мати підтвердження того, що грошові потоки інвестиційного проекту забезпечать повернення кредиту та відсотків за ним, запропоновано здійснювати вирахування коефіцієнта покриття боргу, який має широке застосування у зарубіжній практиці проектного кредитування, як співвідношення грошових потоків за проектом до суми платіжних зобов’язань за проектним кредитом. Враховуючи специфіку інвестиційного кредиту, необхідно здійснювати оцінку динаміки розвитку фінансового стану позичальника при реалізації інвестиційного проекту. Доведено, що після отримання інвестиційного кредиту кредитоспроможність позичальника відповідатиме прогнозному значенню кредитоспроможності, вирахуваної шляхом екстраполяції даних за минулий період, з уточненням структури надходжень і видатків та урахуванням нових статей надходжень і видатків. Тобто прогнозну інвестиційну

кредитоспроможність позичальника можна вирахувати за допомогою формули (1).

Співвідношення (1) задає величину кредитоспроможності позичальника із урахуванням динаміки зміни його фінансового стану та очікуваних змін у структурі його доходів і витрат, які пов'язані з отриманням кредиту й впровадженням інвестиційного проекту. Запропонований метод дозволяє визначити розмір інвестиційного кредиту, граничний розмір суми, яку позичальник зможе вносити в погашення кредиту, встановити оптимальну тривалість кредитного договору. Крім того, цей метод передбачає детальний аналіз як минулої діяльності позичальника, так і його бізнес-плану, дозволяє банку здійснити комплексну оцінку інвестиційної кредитоспроможності позичальника, а також гнучко оперувати величиною ризиків.

$$P(t) = R(t) + b(\sum_{i=1}^{n_d} \Delta D_i - \sum_{j=1}^{n_v} \Delta V_i) + c(\sum_{i=1}^{N_d} d_i(t) - \sum_{j=1}^{N_v} d_j(t)), \quad (1)$$

де, $P(t)$ - прогнозна інвестиційна кредитоспроможність;

$R(t)$ - прогнозна кредитоспроможність, вирахувана без урахування даних інвестиційного бізнес-плану;

i, j - відповідно індекси статей доходів й видатків;

t - часовий відрізок (період), за який вираховується платоспроможність;

$ДD_i$, $ДV_j$ - відповідно, зміни в обсягах надходжень і видатків за існуючими статтями, які очікуються після впровадження інвестиційного проекту;

$d_i(t)$, $v_j(t)$ - відповідно, надходження та видатки за новими статтями, які виникнуть після впровадження інвестиційного проекту;

N_d, n_d - кількість статей доходів відповідно до і після впровадження інвестиційного проекту;

N_v n_v - кількість статей видатків відповідно до і після впровадження інвестиційного проекту;

b, c - коефіцієнти, що відображають ризик вчасного отримання коштів позичальником, відповідно, в зміні структури доходів і в нових доходах ($в, c<1$).

Оскільки процес кредитування інвестиційних проектів є доволі складним і залежить від впливу багатьох чинників, таких як збільшення розмірів і терміну інвестування проектів, їх різноманітність та складність, впровадження нових

методів і технологій під час реалізації, динамічність зовнішнього економічного середовища, конкуренція, інфляція та інші негативні чинники, котрі призводять до зростання ступеня ризику в процесі здійснення проекту, в дисертації суттєву увагу приділено дослідженню проектних ризиків. Проектні ризики можна трактувати як сукупність ризиків, які загрожують реалізації інвестиційного проекту або спроможні знизити його ефективність (комерційну, економічну, бюджетну, соціальну). Проведене дослідження дало можливість зробити висновок, що проектні ризики для банку, як складові кредитних, - це можливе падіння його прибутку в результаті невдалої реалізації інвестиційного проекту.

Ризики аналізують переважно на доінвестиційній фазі, у той час як виявляються вони на інвестиційній та фазі закриття проекту. Така часова віддаленість настання ризиків від моменту аналізу призводить до таких наслідків: окремі ризики можуть взагалі не враховуватись на етапі ідентифікації; деякі виявлені ризики можуть бути оцінені неточно через зміну зовнішніх умов реалізації проекту; внесення корективів у проект; оцінки окремих ризиків можуть коригуватися через появу додаткової інформації про них.

З метою уникнення подібних ситуацій у роботі досліджено концептуальні засади управління проектними ризиками у процесі реалізації інвестиційного проекту. Процес управління ризиками є неперервною і відповідальною діяльністю протягом всього життя проекту, яка охоплює сукупність інструментів та принципів. Таким чином, у процесі управління проектними ризиками банк вирішує такі взаємопов’язані завдання: управління ризиками проекту в цілому; управління ризиками непогашення боргу за інвестиційним кредитом; управління ризиками, пов’язаними зі специфікою банківської діяльності.

Обґрунтовано висновок, згідно з яким окреслені Пріоритети економічної політики в Україні повинні передбачати перегляд існуючої системи регулювання банківського сектора, зміну форм і методів впливу на банківську сферу при врахуванні задач реалізації інвестиційних функцій банків в економіці. Така банківська система повинна відповідати вимогам високої надійності, інвестиційної спрямованості, керованості, гарантувати необхідний рівень пропозиції кредитних ресурсів за доступними для виробничої сфери відсотками. Проаналізувавши структуру банківських кредитів в Україні, з’ясовано, що протягом останніх років спостерігається збільшення питомої частки інвестиційних кредитів у загальному обсязі заборгованості суб’єктів господарювання.

Втім, станом на кінець 2015 року, 85,52% з наданих кредитів було спрямовано на поточну діяльність, у той час як в інвестиційну - 14,48%. З одного боку, обсяг кредитних вкладень банківськими установами в економіку постійно зростає, однак, розглядаючи в цілому вплив обсягів банківського кредитування на такі макроекономічні показники як валовий внутрішній продукт, інвестиції в основний капітал, обсяги промислового виробництва, було виявлено, що роль банківського кредиту в забезпеченні темпів економічного зростання залишається, як і раніше, низькою.

За результатами аналізу тенденцій інвестиційного кредитування виокремлено комплекс проблем, які стримують розвиток інвестиційного кредитування: недостатня капіталізація банківських установ; незначні обсяги довготермінових ресурсів інвестиційного характеру та їх висока вартість; відсутність стимулюючих заходів щодо залучення банківських ресурсів в інвестиційну сферу. Подолання зазначених проблем має здійснюватися системно, починаючи з визначення причин, котрі їх спричинюють, до окреслення комплексу заходів, спрямованих на подолання відповідних проблем на макро - та мікрорівнях.

З метою розширення обсягів інвестиційного кредитування необхідно запровадити механізми й інструменти, які були б стимулами для банків, певними гарантами їх фінансової стійкості (рис. 5). Зокрема, це пільговий порядок резервування залучених коштів, особливі умови рефінансування під інвестиційні проекти. Враховуючи високі ризики, які супроводжують інвестиційний проект на всіх етапах його реалізації та їх широкий спектр, нагальним є створення системи страхування інвестицій, надання державних гарантій. До дієвих чинників, які б сприяли насиченню економіки України банківським інвестиційним капіталом, є запровадження заходів щодо диференціації економічних нормативів залежно від частки наданих кредитів банку в реальному секторі економіки.

У процесі дослідження виокремлено напрями подальшого розвитку малого підприємництва за рахунок кредитних ресурсів банківської сфери:

1) розроблення фінансових механізмів здешевлення вартості кредитних ресурсів;

2) розроблення фінансових механізмів зменшення вимог банків до розміру застави з одночасним забезпеченням вимог щодо мінімізації ризиків неповернення кредитів;

3) стимулювання створення інформаційних і консалтингових систем, які б забезпечували інформаційну та консалтингову підтримку підприємницьких ініціатив;

4) запровадження програм бізнес-освіти (навчання, стажування, перекваліфікація, підвищення кваліфікації) з актуальних питань підприємницької діяльності для керівників та персоналу суб'єктів господарювання.

Основними критеріями для надання інвестиційних кредитів має бути відповідність інвестиційних проектів суб'єктів підприємницької діяльності регіональним та галузевим програмам, пріоритетним напрямкам підтримки підприємництва, його значення для соціально-економічного розвитку держави, регіону, конкурентоспроможність продукції та кредитоспроможність підприємства.

Висновки

У роботі здійснено теоретичне узагальнення і запропоновано нове вирішення наукової проблеми, що полягає у виробленні теоретико-методологічних і прикладних засад удосконалення механізму кредитування інвестиційних проектів.

Проведене дослідження дає підстави зробити наступні висновки:

1. Системне дослідження підтвердило відсутність єдиної думки у вітчизняній економічній літературі щодо змісту інвестиційного кредитування. Уточнення суті банківського інвестиційного кредиту і його функцій дозволило виділити основні ознаки і конкретизувати названу дефініцію. Кредитування інвестиційних проектів, на нашу думку, можна визначити як комплекс заходів із спрямування кредитних ресурсів на інвестиційні потреби позичальника, які спрямовані на розширене відтворення капіталу, відповідно до принципів банківського кредитування. З'ясовано, що кредит є інвестиційним ресурсом у випадку використання його для розширеного відтворення капіталу позичальника, а також, коли спрямовується на реконструкцію, модернізацію та технічне переозброєння основних фондів. У цьому зв'язку банківське інвестиційне кредитування має місце за умови кредитування інвестиційних проектів, в інших випадках, коли інвестиційний проект не розробляється, відбувається звичайне кредитування.

2. Розглядаючи інвестиційний проект, як об'єкт інвестиційного кредитування, встановлено, що це - інвестиційна акція, яка передбачає вкладання

певної кількості ресурсів, у тому числі фінансових, матеріальних, інтелектуальних, людських для отримання запланованого результату і досягнення певних цілей в обумовлені терміни. Фінансовим результатом інвестиційного проекту найчастіше є прибуток/дохід, матеріально-речовим результатом - нові, реконструйовані основні фонди, придбання і використання фінансових інструментів, нематеріальних активів з подальшим отриманням доходу.

3. Під механізмом банківського інвестиційного кредитування запропоновано розуміти не тільки сукупність прийомів організації та регулювання кредитного процесу, але і взаємозв'язок суб'єктів та об'єктів на основі принципів інвестиційного кредитування, методів, юридичних норм і процедур, що забезпечують прибутковий рух кредитних ресурсів при наданні інвестиційних кредитів. Усе викладене дало підстави розглядати механізм банківського інвестиційного кредитування як взаємозв'язану цілісну сукупність практичних заходів банку щодо спрямування вивільнених грошових ресурсів в інвестиційні проекти суб'єктів господарювання та управління ними з метою отримання прибутку.

4. Здійснення оцінки ефективності інвестиційних проектів є ключовим питанням як для інвесторів, так і кредиторів. Виявлено, що у зарубіжній і вітчизняній економічній літературі відсутня спільність у поглядах на розроблення єдиної методики оцінки ефективності інвестиційних проектів. Крім того, здебільшого, запропоновані показники не дають змоги здійснити аналіз ефективності інвестиційних проектів, в яких передбачено використання банківських ресурсів. Це зумовлює необхідність вироблення фахівцями з банківської справи власної методології, яка б уможливлювала проведення аналізу інвестиційної привабливості позичальника.

5. Запропонований метод оцінки інвестиційної кредитоспроможності враховує ефективність інвестиційного кредиту як з точки зору позичальника, так і з точки зору банку. Впровадження запропонованого методу визначення прогнозної оцінки інвестиційної кредитоспроможності позичальника веде до суттєвого вдосконалення взаємовідносин між учасниками виробничого й банківського секторів економіки, що особливо важливо за умов становлення високопродуктивних ринкових відносин. Крім того, цей метод сприяє поліпшенню діяльності банку при підготовці кредитної операції, плануванні

майбутнього кредиту як на стратегічному рівні плануванні економіки, так і на тактичному рівні здійснення активних банківських операцій.

6. Дослідження кредитної діяльності українських банків в інвестиційній сфері показали, що для забезпечення сталого економічного розвитку України, підвищення конкурентоспроможності національної економіки важливого значення набуває оптимізація його функціонування. Активізація участі банків в інвестиційному процесі може реалізовуватися лише в результаті ініціативних та ефективних дій держави, яка повинна на довготерміновій і стабільній основі закріплювати за інвестиціями статус важливого господарського пріоритету та об’єкта сприяння. Банківський сектор України розвивається хоча й нерівномірно, але доволі високими темпами, відображаючи зростаючі потреби ринково орієнтованої економіки. Стратегічним завданням є створення конкурентоспроможної моделі банківської системи на основі науково обґрунтованої концепції розвитку банківської справи, зважаючи на її унікальну роль у ринковому становленні економіки України. Сучасний стан банківської системи, визначення її ролі в економічних процесах для стимулювання процесу насичення економіки України банківським інвестиційним капіталом, дає змогу внести такі пропозиції: запровадити механізм ефективного захисту прав кредиторів, прозорий порядок реалізації заставного майна; запровадити заходи щодо диференціації економічних нормативів залежно від частки інвестиційних кредитів банку в реальному секторі економіки; запровадити механізм стимулювання довготермінового кредитування банків через цільове рефінансування під інвестиційні проекти; оптимізувати податок на прибуток кредитних установ, які здійснюють інвестиційне кредитування; запровадити механізм страхування інвестиційних ризиків комерційних банків; надавати державні гарантії, заохочуючи банки до надання довготермінових інвестиційних кредитів; залучити до активної інвестиційної діяльності суб'єктів різноманітних форм власності та господарювання для розширення національного товаровиробництва і ринкової інфраструктури.

Літератури

1. Іваненко Г.К. Деякі особливості ризиків при інвестиційному кредитуванні // Матеріали ІІ Всеукраїнської науково-практичної конференції

"Фінансово-кредитна система України: проблеми та шляхи їх вирішення". - Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2014. – С. 72-74.

2. Амоша О.І.. Окремі аспекти банківського інвестиційного кредитування в умовах економічного середовища України // Матеріали III Всеукраїнської конференції з фінансового аналізу студентів і аспірантів. - Львів: Механіко-математичний факультет, 2014. - С.103-105.

3. Балянт Г.Р. Проблеми і перспективи активізації лізингової діяльності в Україні // Экономика Крыма. - 2013. - № 10. - С.53-56.

Рецензенти:
Боняр С.М., д-р екон. наук, Київська державна академія водного транспорту.
Гречан А.П., д-р екон. наук, Національний транспортний університет.

Reviewers:
Boniar S.M., Dr. Econ. Sci., Kyiv State Academy of Water Transport.
Hrechan A.P., Dr. Econ. Sci., National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **23.02.2017 р**.

БУДІВЕЛЬНИ МЕХАНІКА ТА СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

УДК 656:614.8.01

Алєксєєнко О.В., Данилевський В.В.

ПРИНЦИПИ КОМПЛЕКСУВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ І ТЕХНІЧНИХ РИЗИКІВ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ ПРОЕКТІВ

Анотація. Розглядається вплив організаційно-технічних ризиків на експлуатаційний процес виробів і можливість виникнення транспортних пригод.
Ключові слова: науково-дослідні проекти, діагностичні комплекси, транспортні пригоди.

УДК 656:614.8.01

Алексеенко А.В., Данилевский В.В.

ПРИНЦИПЫ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ РИСКОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ПРОЕКТОВ

Аннотация. Рассматривается влияние организационно-технических рисков на эксплуатационный процесс изделий и возможность возникновения транспортных происшествий.
Ключевые слова: научно-исследовательские проекты, диагностические комплексы, транспортные происшествия.

UDC 656:614.8.01

Alieksieienko O.V., Danylevskyi V.V.

THE PRINCIPLES OF INTEGRATION OF ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL RISK RESEARCH PROJECTS

Abstract. The influence of organizational and technical risks in the operational process of products and the possibility of accidents.

Keywords: research projects, diagnostic systems, accidents.

Вступ

Перш ніж відповісти на питання: для чого і в чому полягає комплексування організованих і технічних ризиків науково-дослідних проектів (НДП) сформулюємо ряд визначень термінів та виконаємо аналіз впливу організаційних ризиків, на матеріалізацію результатів науково-дослідних робіт за проектами транспортної тематики.

Визначення 1. Ризик формування науково-дослідного колективу (РФК) – можливість виникнення непродуктивної роботи групи виконавців науково-дослідної роботи через невідповідність їх особистісних і професійних факторів.

Визначення 2. Методологічний (методичний) ризик (МР) – можливість виникнення неконструктивного результату НДП з неправильного вибору або некоректного застосування методології (методу) рішення поставленої проблеми (задачі).

Факторами методологічних (методичних) ризиків є:

– повна відсутність методологічних підходів до рішення проблеми (необхідно розробляти теорію та практику);

– у виконавців НДП відсутній необхідний науковий кругозір в області методології рішення проблеми та поставлених завдань.

Визначення 3. Ризик некомпетентності (РНК) – можливість виникнення помилок при прийнятті рішень в процесі науково-дослідної роботи за рахунок відсутності представницької особистої бази знань виконавця НДП.

На формування РНК істотний вплив чинять наступні фактори ризику:

– низька наукова кваліфікація виконавця НДП;

– нездатність виконавця до генерації ідей, необхідних для виконання НДП;

– нездатність виконавця до продуктивного аналізу й синтезу інформації про сучасний стан методології вирішення аналогічних проблем (задач);

– відсутність наполегливості й активності в просуванні доказової бази прогнозованих результатів НДП.

Визначення 4. Причинно-наслідковий ризик (ПНР) – можливість виникнення неефективного науково-дослідного рішення проблеми або наукових задач через помилки у визначенні комплексу причинних факторів.

Причинно-наслідковий ризик має такі фактори впливу:

– класифікація причинно-наслідкових зв'язків не відповідає реальній ситуації ризику (ситуації невизначеності);

– не враховані й не оцінені всі варіанти розвитку процесу управління й результати управлінської діяльності;

– результати якісної й кількісної оцінки ступеню ризику нерозподілений по альтернативах управлінської діяльності.

Аналіз наслідків впливу організаційних ризиків (РФК, МР, РНК, ПНР) показав, що в підсумку всі перераховані ризики втілюються в технічні рішення, які приймаються в процесі виконання НДП в колективному або індивідуальному вигляді. В якості прикладу застосуємо найбільш поширені в сучасних умовах НДП зі створення діагностичних комплексів (ДК) виробів рухомих транспортних засобів. Широке застосування в даний час стратегії технічної експлуатації виробів за станом вимагають наявності ДК, які застосовуються для оцінки поточного технічного стану виробів шляхом контролю діагностичних параметрів.

Застосування діагностичних комплексів проводиться як безпосередньо в експлуатаційних умовах (в статичному і в динамічному режимах), так і в заводських умовах, наприклад, перед виконанням ремонтних робіт та після проведеного ремонту. На рис.1 представлена (надана) схема впливу організаційних і технічних ризиків на підсумковий результат НДП - розробку системи діагностування виробу рухомого транспортного засобу на основі застосування принципово нового пристрою - діагностичного комплексу. Цей вплив проявляється, починаючи з етапу прийняття рішення про матеріалізації результатів НДП при усвідомленні наявності певного рівня ризику процесу діагностування, як слідства неусувних організаційних і технічних ризиків виконання науково-дослідних робіт. Тому є прямий сенс говорити про комплексності впливу організаційних і технічних ризиків і семантично їх зв'язувати в одне поняття - організаційно-технічний ризик. Вплив організаційно-технічного ризику при розробці, реалізації результатів НДП та експлуатації ДК двоякий.

При превалюванні помилки 2-го роду ДК - на експлуатацію надходять вироби після ремонту в заводських умовах, які мають латентний (прихований) несправний стан та ймовірність відмови виробу, встановленого на рухомому транспортному засобі, в перші години експлуатації досить висока. При наявності

на транспортному підприємстві ДК здійснюється вхідний (післяремонтний) контроль і виявлення несправного стану на діагностичному комплексі принципово відмінного від заводського ДК.

Тим самим виріб бракується. Якщо вся ремонтна документація оформлена належним чином, то ремонтному заводу пред'являється рекламація, виріб надходить на повторний ремонт, при цьому ремонтне підприємство несе значні матеріальні витрати. При неприйнятті рекламації – підприємство-експлуатант несе додаткові матеріальні витрати.

Однак, найбільш небезпечним варіантом експлуатації несправного виробу є його відмова яка можливо приводить до транспортної пригоди. Як показує практика розслідування ТП відмови виробів, що мають місце в процесі виконання транспортної роботи йдуть за схемою: $I_н \rightarrow CI \rightarrow A \rightarrow TA$, рис.1. На кожному етапі розвитку аварійної ситуації оператор рухомого транспортного засобу (водій, машиніст, пілот, екіпаж) застосують управляючий вплив (УВ) для парирування негативного результату передкритичного (критичного, надкритичного) стану рухомого транспортного засобу. При достатній кваліфікації оператора, значному особистому досвіді керування транспортним засобом, наявності запасу часу реагування - УВ є ефективним і розвиток ТП припиняється, не приводячи до важких катастрофічних наслідків, рис.1. При відсутності необхідних позитивних факторів, розвиток транспортної пригоди може призвести до важкої аварії з втратою людських життів, вантажу і рухомого транспортного засобу. Випадок з літаком Боїнг-737-500 авіакомпанії Аерофлот-Норд який виконував рейс з Москви до Пермі явне підтвердження вищесказаного. При достатніх знаннях матеріальної частини літака, а саме принципу дії автопілоту, виробленого, встановленого і експлуатованого у закордонних умовах, при достатньо повному навчанні та відповідній кваліфікації пілотів літака важкої аварії з регіональними катастрофічними наслідками (усі люди, які перебували на борту літака загинули – 88 чоловік) можна було б уникнути. Тому принцип, який дозволяє комплексувати організаційні і технічні ризики виконання НДП і який описаний вище, можна називати принципом дуальності впливу організаційно-технічних ризиків.

Другий принцип комплексних ризиків полягає в трансферті інновацій, який є однією з форм впровадження нової техніки (технології) розробленої за результатами виконаних науково-дослідних проектів.

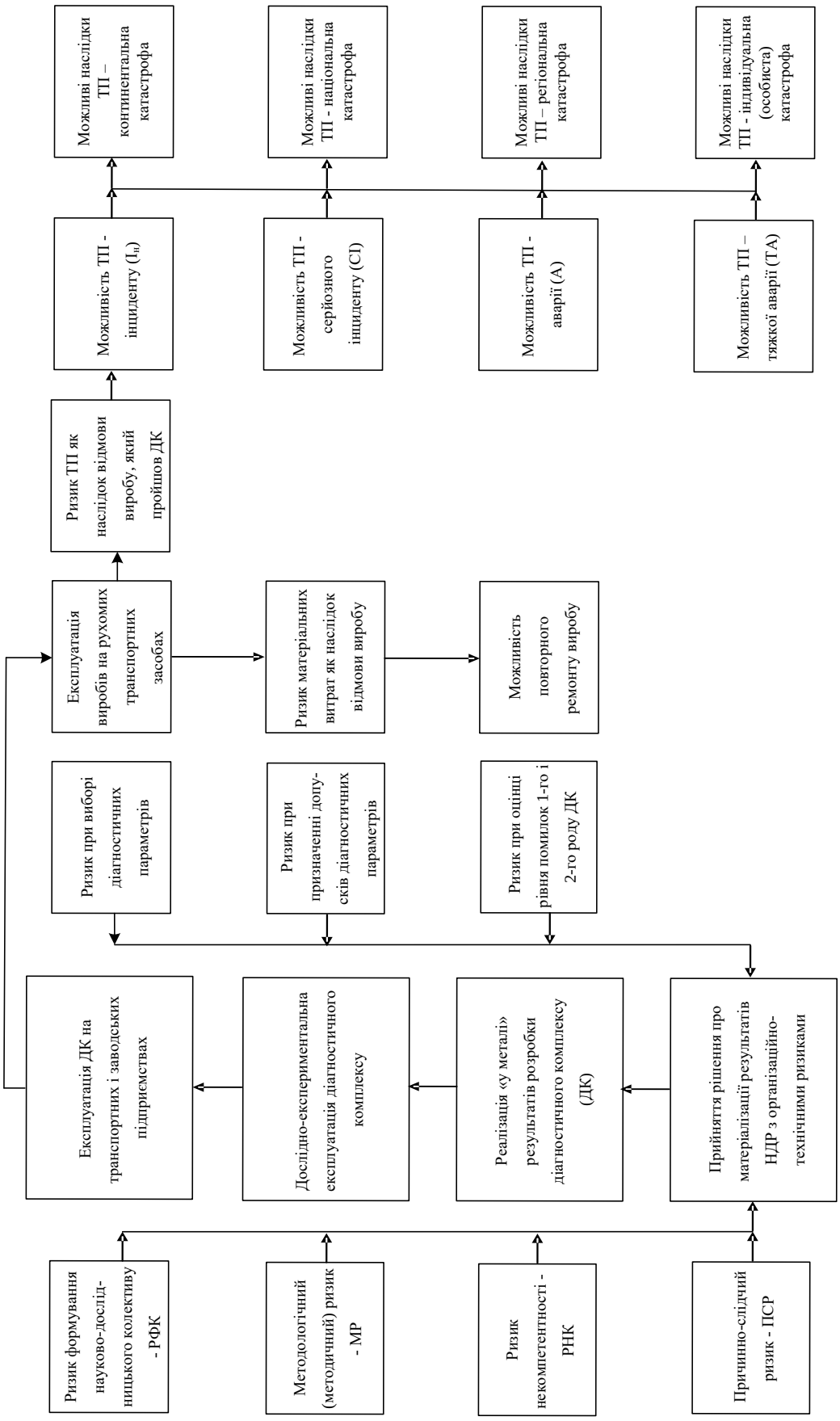


Рисунок 1 – Комплексний вплив організаційно-технічних ризиків на експлуатаційний процес виробів і можливість транспортних пригод

Кінцевому користувачеві (замовнику) результату інновацій не особливо важливо поділ ризиків за їх першоосновою, його цікавить підсумковий проект НДП, який має певний рівень ризику використання ДК в заводських і транспортних організаціях. Цей рівень не повинен перевищувати рівень ризику що закладений в технічне завдання на створення нової техніки і який є граничним, допустимим рівнем ризику використання діагностичного комплексу незалежно від характеру і походження факторів ризику.

Зазначені два принципи комплексування організаційних і технічних ризиків дозволяють об'єднати їх в одне поняття і запропонувати наступне визначення.

Визначення 5. Під організаційно-технічним ризиком науково-дослідного проекту розуміється можливість появи негативного варіанту розвитку процесу експлуатації виробу рухомого транспортного засобу, який може призвести до транспортної пригоди або до значних додаткових матеріальних витрат, як підсумку матеріалізації результату науково-дослідних робіт з транспортної тематики.

Висновки

Таким чином, зроблено акцент на технічну сторону вирішення проблеми шляхом дослідження, розробки, виготовлення і експлуатації нової техніки (технології) в рамках науково-дослідного проекту. Даний підхід закономірний, так як вплив інших видів ризиків (фінансових, ринкових, маркетингових тощо) досліджуються поза транспортної науково-технічної політики.

Література

1. Петрашевський О.Л.,Корбут В.В., Работньов В.Г. Ідентифікація концептуальних та логіко-лінгвістичних моделей транспортних організаційно-технічних систем за рівнями побудови // Вісник Національного транспортного університету. – К., 2003. – Випуск 8. – С.117-120.

2. Гузенко Н.В., Алексеенко А.В. Уровни построения логико-лингвистических моделей транспортных организационно технических систем. / Збірник доповідей 5-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики». Київ, 2003. – С .87-88.

3. Петрашевский О.Л. , Редзюк А.М., Алексеенко А.В., Модели терминов и определений системы управления обеспечением безопасности на транспорте. // Проблемы транспорту: Зб. наук. пр. Випуск 5. – К.: 2008. –С.28 – 36 .

4. Данилевский В.В. Адаптация методологии концептуально-логического отображения и проектного моделирования транспортных систем к задачам управления проектами. / О.Л. Петрашевский, В.В. Данилевский, Н.Н. Цимбал // Проблемы транспорту: Збірник наукових праць: Випуск 7.– Київ: НТУ, 2010. – С. 56-60.

5. Петрашевский О.Л. Методологические аспекты исследования и построения сложных транспортних организационно-технических систем. // Збірник доповідей 4-ї Міжнародної науково-практичної конференції “Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики”. – Київ, 2002. – С. 31-37.

6. Данилевський В.В. Класифікація організаційно-технічних ризиків на етапах виконання науково-дослідницьких проектів/ В.В. Данилевський // Збірник доповідей 14 міжнародної науково-практичної конференції «Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики.» - К.: НТУ, 2012. – с.170-174.

7. Кузнецов А.А., Лебедев А.М., Хмелева Е.В. Минимизация риска как решение задачи управления безопасностью системы. / Изв. Тульского гос. ун-та. Сер. «Экология и рац. природопользования» . – 2006, Вып. 1.

8. Догиль Л.Ф. Управление хозяйственным риском. – Мн.:Книжный дом, Мисанта, 2005.– 224 с.

Рецензенти:
Жданюк В.К., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.
Нагайчук В.М., канд. техн. наук, ДП "ДерждорНДІ".

Reviewers:
Zhdaniuk V.K., Dr. Tech. Sci., Kharkiv National Automobile and Highway University.
Nahaichuk V.M., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), "DerzhdorNDI".

Стаття надійшла до редакції: **28.03.2017 р**.

УДК 625.7/.8

Гамеляк І.П., д-р техн. наук

СИСТЕМНА МОДЕЛЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ

Анотація. У статті використано системний піхід до аналізу надійності конструкцій дорожнього одягу. Наводиться визначення і обґрунтування системної моделі забезпечення надійності конструкцій дорожніх одягів на етапах проектування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг.
Ключові слова: системний підхід, модель, конструкція дорожнього одягу, надійність, етапи життєвого циклу.

УДК 625.7/.8

Гамеляк И.П., д-р техн. наук

СИСТЕМНАЯ МОДЕЛЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Аннотация. В статье использованы системный подход к анализу надежности конструкций дорожной одежды. Приводится определение и обоснование системной модели обеспечения надежности конструкций дорожных одежд на этапах проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог.
Ключевые слова: системный подход, модель, конструкция дорожной одежды, надежность, этапы жизненного цикла.

UDC 625.7/.8

Gameliak I.P., Dr. Tech. Sci.

THE SYSTEM MODEL SUPPORTS OF THE RELIABILITY ROAD STRUCTURES

Abstract. The paper used system approach to analysis reliability of pavement structures. An identification and study system model to ensure reliability of structures pavements during the design, construction and mantanance of highways.
Keywords: system approach, model, pavement design, reliability, life cycle stages.

Вступ

Системна модель забезпечення оптимальних експлуатаційних властивостей конструкцій дорожніх одягів (КДО) автомобільних доріг повинна адекватно відтворювати систему процесів, що впливають на якісні показники КДО, а також створювати реальні можливості для постановки сучасних задач оптимізації цих процесів.

Враховуючи, що системні властивості КДО в процесі експлуатації залежать від процесів використання транспортних засобів за призначенням та технічного обслуговування (ТО) і ремонту з урахуванням інтенсивності витрат технічного ресурсу, обмежень на паливні, мастильні, матеріальні, трудові і фінансові ресурси та впливу на навколишнє середовище, які в свою чергу визначаються якістю та надійністю КДО модель повинна бути ієрархічною та системно комбінованою [1 - 3]. Тобто, виробничий процес впливу на системні властивості КДО розбивається на множину цільових (локальних) процесів, для яких визначається відповідна множина задач, методів, технологій, систем (підсистем) які необхідно поставити і вирішити на даному проміжку часу для реалізації визначених локальних цілей.

Аналіз попередніх досліджень. Автомобільно – транспортний комплекс містить у собі транспортні засоби й автомобільні дороги (покриття і допоміжні споруди), що забезпечують перевезення вантажів і пасажирів відповідно до запитів економіки країни [5 - 7].

Експлуатація автотранспортного комплексу - це експлуатація автомобілів та автодоріг і є складною взаємозалежною системою, у якій ефективність роботи автомобілів визначається станом доріг, а надійність та довговічність доріг залежить від умов експлуатації автомобілів [5, 7]. Для розробки найбільш ефективних методів експлуатації доріг необхідно комплексне дослідження процесу взаємодії всіх елементів, що складають систему експлуатації автомобільного транспорту. А для забезпечення надійності доріг, крім того, необхідно встановлення основних факторів, що формують цю складну систему на стадії проектування, будівництва, та визначають її довговічність при експлуатації.

Стосовно до транспортного процесу на основі принципів системотехніки структурну схему системи експлуатації автомобільного транспорту з деякими умовностями можна представити з чотирьох блоків, «водій - автомобіль -

зовнішнє середовище - дорога» [5, 7]. Така схема дозволяє аналізувати як систему в цілому, так і окремо підсистеми.

У структурній схемі можна виділити такі основні підсистеми: 1) зовнішнє середовище - водій; 2) водій - автомобіль, 3) автомобіль - дорога; 4) зовнішнє середовище - дорога; 5) дорога - автомобіль; 6) автомобіль - водій; 7) зовнішнє середовище - автомобіль. При необхідності кожну підсистему можна представити окремими елементами. Для автомобіля - це колеса, підвіска, трансмісія, механізм керування, вузли, двигун; для зовнішнього середовища - це озеленення, дорожні знаки, зустрічні транспортні засоби, вологість та температура повітря тощо.

Проблема забезпечення надійності КДО є комплексною проблемою, окремі задачі якої відносяться до різних наукових областей. Комплексне рішення проблеми може бути здійснено тільки при такій її постановці, що дозволяє по-новому побачити об'єкт і окреслити реальність, що підлягає дослідженню, тобто реалізувати системний підхід, що є в даний час основним методом дослідження складних явищ і процесів [8 – 11]. Тому метою роботи є - визначення і обґрунтування системної моделі забезпечення надійності конструкцій дорожніх одягів на етапах проектування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг.

Основна частина

Розглянемо позицій системного аналізу надійність КДО як складну систему, забезпечення якої залежить від цілого ряду взаємозв’язаних факторів (навколишнього середовища; технології будівництва; взаємодії з основою; внутрішні процеси в матеріалах і конструкціях, які відбуваються на стадії експлуатації; економічні; соціальні), що дозволяє виділити чотири основні аспекти надійності: проектно-конструкторський, матеріалознавчо-технологічний, економіко-організаційний та експлуатаційний (рис. 1).



Рисунок 1 - Загальна схема системного підходу до аналізу надійності КДО

Складність аналітичного опису всіх цих факторів у сукупності визначила те, що в даний час у дорожньому будівництві ще немає закінчених інженерних методів розрахунку надійності та довговічності КДО, чи рішення зворотної задачі - підбору матеріалів і конструкцій для заданого терміну служби.

Для розрахунку проектної надійності необхідно вирішити дві основні задачі [12]:

- вивчення, збір статистичних даних та узагальнення впливу різних видів навантажень і їхніх сполучень на конструкцію дорожнього одягу;

- розробка методів одержання статистичних законів розподілу міцності конструкцій з урахуванням властивостей матеріалів, зміни умов їхньої експлуатації в часі і виду напруженого стану;

- розробка принципів призначення імовірності допустимих відмов, особливо для конструкцій і споруд з неекономічною відповідальністю та їх нормування (рис. 2).

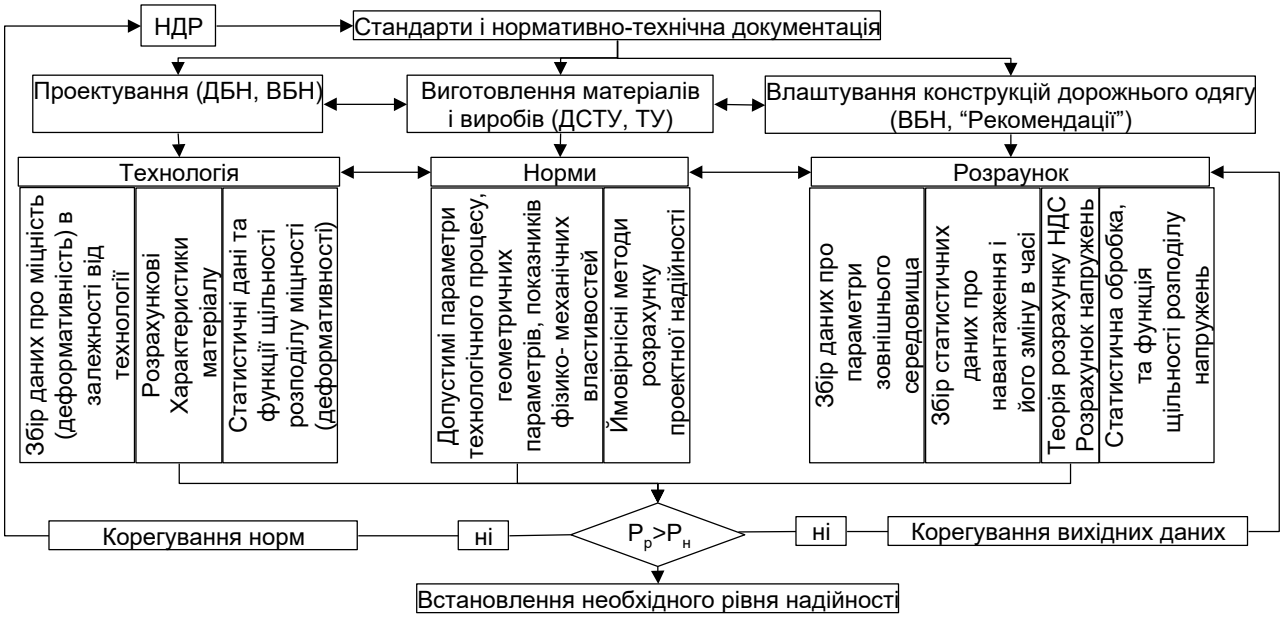


Рисунок 2 - Структурна схема аналізу проектно-конструкторської надійності КДО

На рис. 3 наведено схему аналізу матеріалознавчо-технологічної надійності КДО на прикладі влаштування асфальтобетонного покриття.

Навіть найбільш вдале технічне рішення та достатньо надійне проектне рішення неможливо реалізувати без необхідного рівня фінансування. В умовах соціалістичної економіки основна увага зверталася на економію матеріалів та

ресурсів, часто без достатнього прогнозу таких рішень на перспективу. В результаті товщина асфальтобетонних покриттів в Україні на дорогах вищих категорій недостатня і одна з найменших у порівняні з країнами Західної Європи. Недостатність коштів на утримання та ремонт автомобільних доріг в останні роки приводить до скорочення термінів служби дорожніх покриттів, передчасного вичерпування їх ресурсу. Обмежене фінансування дорожнього комплексу викликає відтік спеціалістів у суміжні галузі, спричиняє еміграцію у сусідні країни. Зменшення престижу автодорожньої спеціальності приводить до зниження рівня спеціалістів, які випускає вітчизняні вищі навчальні заклади. Таким чином, можна констатувати, що надійність КДО у значній мірі визначається факторами організаційно-економічного характеру, головні з яких наведено на рис. 4.

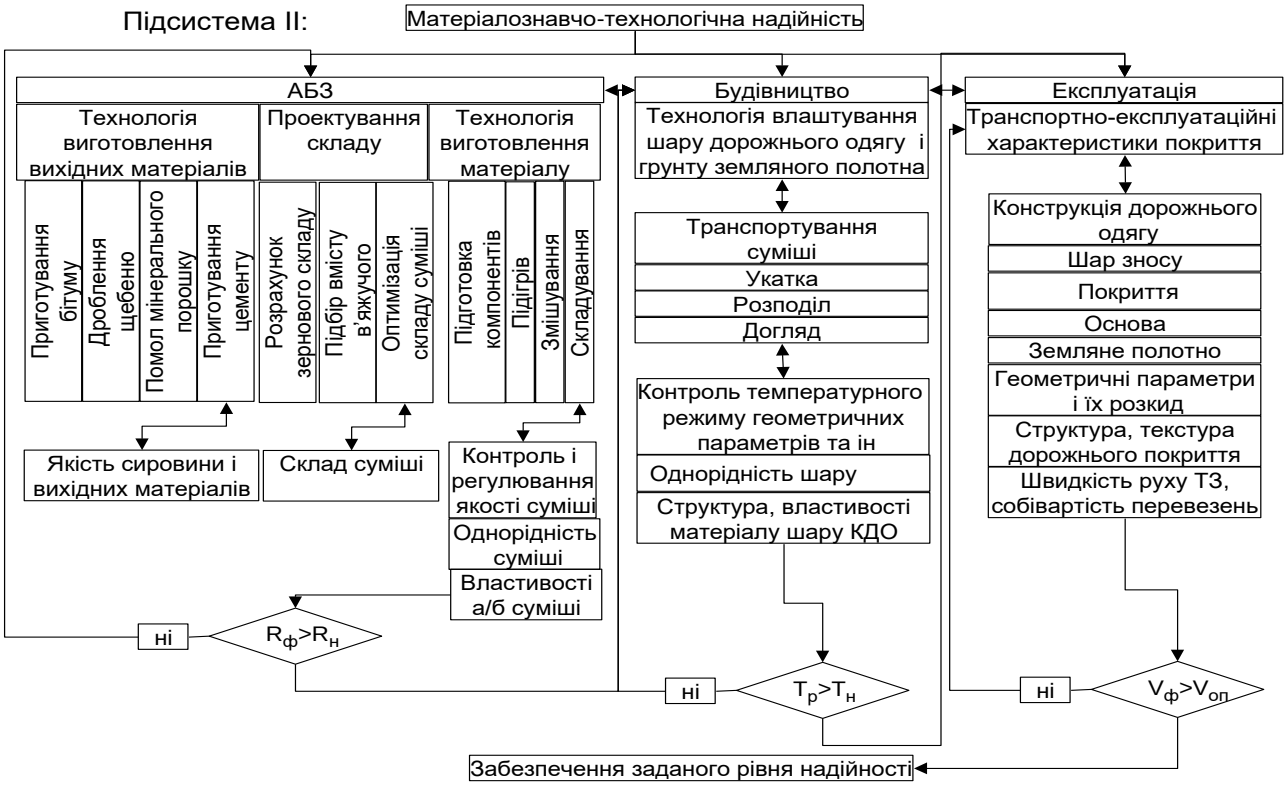


Рисунок 3 - Структурна схема аналізу матеріалознавчо-технологічної надійності КДО

Систематизація умов роботи покриття автомобільних доріг у процесі експлуатації представлена на рис. 5.

Більш детальний опис різних аспектів надійності наведено в роботі [15].

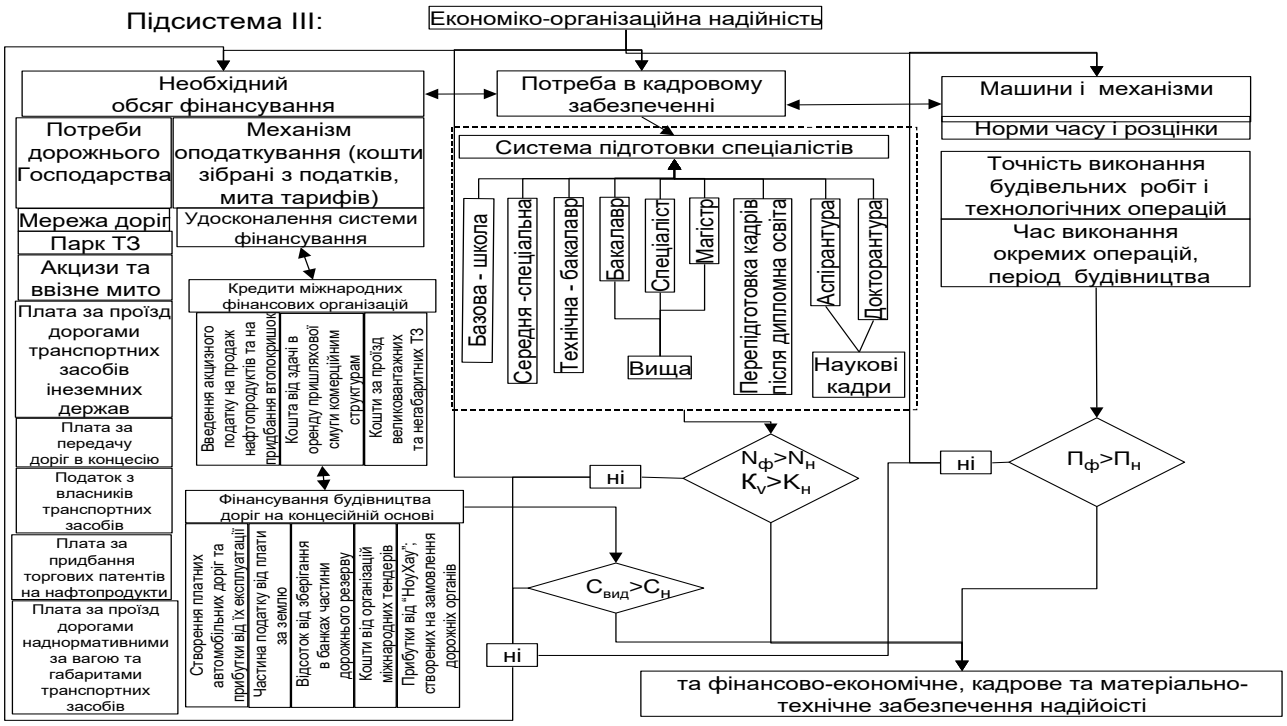


Рисунок 4 - Структурна схема аналізу економіко-організаційної надійності КДО

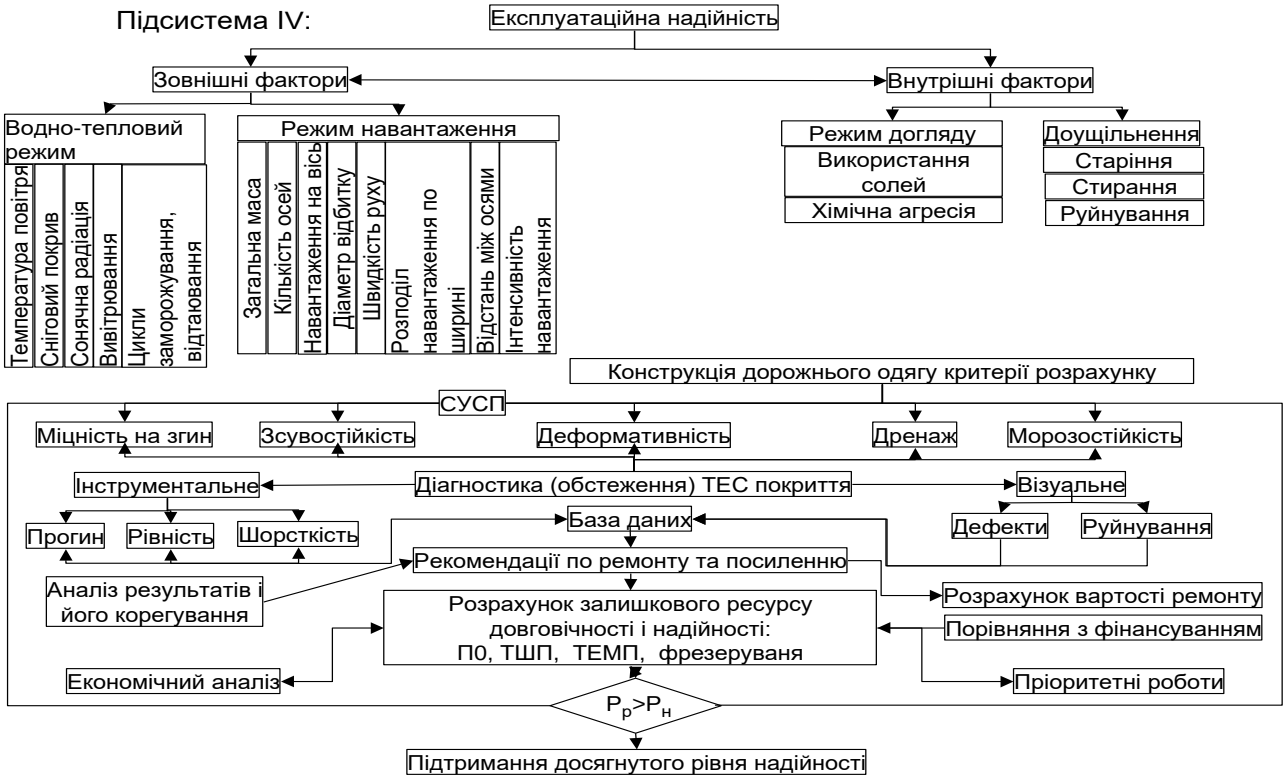


Рисунок 5 - Структурна схема аналізу експлуатаційної надійності конструкцій дорожніх одягів

Відповідно до формули системного аналізу організаційна структура процесу забезпечення оптимальних експлуатаційних властивостей КДО буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} &Ц_c \to Ц_{jk} \to F_{jk} \to З_{jk} \to M_{jk} \to T_{jk} \to \Sigma_{jk} \to P_{jk}; \\ &j = 1,2,...J;\ k = 1,2,...,K, \end{aligned} \tag{1}$$

де $Ц_c$ - системна ціль: забезпечення оптимальних експлуатаційних властивостей КДО автомобільних доріг;

$Ц_{jk}$ - множина локальних цілей, що випливають із $Ц_c$;

F_{jk} - множина функцій, які необхідно реалізувати для досягнення $Ц_{jk}$;

$З_{jk}$ - множина задач, які необхідно поставити і вирішити для реалізації F_{jk};

M_{jk} - множина методів вирішення $З_{jk}$;

T_{jk} - множина технологій (способів) вирішення $З_{jk}$;

Σ_{jk} - множина систем (підсистем), що реалізує $З_{jk}$;

P_{jk} - результати функціонування систем (підсистем) Σ_{jk}.

Процеси, що забезпечують оптимальні експлуатаційні властивості КДО визначаються складом та структурою цілей які формуються з врахуванням технологічних та організаційних зв'язків з зовнішнім середовищем. Цільовий рівень $Ц_c$, що підлягає розгляду, можна представити у вигляді [4, 5]:

$$Ц_c = Ц_{jk}(E_{jk}, H_{jk}, G_{jk});\ j = 1,2,..., J;\ k = 1,2,..., K, \tag{2}$$

де $Ц_{jk}$ - локальні цілі, що забезпечують економічність КДО;

H_{jk} - локальні цілі, що пов'язані із забезпеченням надійності КДО;

G_{jk} - локальні цілі, що визначають вплив на навколишнє середовище.

Системну модель, що визначає множину функцій, які необхідно реалізувати для забезпечення оптимальних експлуатаційних властивостей КДО у загальному вигляді можна записати [6, 7]:

$$F_{jk} = F_{jk}(F_{1k} + F_{2k} + ... + F_{jk});\ j = 1,2,...,J;\ k = 1,2,...,K, \tag{3}$$

де F_{jk} - математичні моделі вдосконалення окремих процесів, що впливають на експлуатаційні властивості КДО.

Моделі вдосконалення окремих параметрів, що впливають на економічність, надійність і екологічність можуть бути задані на множині задач $З_{jk}$, розв'язання яких у системній єдності на основі застосування сучасних інформаційних технологій забезпечують досягнення оптимальних кінцевих результатів і можуть бути представлені у вигляді:

$$F_{jk} = f(З_{jk}); j = 1,2,...,J; k = 1,2,...,K, \quad (4)$$

де $З_{jk}$ - множина задач, які необхідно розв'язати для вдосконалення окремих функцій даного цільового рівня.

Логічна структура множини задач $З_{jk}$ формується окремо для кожного цільового рівня з врахуванням його специфіки. Тобто, локальні цільові рівні $Ц_{jk}$ вдосконалення окремих процесів, що впливають на системні властивості КДО, описуються множиною задач, які необхідно розв'язати на даному рівні:

$$Ц_{jk} \to З_{jk}\{з_{jk} : з_{jk} \in З_{jk};\ j = 1,2,..., J; k = 1,2,..., K\}, \quad (5)$$

В табл. 1 наведені показники, що впливають на цільові рівні, які визначають структуру задач оптимізації експлуатаційних властивостей КДО.

Логічна структура задач, що входять до складу системної моделі забезпечення оптимальних експлуатаційних властивостей КДО будується поетапно, з врахуванням локальних цілей $Ц_{jk}$ та кінцевих результатів P_{jk}, діяльності дорожніх організацій $Σ_{jk}$, що реалізує їх (табл. 1).

При цьому для кожного цільового рівня визначаються оптимальні системні критерії, методи (способи) розв'язання задач та технічні засоби їх реалізації.

Системний критерій S_c забезпечення оптимальних експлуатаційних властивостей КДО формується на основі мінімізації експлуатаційних витрат E_{jk}-> *min*, максимізації рівня надійності КДО H_{jk} -> *max* та мінімізації шкідливого впливу на навколишнє середовище G_{jk} -> *min* і може бути представлений за допомогою виразу:

$$S_c = min\ E_{jk}, \Lambda\ max\ H_{jk}\ \Lambda\ min\ G_{jk},. \quad (6)$$

Структурна схема ієрархічної будови моделі забезпечення оптимальних системних властивостей КДО в процесі експлуатації показана на рис. 6. Можливі також інші, більш узагальнені системні критерії, в залежності від конкретних проблем галузі. Які вирішуються на даному етапі розвитку.

Таблиця 1 - Показники, що впливають на системні властивості КДО

Системні цільові (локальні) рівні $Ц_{jk}$	Множина функцій F_{jk}, які забезпечують необхідний рівень $Ц_{jk}$	Показники, які характеризують $Р_{дjk}$.
Економічність та безпека руху	Продуктивність автотранспортних засобів (АТЗ)	- собівартість перевезень; - рентабельність; - прибуток; - доходи; - швидкість руху; - втрати від ДТП
	Продуктивність ТО і ремонту АТЗ	- простої АТЗ в ТО і ремонті; - рівень запасів обмінного фонду; - рівень відновлення запасних частин
	Дорожні витрати	- втрати часу при ремонтах КДО; - витрати матеріалів, трудових та енергетичних ресурсів; - вартість утримання та ремонтів.
Надійність	Безвідмовність КДО	- імовірність безвідмовної роботи; - інтенсивність відмовлень для шарів конструкції, що підлягають відновленню; - інтенсивність відмовлень для шарів КДО, що не підлягають відновленню.
	Довговічність КДО	- середній ресурс (кількість циклів до руйнування при проїзді стандартних осей) - середній термін служби (роки); - імовірність досягнення граничного стану за трьома критеріями міцності; - залишковий ресурс.
	Ремонтопридатність	- середня тривалість і трудомісткість утримання та ремонтів; - технологічність виконання ремонтів при посиленні та реконструкції.
	Збережуваність	- строк зберігаємості матеріалів, призначених для будівництва та ремонту
Екологічність	Соціальна екологічність	- рівень охорони праці; - рівень автоматизації; - рівень комфортабельності руху.
	Екологія навколишнього середовища	- токсичність; - кількість шкідливих викидів; - зміна екосистем внаслідок будівництва та ремонту автодоріг.

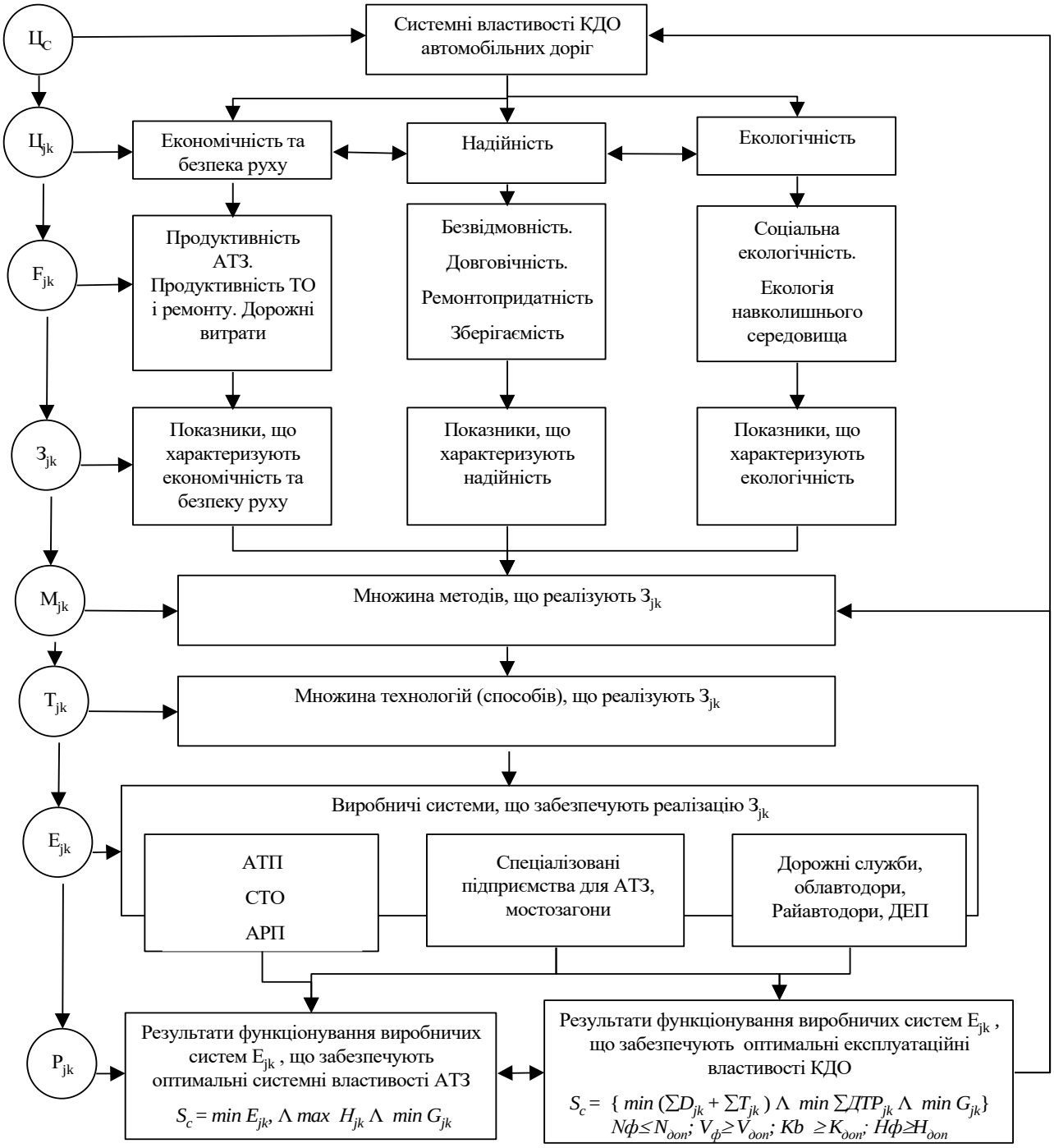


Рисунок 6 - Структурна схема ієрархічної будови системної моделі забезпечення оптимальних експлуатаційних властивостей КДО

Наприклад, найбільш узагальненим є критерій мінімуму приведених дорожніх і транспортних витрат

$$S_c = \{ min\ (\sum D_{jk} + \sum T_{jk}\ )\ \Lambda\ min \sum ДТР_{jk}\ \Lambda\ min\ G_{jk}\}, \qquad (7)$$

при граничних умовах: $N\phi \le N_{доп}; V_\phi \ge V_{доп}; Kb\ \ge K_{доп}; H\phi \ge H_{доп}$.

де $\sum D_{jk}$ та $\sum T_{jk}$ – відповідно, сумарні приведені дорожні та транспортні витрати; $\sum ДТР_{jk}$, - втрати від дорожньо-транспортних пригод; $\sum G_{jk}$ – сумарні затрати на відновлення збитків від негативного впливу на навколишнє середовище (викиди шкідливих речовин, загазованість, рівень шуму, екологічні впливи на тваринний та рослинний світ і т.п.); :$N_ф$ - фактична інтенсивність руху, $N_{доп}$ – пропускна здатність дороги при швидкості руху потоку автомобілів $V_{доп}$; $V_ф$ – середня швидкість руху транспортного потоку; $V_{доп}$ – допустима швидкість руху транспортного потоку; K_b – коефіцієнт безпеки руху; $K_{доп}$ – задане мінімальне значення коефіцієнта безпеки руху; $H_ф$ – фактичний рівень надійності КДО; $H_{доп}$ – допустимий рівень надійності КДО.

Виходячи із актуальності питання забезпечення оптимальних експлуатаційних властивостей КДО, викладений у роботі системний підхід передбачає прийняття управлінських рішень з максимальним охопленням всіх взаємозв'язків виробничих процесів, що впливають на системні властивості КДО та дослідження наслідків тієї чи іншої альтернативи. Дослідження виробничих процесів у системній єдності дозволяє забезпечити раціональне використання трудових, матеріальних, паливно-енергетичних та фінансових ресурсів, високу якість виконання робіт по утриманню та ремонту КДО автомобільних доріг.

Висновки

Таким чином, існує необхідність в розробці методики розрахунку надійності конструкції дорожнього одягу з врахуванням якості вихідних матеріалів та конкретних умов будівництва та використання даного підходу для прогнозування поведінки дорожньо-будівельних матеріалів в експлуатації. Також важливо мати методику розрахунку зниження довговічності та матеріальних втрат від неякісного влаштування асфальтобетонних шарів.

Розроблена топологічна схема аналізу та забезпечення надійності КДО і деталізація її сукупностей дозволяють виділити найбільше істотні чинники, що впливають, як на транспортно-експлуатаційні показники дорожнього покриття так і в такий спосіб окреслити коло необхідних теоретичних і експериментальних досліджень.

Література

1. Математическая теория оптимальних процессов /Понтрягин А.С., Болтянский В. Г, Гамкрелидзе Р. В., Мищенко Е. Ф. М.: Наука, 1976. – 392 с.

2. Чумаченко Н.Т. Статистико-математические методы анализа в управлении производством США. М.: Статистика, 1973. - 164 с.

3. Тимченко А. А. Основи системного проектування та системного аналізу складних об'єктів: Підручник: У двох книгах. Книга 1. Основи САПР та системного проектування складних об'єктів. К.: Либідь, 2000. - 272 с.

4. Канарчук В.Є., Левковець П.Р., Левківський О. П. Морфологічний опис системної моделі забезпечення оптимальних властивостей автотранспортних засобів//Вісник ТАУ та Українського транспортного університету. - К.: ТАУ, УТУ - 2001. - № 5. - С. 22 - 25.

5. Бабков В.Ф., Андреев О.В., Замахаев М.С. Проектирование автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1971. - 400 с.

6. Бируля А.К., Говорущенко Н.Я., Ермакович Д.В. Эксплуатационные качества автомобильных дорог. М., Автотрансиздат, 1961. – 135 с.

7. Сильянов В.В. Транспортно эксплуатационные качества автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1984. – 287 с.

8. Болотин В.В., Новичков Ю.Н. Механика многослойных конструкций. – М.: Машиностроение, 1980. – 375 с.

9. Богданов В.В., Христофоров Е.И., Клоцунг Б.А. Эффективные малообъемные смесители. – Л.: Химия, 1989. – 224 с.

10. Берталанфи Л. Исследования по общей теории систем: Пер. с англ. – М.: Наука, 1969. – С. 23 - 82.

11. Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии: Топологический принцип формализации. – М.: Наука, 1979. – 394 с.

12. Гамеляк І. П. Основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одягу : дис... д-ра техн. наук: 05.22.11 / Національний транспортний ун-т. - К.: 2005. – 350 с.

Рецензенти:
Савенко В.Я., д-р тех. наук, Національний транспортний університет.
Марчук О.В., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

Reviewer:
Savenko V.Ya., Dr. Tech. Sci., National Transport University
Marchuk O.V., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **15.03.2017 р.**

УДК 539.3

Марчук О.В., д-р техн. наук, **Гнєдаш С.В.**, **Левківський С.А.**

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ТОВСТОСТІННИХ ОБОЛОНОК ПРИ ДІЇ ЛОКАЛЬНИХ ДОТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Анотація: Розглянуто два підходи до дослідження напружено-деформованого стану товстих циліндричних оболонок. Перший підхід засновано на розділенні циліндричної оболонки по товщині концентричними поверхнями на ряд складових циліндричних оболонок, достатньо тонких, щоб можна було нехтувати зміною їх кривизни по товщині. Для апроксимації шуканих функцій в плані і за товщиною використовують поліноми. Другий підхід засновано на розкладанні переміщень та напружень в плані кінцевого елемента в ряди Фур'є з коефіцієнтами, які є функціями поздовжньої координати оболонки. З використанням розглянутих підходів проведено аналіз напружено-деформованого стану оболонок під впливом локальних дотичних навантажень.
Ключові слова: локальні дотичні навантаження, напружено-деформований стан.

УДК 539.3

Марчук А.В., доктор техн. наук, **Гнедаш С.В., Левковский С.А.**

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ТОЛСТОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК ПРИ ДЕЙСТВИИ ЛОКАЛЬНЫХ КАСАТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

Аннотация: Рассмотрены два подхода к исследованию напряженно-деформированного состояния толстостенных цилиндрических оболочек. Первый подход основан на разделении цилиндрической оболочки по толщине концентрическими поверхностями на ряд составляющих цилиндрических оболочек, достаточно тонких, чтобы можно было пренебрегать изменением их кривизны по толщине. Для аппроксимации искомых функций в плане и по толщине используют полиномы. Второй подход основан на разложении перемещений и напряжений в плане конечного элемента в ряды Фурье с

коэффициентами, которые являются функциями продольной координаты оболочки. С использованием рассмотренных подходов проведен анализ напряженно-деформированного состояния оболочек под влиянием локальных касательных нагрузок.

Ключевые слова: локальные касательные нагрузки, напряжённо-деформированное состояние.

UDC 539.3

Marchuk O.V., Dr. Tech. Sci.**, Hniedash S.V., Levkivskyi S.A.**

THE STRESS-STRAIN STATE OF THICK-WALLED SHELLS UNDER THE ACTION OF LOCAL SHEAR LOADS

Abstract: Two approaches to the study of the stress-strain state of thick cylindrical shells are considered. The first approach is based on the separation of a cylindrical shell over the thickness by concentric surfaces into a number of constituent cylindrical shells that are thin enough to neglect the change in their thickness curvature. The polynomials are used to approximate the unknown functions in plan and in thickness. The second approach is based on the expansion of displacements and stresses in the plan of the finite element in Fourier series with coefficients that are functions of the longitudinal coordinate of the shell. With the use of the approaches considered, the stress-strain state of the shells was analyzed under the influence of local shear loads.

Keywords: local shearing stress load, stress-strain state.

Вступ

Перелік робіт по розрахунку циліндричних оболонок можна знайти в оглядах [1-3,5-9,12-15]. Робіт по розрахунку товстостінних оболонок великої кривизни з розміром площі навантаження сумірної з товщиною оболонки мало. Розраховувати такого типу оболонки дозволяють підходи, розроблені в [1,2].

В даній статті на основі підходів, розроблених авторами, проаналізовано напружено-деформований стан товстостінних анізотропних оболонок великої кривизни в умовах осесиметричного згинання при дії локальних дотичних навантажень.

1 Методика кінцевих елементів на основі поліноміальної апроксимації (П1)

Використовуємо відому апроксимацію шуканих переміщень за товщиною оболонки [4,10] :

$$U_x^{(k)}(x,r)=U_{xl}^{(k)}(x)\,f_l^{(k)}(r)+\frac{\partial}{\partial x}W_p^{(k)}(x)\varphi_p^{(k)}(r);$$

$$U_\theta^{(k)}(x,r)=U_{\theta l}^{(k)}(x)\,f_l^{(k)}(r);$$

$$U_r^{(k)}(x,r)=W_p^{(k)}(x)\beta_p^{(k)}(r),\quad (l=1,2;\quad p=1,2,3). \qquad (1)$$

Тут $U_{x1}^{(k)}(x),\ U_{x2}^{(k)}(x)$ – тангенціальні переміщення на лицевих поверхнях конструкції; $U_{\theta 1}^{(k)}(x),\ U_{\theta 2}^{(k)}(x)$ – колові переміщення на лицевих поверхнях конструкції; $W_1^{(k)},\ W_2^{(k)}$ – нормальні переміщення на лицевих поверхнях конструкції, $W_3^{(k)}$ – функція зсуву; $f_1^{(k)}(r),\ f_2^{(k)}(r),\ \beta_1^{(k)}(r)$, $\beta_2^{(k)}(r)$ – задані поліноми першого ступеня; $\varphi_1^{(k)}(r),\ \varphi_2^{(k)}(r), \beta_3^{(k)}(r)$ – другого ступеня; $\varphi_3^{(k)}(r)$ – третього ступеня.

Для апроксимації шуканих функцій в плані конструкції вводимо подання лінійними і кубічними поліномами.

$$U_{xl}^{(k)}(x)=U_{xl1}^{(k)}\,f_{u1}(x)+U_{xl2}^{(k)}\,f_{u2}(x);$$

$$U_{\theta l}^{(k)}(x)=U_{\theta l1}^{(k)}\,f_{u1}(x)+U_{\theta l2}^{(k)}\,f_{u2}(x);$$

$$W_p^{(k)}(x)=W_{p1}^{(k)}\,f_{w1}(x)+\alpha_{p1}^{(k)}\,f_{w2}(x)+W_{p2}^{(k)}\,f_{w3}(x)+\alpha_{p2}^{(k)}\,f_{w4}(x), \qquad (2)$$

де $f_{u1}(x)=1-x/a;\ f_{u2}(x)=x/a;$

$$f_{w1}(x)=\frac{2x^3-2ax^2+a^3}{a^3};\ f_{w2}(x)=\frac{x^3-2ax^2+a^2x}{a^2};$$

$$f_{w3}(x)=\frac{-2x^3+3ax^2}{a^3};\ f_{w4}(x)=\frac{x^3-ax^2}{a^2};$$

a – довжина кінцевого елементу.

Рівняння рівноваги кінцевого елемента отримуємо на основі варіаційного рівняння Лагранжа.

З урахуванням введеної апроксимації вони приймають такий вигляд:

$$\int_0^a \{[(D11_{\bar{l}l}^{(k)} \frac{\partial f_{us}(x)}{\partial x} \frac{\partial f_{u\bar{s}}(x)}{\partial x} + (T11_{\bar{l}l}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} T21_{\bar{l}l}^{(k)}) f_{us}(x) f_{u\bar{s}}(x)) U_{xls}^{(k)} +$$

$$+ (((D12_{\bar{l}p}^{(k)} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + D13_{\bar{l}p}^{(k)} \frac{1}{r^{(k)}} + D14_{\bar{l}p}^{(k)}) f_{wc}(x)) \frac{\partial f_{u\bar{s}}(x)}{\partial x} + (T12_{\bar{l}p}^{(k)} +$$

$$+ \frac{1}{r^{(k)}} T22_{\bar{l}p}^{(k)}) \frac{\partial f_{wc}(x)}{\partial x} f_{u\bar{s}}(x)) \overline{W}_{pc}^{(k)} + (D15_{\bar{l}l}^{(k)} \frac{\partial f_{us}(x)}{\partial x} \frac{\partial f_{u\bar{s}}(x)}{\partial x} + (T13_{\bar{l}l}^{(k)} +$$

$$+ \frac{1}{r^{(k)}} T23_{\bar{l}l}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)^2}} T14_{\bar{l}l}^{(k)}) f_{us}(x) f_{u\bar{s}}(x)) U_{\theta ls}^{(k)} - q_{x\bar{l}}^{(k)}(x) f_{u\bar{s}}(x)] \delta U_{x\bar{l}\bar{s}}^{(k)} +$$

$$+ [(D21_{\bar{p}l}^{(k)} \frac{\partial f_{us}(x)}{\partial x} \frac{\partial^2 f_{w\bar{c}}(x)}{\partial x^2} + (D31_{\bar{p}l}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} D41_{\bar{p}l}^{(k)}) \frac{\partial f_{us}(x)}{\partial x} f_{w\bar{c}}(x) +$$

$$+ (T31_{\bar{p}l}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} T41_{\bar{p}l}^{(k)}) f_{us}(x) \frac{\partial f_{w\bar{c}}(x)}{\partial x}) U_{xls}^{(k)} + (((D22_{\bar{p}p}^{(k)} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + D23_{\bar{p}p}^{(k)} \frac{1}{r^{(k)}} +$$

$$+ D24_{\bar{p}p}^{(k)}) f_{wc}(x)) \frac{\partial^2 f_{w\bar{c}}(x)}{\partial x^2} + ((D32_{\bar{p}p}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} D42_{\bar{p}p}^{(k)}) \frac{\partial^2}{\partial x^2} + (D33_{\bar{p}p}^{(k)} \frac{1}{r^{(k)}} +$$

$$+ D43_{\bar{p}p}^{(k)} \frac{1}{r^{(k)^2}}) + (D34_{\bar{p}p}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} D44_{\bar{p}p}^{(k)})) f_{wc}(x)) f_{w\bar{c}}(x) + (T32_{\bar{p}p}^{(k)} +$$

$$+ \frac{1}{r^{(k)}} T42_{\bar{p}p}^{(k)}) \frac{\partial f_{wc}(x)}{\partial x} \frac{\partial f_{w\bar{c}}(x)}{\partial x}) \overline{W}_{pc}^{(k)} + [(D25_{\bar{p}l}^{(k)} \frac{\partial f_{us}(x)}{\partial x} \frac{\partial^2 f_{w\bar{c}}(x)}{\partial x^2} +$$

$$+ (D35_{\bar{p}l}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} D45_{\bar{p}l}^{(k)}) \frac{\partial f_{us}(x)}{\partial x} f_{w\bar{c}}(x) + (T33_{\bar{p}l}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} T43_{\bar{p}l}^{(k)} +$$

$$+ \frac{1}{r^{(k)^2}} T44_{\bar{p}l}^{(k)}) f_{us}(x) \frac{\partial f_{w\bar{c}}(x)}{\partial x}) U_{\theta ls}^{(k)} - q_{r\bar{p}}^{(k)}(x) f_{w\bar{c}}(x)] \delta \overline{W}_{\bar{p}\bar{c}}^{(k)}$$

$$[(D51_{\bar{l}l}^{(k)} \frac{\partial f_{us}(x)}{\partial x} \frac{\partial f_{u\bar{s}}(x)}{\partial x} + (T51_{\bar{l}l}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} T61_{\bar{l}l}^{(k)}) f_{us}(x) f_{u\bar{s}}(x)) U_{xls}^{(k)} +$$

$$+ (((D52_{\bar{l}p}^{(k)} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + D53_{\bar{l}p}^{(k)} \frac{1}{r^{(k)}} + D54_{\bar{l}p}^{(k)}) f_{wc}(x)) \frac{\partial f_{u\bar{s}}(x)}{\partial x} + (T52_{\bar{l}p}^{(k)} +$$

$$+\frac{1}{r^{(k)}}T62_{\bar{l}p}^{(k)})\frac{\partial f_{wc}(x)}{\partial x}f_{u\bar{s}}(x))\overline{W}_{pc}^{(k)}+(D55_{\bar{l}l}^{(k)}\frac{\partial f_{us}(x)}{\partial x}\frac{\partial f_{u\bar{s}}(x)}{\partial x}+(T53_{\bar{l}l}^{(k)}+$$

$$+\frac{1}{r^{(k)}}T53_{\bar{l}l}^{(k)}+\frac{1}{r^{(k)2}}T54_{\bar{l}l}^{(k)})f_{us}(x)f_{u\bar{s}}(x))U_{\theta ls}^{(k)}-$$

$$-q_{\theta\bar{l}}^{(k)}(x)f_{u\bar{s}}(x)]\delta U_{\theta\bar{l}\bar{s}}^{(k)}\}dx=0. \qquad (3)$$

Тут $\overline{W}_{p1}^{(k)}=W_{p1}^{(k)};\ \overline{W}_{p2}^{(k)}=\alpha_{p1}^{(k)};\ \overline{W}_{p3}^{(k)}=W_{p2}^{(k)};\ \overline{W}_{p4}^{(k)}=\alpha_{p2}^{(k)}.$

2 Напіваналітичний метод кінцевих елементів (П2)

Введемо наступну апроксимацію шуканих функцій переміщень і напружень в плані кінцевого елемента [4,11]:

$$U_x^{(k)}(x,r)=\varphi_1(x)v_{x1}^{(k)}(r)+\varphi_2(x)v_{x2}^{(k)}(r);$$
$$U_\theta^{(k)}(x,r)=\varphi_1(x)v_{\theta1}^{(k)}(r)+\varphi_2(x)v_{\theta2}^{(k)}(r);$$
$$U_r^{(k)}(x,r)=\varphi_1(x)w_1^{(k)}(r)+\varphi_2(x)w_2^{(k)}(r);$$
$$\sigma_{xr}^{(k)}(x,r)=\varphi_1(x)\tau_{x1}^{(k)}(r)+\varphi_2(x)\tau_{x2}^{(k)}(r);$$
$$\sigma_{\theta r}^{(k)}(x,r)=\varphi_1(x)\tau_{\theta1}^{(k)}(r)+\varphi_2(x)\tau_{\theta2}^{(k)}(r);$$
$$\sigma_{rr}^{(k)}(x,r)=\varphi_1(x)\sigma_1^{(k)}(r)+\varphi_2(x)\sigma_2^{(k)}(r), \qquad (4)$$

де $\varphi_1(x)=1-\frac{x}{a};\quad \varphi_2(x)=\frac{x}{a};$

a – довжина кінцевого елементу;

$v_{xi}^{(k)}(r),\ v_{\theta i}^{(k)}(r),\ w_i^{(k)}(r),\ \tau_{xi}^{(k)}(r),\ \tau_{\theta i}^{(k)}(r),\ \sigma_i^{(k)}(r)$ – шукані функції розподілу переміщень і напружень в і-тому вузлі (координата x спрямована уздовж оболонки).

Роздільна система диференціальних рівнянь для шару з урахуванням кінематичних граничних умов на контурі оболонки для такої апроксимації має вигляд:

$$\left(\begin{bmatrix} 0 & -K_{01} & 0 & B_{55}^{(k)}K_{00} & 0 & B_{45}^{(k)}K_{00} \\ -B_{13}^{(k)}K_{01} & -\frac{1}{r^{(k)}}B_{23}^{(k)}K_{00} & -B_{36}^{(k)}K_{01} & 0 & B_{33}^{(k)}K_{00} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{r^{(k)}}K_{00} & B_{45}^{(k)}K_{00} & 0 & B_{44}^{(k)}K_{00} \\ B_{11}^{(k)}K_{11} & \frac{1}{r^{(k)}}B_{12}^{(k)}K_{10} & B_{16}^{(k)}K_{11} & -\frac{1}{r^{(k)}}K_{00} & B_{13}^{(k)}K_{10} & 0 \\ \frac{1}{r^{(k)}}B_{21}^{(k)}K_{01} & \frac{1}{(r^{(k)})^2}B_{21}^{(k)}K_{00} & \frac{1}{r^{(k)}}B_{26}^{(k)}K_{01} & K_{10} & \frac{1}{r^{(k)}}(B_{1r}^{(k)}-1)K_{00} & 0 \\ B_{16}^{(k)}K_{11} & \frac{1}{r^{(k)}}B_{26}^{(k)}K_{10} & B_{66}^{(k)}K_{11} & 0 & B_{36}^{(k)}K_{10} & -\frac{2}{r^{(k)}}K_{00} \end{bmatrix} - \right.$$

$$\left. - \begin{bmatrix} K_{00,r} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{00,r} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_{00,r} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_{00,r} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K_{00,r} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K_{00,r} \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} \{v_x^{(k)}(r)\} \\ \{v_\theta^{(k)}(r)\} \\ \{w^{(k)}(r)\} \\ \{\tau_x^{(k)}(r)\} \\ \{\tau_\theta^{(k)}(r)\} \\ \{\sigma^{(k)}(r)\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \qquad (5)$$

Тут K_{00} складена з урахуванням граничних умов на основі матриці

$$k_{00} = \begin{bmatrix} a/3 & a/6 \\ a/6 & a/3 \end{bmatrix};$$

K_{10} – на основі матриці $k_{10} = \begin{bmatrix} -1/2 & -1/2 \\ 1/2 & 1/2 \end{bmatrix}$;

K_{11} – на основі матриці $k_{11} = \begin{bmatrix} 1/a & -1/a \\ -1/a & 1/a \end{bmatrix}$;

$$\{v_{xi1}^{(k)}(r)\}^T = \{..., v_{xi1}^{(k)}(r), ...\}; \quad \{v_{\theta i2}^{(k)}(r)\}^T = \{..., v_{\theta i2}^{(k)}(r), ...\};$$

$$\{w_{i3}^{(k)}(r)\}^T = \{..., w_{i3}^{(k)}(r), ...\}; \quad \{\tau_{xi4}^{(k)}(r)\}^T = \{..., \tau_{xi4}^{(k)}(r), ...\};$$

$$\{\tau_{\theta i5}^{(k)}(r)\}^T = \{..., \tau_{\theta i5}^{(k)}(r), ...\}; \quad \{\sigma_{i6}^{(k)}(r)\}^T = \{..., \sigma_{i6}^{(k)}(r), ...\},$$

де i – номер точки, в якій визначаються шукані функції.

Вектор шуканих функцій може буть представлений наступним чином:

$$\begin{bmatrix} \{v_{xi1}^{(k)}\} \\ \{v_{\theta i2}^{(k)}\} \\ \{w_{i3}^{(k)}\} \\ \{\tau_{xi4}^{(k)}\} \\ \{\tau_{\theta i5}^{(k)}\} \\ \{\sigma_{i6}^{(k)}\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{i1}^{(k)}(1) & ,..., & \mu_{i1}^{(k)}(j) & ,..., & \mu_{i1}^{(k)}(J) \\ \mu_{i2}^{(k)}(1) & ,..., & \mu_{i2}^{(k)}(j) & ,..., & \mu_{i2}^{(k)}(J) \\ \mu_{i3}^{(k)}(1) & ,..., & \mu_{i3}^{(k)}(j) & ,..., & \mu_{i3}^{(k)}(J) \\ \mu_{i4}^{(k)}(1) & ,..., & \mu_{i4}^{(k)}(j) & ,..., & \mu_{i4}^{(k)}(J) \\ \mu_{i5}^{(k)}(1) & ,..., & \mu_{i5}^{(k)}(j) & ,..., & \mu_{i5}^{(k)}(J) \\ \mu_{i6}^{(k)}(1) & ,..., & \mu_{i6}^{(k)}(j) & ,..., & \mu_{i6}^{(k)}(J) \end{bmatrix} \left[C^{(k)}\right], \qquad (6)$$

де $\left[C^{(k)}\right]^T = \left[C_1^{(k)} e^{r\beta_1^{(k)}} \ ,...,C_j^{(k)} e^{r\beta_j^{(k)}} \ ,...,C_J^{(k)} e^{r\beta_J^{(k)}} \right]$;

$\beta_j^{(k)}$ – корені характеристичного рівняння розв'язної системи диференціальних рівнянь, які можуть бути комплексними;

$\mu_{i1}^{(k)}(j),\ \mu_{i2}^{(k)}(j),\ \mu_{i3}^{(k)}(j),\ \mu_{i4}^{(k)}(j),\ \mu_{i5}^{(k)}(j),\ \mu_{i6}^{(k)}(j)$ – її власні вектори;

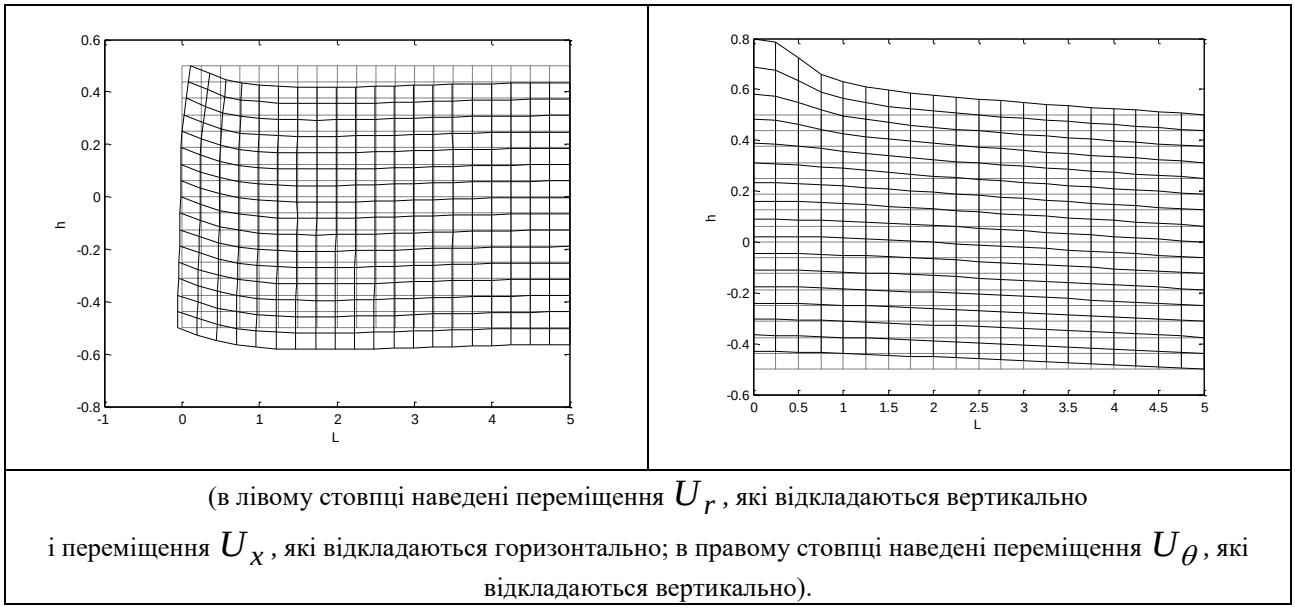
$C_j^{(k)}$ – постійні інтегрування, які визначаються з умов контакту шарів і умов на лицьових поверхнях в кожному вузлі сітки розбиття конструкції на кінцеві елементи;

J – загальна кількість шуканих функцій в шарі.

3 Приклади розрахунку

Розглянемо чотиришарову анізотропну оболонку з наступними фізико-механічними характеристиками: $E_x^{(1)} / E_\theta^{(1)} = 25/1$; $E_\theta^{(1)} = E_r^{(1)}$; $G_{x\theta}^{(1)} / E_r^{(1)} = 0{,}5/1$; $G_{\theta r}^{(1)} / E_r^{(1)} = 0{,}2/1$; $G_{xr}^{(1)} = G_{x\theta}^{(1)}$; $\nu_{x\theta}^{(1)} = \nu_{xr}^{(1)} = \nu_{\theta r}^{(1)} = 0{,}25$; $L/h = 10$; $h/R = 1/10$. Шари почергово повернуті на $45°$; $-45°$; $45°$; $-45°$. На торцях оболонки заборонені вертикальні переміщення $U_r = 0$. Розглядалася половина оболонки, яка ділилася на 100 елементів.

На рис. 1. показано характер деформування вищенаведеної оболонки при дії локального скручувального навантаження, яке прикладене на лівому та правому кінці оболонки на її зовнішній поверхні.



(в лівому стовпці наведені переміщення U_r, які відкладаються вертикально і переміщення U_x, які відкладаються горизонтально; в правому стовпці наведені переміщення U_θ, які відкладаються вертикально).

Рисунок 1 – Характер переміщень анізотропного циліндра при локальному крутному навантаженні

В таблиці 1 наведені результати розрахунку ($\bar{U}_r = U_r(L/2,z)E/q_{31}$; $\bar{\sigma}_{xx} = \sigma_{xx}(L\cdot 10/(2\cdot 100),z)/q_{31}$; $\bar{\sigma}_{\theta\theta} = \sigma_{\theta\theta}(L\cdot 10/(2\cdot 100),z)/q_{31}$; $\bar{\sigma}_{x\theta} = \sigma_{x\theta}(L\cdot 10/(2\cdot 100),z)/q_{31}$, z – на межах шарів).

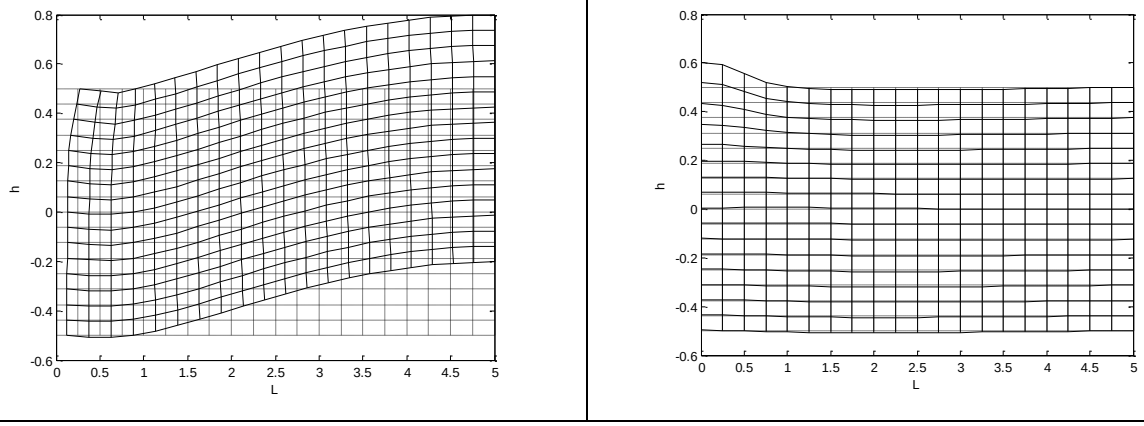
Таблиця 1 - Максимальні переміщення на межах шарів

Номер шару	$\bar{U}_r$		$\bar{\sigma}_{xx}$		$\bar{\sigma}_{\theta\theta}$		$\bar{\sigma}_{x\theta}$	
	П1	П2	П1	П2	П1	П2	П1	П2
1	-.2672 -.2675	-.2661 -.2665	.2309 -.1752	.2290 - .1751	.1230 -.2247	.1216 - .2244	.1194 -.2151	.1180 - .2145
2	-.2675 -.2687	-.2665 -.2677	.3150 .0683	.3136 .0683	.2655 .0361	.2644 .0364	-.3061 -.0800	-.3048 -.0805
3	-.2687 -.2687	-.2677 -.2676	-.2018 -1.439	-.2027 - 1.442	-.2339 -1.418	-.2346 -1.422	-.2066 -1.434	-.2074 -1.430
4	-.2687 -.2707	-.2676 -.2696	.5158 1.517	.5130 1.659	.5360 2.855	.5333 2.902	-.6505 -4.028	-.6474 -3.760

У даному випадку необхідна точність по тілу оболонки досягається при поділу кожного шару на чотири підшари, за виключенням точки на зовнішній поверхні при $x = L\cdot 10/(2\cdot 100)$, де закінчується навантаження. Саме там напружено-деформований стан досягає максимальної величини. Досягти

достатньої точності в цій точці при розрахунку по моделі П1 можна тільки при поділенні кожного шару на 256 підшарів.

На рис. 2 показаний характер деформування вищенаведеної оболонки при дії локального дотичного навантаження, яке прикладене на лівому та правому кінці оболонки на її зовнішній поверхні.



(в лівому стовпці наведені переміщення U_r, які відкладаються вертикально і переміщення U_x, які відкладаються горизонтально; в правому стовпці наведені переміщення U_θ, які відкладаються вертикально).

Рисунок 1 – Характер переміщень анізотропного циліндра при локальному дотичному навантаженні

В таблиці 2 наведені результати розрахунку ($\bar{U}_r = U_r(L/2,z)E/q_{31}$; $\bar{\sigma}_{xx} = \sigma_{xx}(L/2,z)/q_{31}$; $\bar{\sigma}_{\theta\theta} = \sigma_{\theta\theta}(L/2,z)/q_{31}$; $\bar{\sigma}_{x\theta} = \sigma_{x\theta}(L/2,z)/q_{31}$, z – на межах шарів)

Таблиця 2 - Максимальні переміщення на межах шарів

Номер шару	$\bar{U}_r$		$\bar{\sigma}_{xx}$		$\bar{\sigma}_{\theta\theta}$		$\bar{\sigma}_{x\theta}$	
	П1	П2	П1	П2	П1	П2	П1	П2
1	1.4518 1.4577	1.4532 1.4590	-.9088 -.6043	-.9099 - .6052	-.4831 -.2282	-.4836 -.2289	-.6143 -.3611	-.6149 -.3611
2	1.4577 1.4606	1.4590 1.4618	-.7973 -.5356	-.7989 - .5366	-.4212 -.1909	-.4225 -.1917	.5662 .3302	.5668 .3303
3	1.4606 1.4620	1.4618 1.4637	-.5101 -.2338	-.5105 - .2328	-.1654 .0805	-.1656 .0817	-.3031 -.0510	-.3026 -.0498
4	1.4620 1.4629	1.4637 1.4641	-.4663 -.1762	-.4659 - .1749	-.1520 .0867	-.1515 .0880	.2981 .0640	.2975 .0629

У даному випадку необхідна точність при розрахунку по моделі П1 у центрі оболонки (максимальні напруження) досягається при поділі кожного шару на чотири підшари.

Висновки

Обидва запропонованих підходи дозволяють розглядати товстостінні анізотропні оболонки, навантажені локальним дотичним навантаженням з достатнім степенем точності. Найбільш складним випадком є навантаження оболонки локальним дотичним скручувальним навантаженням. Для отримання достовірного результату під навантаженням, де напружений стан максимальний, при розрахунку на основі методу скінченних елементів необхідно кожний шар розбивати на 256 підшарів. Якщо локальне дотичне навантаження направлено вздовж твірної, максимальні напруження виникають у центрі оболонки і для такого випадку при розрахунку на основі методу скінченних елементів достатньо кожний шар розбити на чотири підшари. При розрахунку напіваналітичним методом скінченних елементів необхідності в розбитті шарів на підшари в розглянутих випадках не виникало.

Література

1. Григоренко Я.М., Василенко А.Т., Панкратова Н.Д. Задачи теории упругости неоднородных тел. – К.: Наукова думка,1991. – 216 с.

2. Григоренко Я.М., Влайков Г.Г., Григоренко А.Я. Численно-аналитическое решение задач механики оболочек на основе различных моделей. – К.:Академпериодика, 2006. – 472 с.

3. 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.

4. Марчук А.В., Рассказов О.О., Гнєдаш С.В., Левківський С.А. Анализ напружено-деформованого стану товстостінних анізотропніх циліндричних оболонок, схильних до локального впливу // Опір матеріалів та теорія споруд– Київ. – 2015. – Вип. 94. – С. 186-192.

5. Bakaiyan H., Hosseini H., and Ameri E. Analis of multi-layered filament-wound composite pipes under combined interal pressure and thermo-mechanical loading wich thermal variations // Compos. Struct. – 2009.– 88. – P. 532– 541.

6. Grigorenko, Ya.,M., Yaremchenko, S.,N.: Refined analysis of the stress state of orthotropic elliptic cylidrical shells with variable geometrical parameters // Int. Appl. Mech.- 2008.- 40,N9.- P. 998-1005.

7. Grigorenko, Ya.,M., Grigorenko, A.,Ya., Zakhariychenko, L.,I. : Study of effect of the geometrical parameters on the stress state of cylindrical shells with corrugated llipticcross-section // Int. Appl. Mech.-2009.- 43,N12.- P.1372-1379 .

8. Grigorenko Ya. M., Grigorenko A. Ya. Static and Dynamic Problems for Anisotropic Inhomogeneous Shells with Variable Parameters and Their Numerical Solution (Review) // Int. Appl. Mech.–2013.– 49,N2.– P.123-193.

9. Hosine A., Chapelle D., Baubakar M.L.,et al. Experimental and analytical investigation of the cylindsrical part of a metallic vessel reinforced by filament winding while submitted to internal pressure // Int. J. Press. Vess. Piping.– 2009.– 86.– P.649– 655.

10. Marchuk A.V., and Piskunov V.G. Statics, vibrations and stability of composite panels with gently curved orthorropic layers. 1. Statics and vibrations // Mechanics of Composite Materials..– 1999.–35,N4.–P.285–292.

11. Marchuk A.V., and Piskunov V.G. Calculation of layered structures by semianalytic method of finite elements // Mechanics of Composite Materials. – 1997.– 33,N6.–P.553-556.

12. Marchuk A.V., Il'chenko Ya. L.,and Gnedash S.V. Analyzing of the stress-strain state of thick cylindrical shells.// Int. Appl. Mech.–2011.– 47,N4.– P.449–455 .

13. Noor A.K., Burton W.S., and Peter J.M. Assessment of computational models for multilayered composite cylinders // Int. J. Solids Struct.– 1991.– 27.No.10.– P.1269-1286.

14. Sheng H.Y. and Ye J.Q. A three-dimensional state space finite element solution for laminated composite cylindrical shells // Comp. Methods Appl. Mech. Eng.– 2003.– 192.– P.2441-2459.

15. Shuvalov A.I. and Soldatos K.P. On the successive approximation method for three-dimension analysis of radially ingomogeneous tubes with an arbitrary cylindrical anisotropy // J. Sound Vibr.– 2003.– 259,No.1.– P.233.– 239.

Рецензенти:
Гамеляк І.П., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.
Снитко В.П. канд. нехн. наук. Національний транспортний університет.

Reviewers:
Gameliak I.P., Dr. Tech. Sci., National Transport University.
Snytko V. P., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **03.03.2017 р**.

УДК 656

Петрашевський О. Л., д-р техн. наук

ПРОПОЗИЦІЇ З УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕРМІНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМОЛОГІЇ (ЧАСТИНА 2)

Анотація. Продовжуємо публікувати варіант сучасної термінологічної системи транспортної термінології і хочемо отримати зауваження та пропозиції щодо змісту і визначень. У статті на базі складених теоретико-множинних моделей сформульовані 15 визначень термінів транспортної системології. Робота буде продовжена в напрямку відкритій пресі, так як написано понад 100 нових формулювань і визначень.
Ключові слова: системологія транспорту, доставка вантажу, сценарій доставки вантажу, процес доставки вантажу.

УДК 656

Петрашевский О.Л., д-р техн. наук

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМОЛОГИИ (ЧАСТЬ 2)

Аннотация. Продолжаем публиковать вариант современной терминологической системы транспортной терминологии и хотим получить замечания и предложения по содержанию и определениям. В статье на базе составленных теоретико-множественных моделей сформулированы 15 определений терминов транспортной системологии. Работа будет продолжена в направлении открытой печати, так как написано более 100 новых формулировок и определений.
Ключевые слова: системология транспорта, доставка груза, сценарий доставки груза, процесс доставки грузов

UDC 656

Petrashevskyi O. L., Dr. Tech. Sci.

SUGGESTIONS FOR IMPROVEMENT OF THE TERMINOLOGICAL OF THE SYSTEMOLOGY TRANSPORT SYSTEM (PART 2)

Abstract. We continue to publish a version of the modern terminology system of transport terminology and want to receive comments and suggestions on content and definitions. In the article on the basis of the set-theoretic models, 15 definitions of the terms of transport systemology are formulated. The work will continue in the direction of the open press, as more than 100 new formulations and definitions have been written.
Keywords: transport systemology, delivery of cargo (shipment), scenario of shipment, shipment

Постановка проблемы

Продолжим решение проблемы пересмотра уже работающей более 30 лет, терминологической системы транспортной системологии. Затруднительно это делать без моделей, описывающих основные аспекты рассматриваемых процессов, по крайней мере с точки зрения объектов и субъектов системы доставки, например, груза. В отличии от модели, разработанной, в свое время в МАДИ, а именно ее демонстрирует аббревиатура ВАДС (водитель-автомобиль-дорога-среда) [1], предлагается метамодель сценария доставки груза в виде теоретико-множественной модели (ТММ). Метамодель означает, она одинакова для разных видов транспорта, форма представления – отображение процесса П

$$П: Г \times О \times Т \times С \times У \times Д \times И \times В \rightarrow Ц \times В, \quad (1)$$

где: концепты (аргументы) отображения представляют собой множества, а именно: грузов Г, операторов транспортных средств О, транспортных средств Т, среды С, условий (других, возникающих чаще всего спонтанно) У, дороги Д, необходимой информации И, времени В и цели Ц.

Так, для автотранспортного процесса доставки грузов (ДГ) модель планируемого сценария (не зависит от времени) будет иметь следующий вид

$$P_2^{п}[D(C_3)]: C_3 \times R_2^{п} \times M_2^{п} \times E_2^{п} \times F_2^{п} \times W_1^{п} \times i_2 \rightarrow g, \quad (2)$$

где $P_2^{п}[D(C_3)]$ – ТММ планируемого сценария в обозначениях ДГ автотранспортом;

$D(C_3)$ – доставка груза C_3 по назначению, в соответствии с заявкой;

C_3 – груз, третий элемент лингвистического множества C {пассажиры – пассажиры с грузом – груз} = $\{C_1, C_2, C_3\}$, $C_3 \subset C$;

$R_2^п$ – водитель автомобиля, множество;

$M_2^п$ – множество планируемых к выполнению заявки автомашин;

$E_2^п$ – среда, в которой будет происходить движение, множество элементов;

$F_2^п$ – условия другие, обычно при планировании $F_2^п = \emptyset$, однако реальность «подбрасывает» события из которых не все приятные;

$W_1^п$ – множество автомобильных дорог, не всегда нормальных, но которые необходимо использовать для доставки грузов и выполнения заявки;

i_2 – информация, которая является неотъемлемой частью, строго говоря она открывается данными находящимися в заявке, затем дополняется при выполнении заявки, заканчивается информацией о сдаче груза по назначению и оформления сопроводительных документов;

g – цель, реализация сценария доставки груза по назначению.

Так что формула (2) должна быть дополнена строкой о переменных не являющихся множествами: $C_3(i_2) \in C_3$, $i_2(a) \in I_2(A)$, $a \in A$ – множество заявок, $g(i_2) \in G$.

Априорная ТММ реализации процесса ДГ (планируемая) автомобильным транспортом

$$RP_2^п[D(C_3)]: C_3 \times R_2^п \times M_2^п \times E_2^п \times F_2^п \times W_1^п \times i_2 \times T^п \rightarrow g \times T^п, \qquad (3)$$

где $T^п$ – множество планируемых интервалов времени за который можно выполнить заявку, а скорее уложиться «точно в срок».

Фактическая (апостериорная, финитная) ТММ реализуемого процесса доставки грузов C_3 автотранспортом не существует, она вырождается в два кортежа. Какая речь может идти о множествах после выполнении заявки. По суммарной информации $i_{2\Sigma}$ можно получить практически любые данные, например, номер гос. регистрации автомашины, как работала тормозная система автомобиля и многое другое. Если сделать семантический анализ формул (2) и (3), то получим вывод о необходимости дать определение концептам, с учетом того, что термин «заявка» на ДГ определена в 1-й статье. Для того, чтобы соблюсти преемственность материала номера определений будут сквозные.

Определение 8. Груз, предназначенный для доставки $(Г, C_3)$ – материальная субстанция товарного характера, находящаяся в едином количестве или в партии, имеющая технико-экономические характеристики и подлежащая доставке клиенту в соответствии с исходными данными, содержащимися в заявке на доставку.

Определение 9. Оператор транспортного средства (О, $R_2^{П}$) – индивидуум, профессионал в области физического управления транспортным средством определенного типа, находящийся в психофизиологической форме, позволяющей ему выполнять поставленные задачи и достигать цели.

В качестве оператора транспортного средства выступают – пилот воздушного судна, водитель, машинист поезда, рулевой морского или речного судна. Это может быть профессионал или любитель, но обладающий соответствующими разрешительными документами.

Определение 10. Транспортное средство (Т, $M_2^{П}$) – гибридное (механоэлектронное устройство), предназначенное для перемещения в пространстве с возможностью безопасно выполнять работу по перевозке пассажиров, грузов и управляемое оператором.

Определение 11. Среда, окружающая транспортное средство (С, $E_2^{П}$) – техногенно-экологические и природные условия, позитивно или негативно влияющие на транспортное средство, оператора, пассажиров и груз.

Определение 12. Дороги (Д, $W_1^{П}$) – обобщенное название автомобильных дорог и железнодорожных путей сообщения, воздушных трасс, морских и речных маршрутов по которым движется транспортное средство, доставляющее пассажиров и груз.

Определение 13. Информация (И, i_2) – данные, начиная с информации содержащейся в заявке, которые необходимы для безопасного достижения цели – доставки пассажиров и грузов в пункт назначения, а также для формирования отчетной документации.

Определение 14. Цель (Ц, g) – доставка груза (в этом примере) по назначению, из пункта А в пункт В.

Если используется при этом один вид транспорта, то $g(i_2) \in G_2$ системная цель и при достижении ее однозначно процесс ДГ завершен. Если используются два и более вида транспорта, то каждый вид имеет свою подцель $g_j \subseteq g$.

Как уже отмечалось финитный сценарий $P_2^{Ф}[D(C_3)]$ и реализация процесса ДГ C_3 $RP_2^{Ф}[D(C_3)]$ выглядят как соответствие 2-х пар кортежей. Для $RP_2^{Ф}[D(C_3)]$ это:

$$RP_2^{Ф} \equiv < C_3, r_{2j}, m_{2k}, e_{2s}, f_{2q}, w_{2n}, i_{2\Sigma}, t^{Ф} > \equiv < g, t^{Ф} >, \quad (4)$$

где $r_{2j} \in R_2^{П}$, $m_{2k} \in M_2^{П}$, $e_{2s} \in E_2^{П}$, $f_{2q} \in F_2^{П}$, $w_{2n} \in W_2^{П}$, $t^{Ф} \in T^{П}$.

При ручном составлении сценария $P_2^{П}$ и планируемой реализации процесса ДГ $RP_2^{П}$ данные, элементы кортежей (4) практически не используются, так как все равно планирование осуществляется эвристическим методом, исходя из личного опыта и знания. Скорее, планирующий сотрудник вообще не опускается на уровень сценария, а сразу приступает к $RP_2^{П}[D(C_3)]$, рис.1. Другое дело, если эту работу выполняет экспертная система (ЭС) [2, 3]. Но при этом ставится условие наличия мониторинга, в часности по выделенным, путем анализа планируемого сценария, контрольно-временным точкам по методу ее автора канд., техн. наук, доц. Кириченко А.Н. [4]. Подобная структура показана на рис.2.

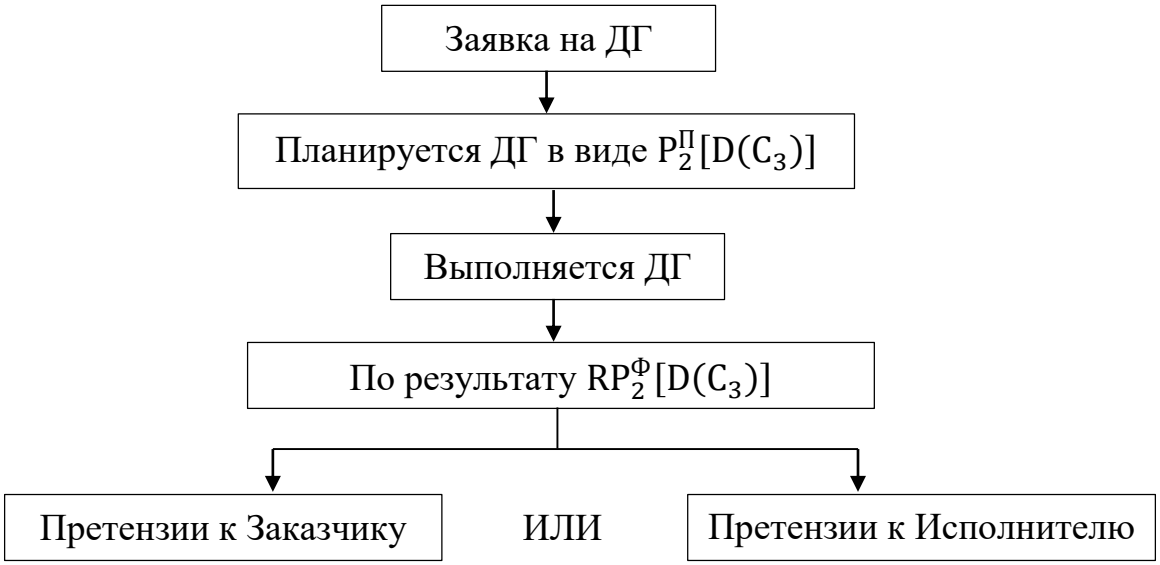


Рисунок 1 - Ручное планирование ДГ/без мониторинга на основе КВТ

Проведем некоторую конкретизацию, чтобы затем выйти на планируемый сценарий, в первую очередь относительно доставляемого груза. Некоторые параметры груза (партии) определяются заявкой, это должно быть:

- наименование груза (тип, номенклатура);
- вес, габариты;
- категория груза по опасности и сохранности;

- форма упаковки груза (ящик, бочка, тара).
- и т д.

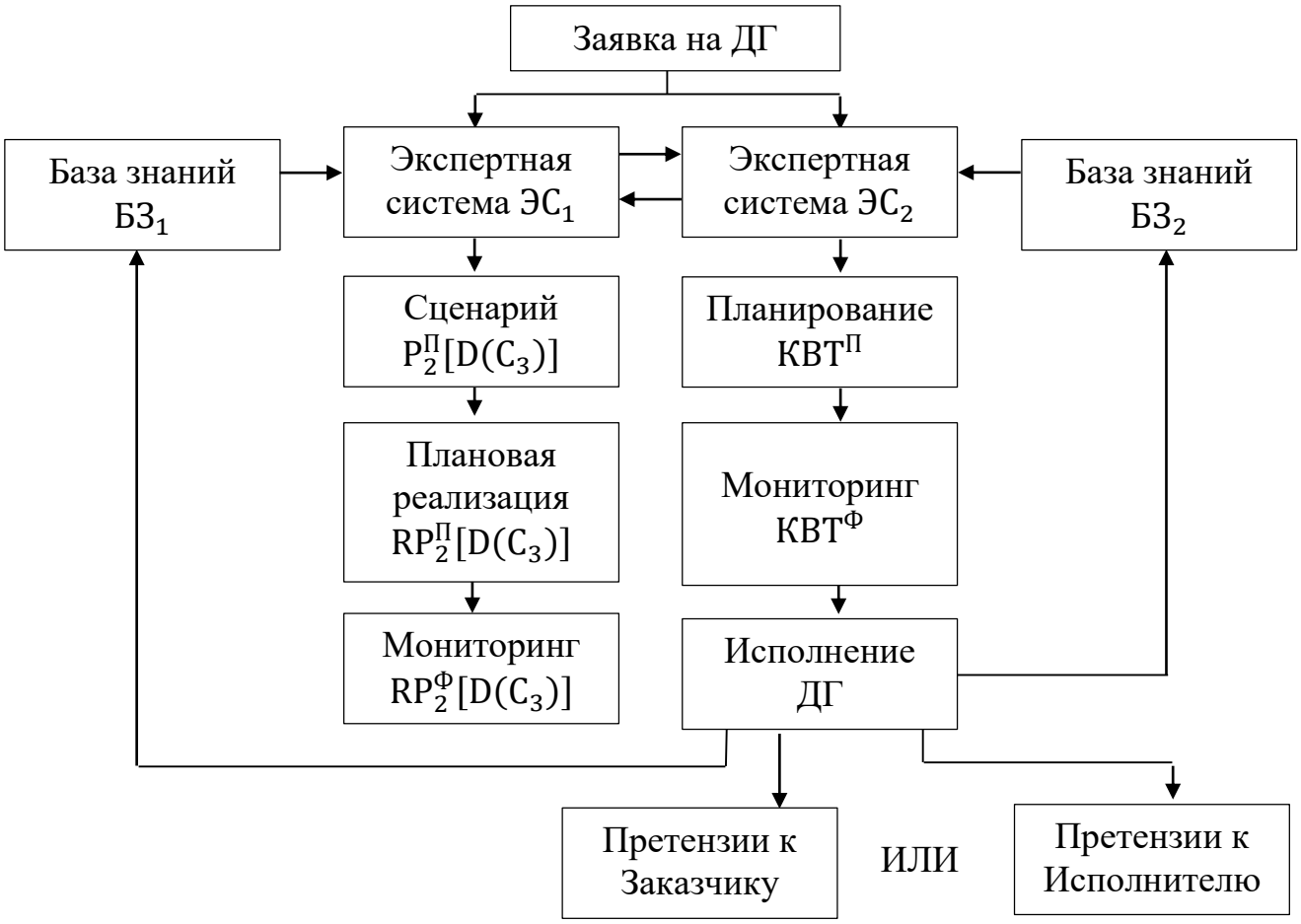


Рисунок 2 - Планирование, выполнение и мониторинг процесса ДГ и КВТ на основе интеллектуального информационного обеспечения (экспертных систем)

Некоторые характеристики груза могут проявится при осмотре на месте погрузки на автомобиль:

- тара (сохранность);
- состояние груза;
- совместимость с другим грузом;
- возможность усушки, утруски и т.д.

Водитель автомобиля, уже прошедший все необходимые допусковые процедуры, снабжённый путевыми документами и документами на груз, как правило, присутствует при погрузке, которая иногда занимает достаточно длительное время. Автомобильные компании обладают штатом опытных водителей.

Автомобиль должен быть подготовлен к выполнению соответствующей заявки, то есть технически проверен, заправлен топливом, и, основное, должен

соответствовать заявке по доставке груза. Этот аспект вызван тем, что обычно к месту погрузки приходится ехать иногда преодолевая значительное расстояние.

Среда $E_2^{П}$ влияет самым существенным образом на выполнение заявки. Снег, гололед, туман, ливень и тп. факторы не очень способствующие успешному выполнению заявки. Однако, надо ехать, но предварительно следует ознакомится с прогнозом погоды по дорогам.

Условия, априори редко проявляются, поэтому обычно, $\Phi_2^{П} = \emptyset$, но конкретно об этом будет ясно только по итоговой информации $i_{2\Sigma}$. Никто не хочет попадать в дорожно-транспортные происшествия, а они все же случаются и на автомобильном транспорте не так уж и редко. С точки зрения сегодняшнего дня следует стандартизировать транспортные происшествия и классифицировать их одинаково для разных типов транспорта. По мнению автора, это множество состоящее из четырех семантических элементов {инцидент, серьезный инцидент, авария, тяжелая авария} = {Iн, CIн, A, TA}. Никаких там катастроф, катастрофические могут быть последствия. А они такие:

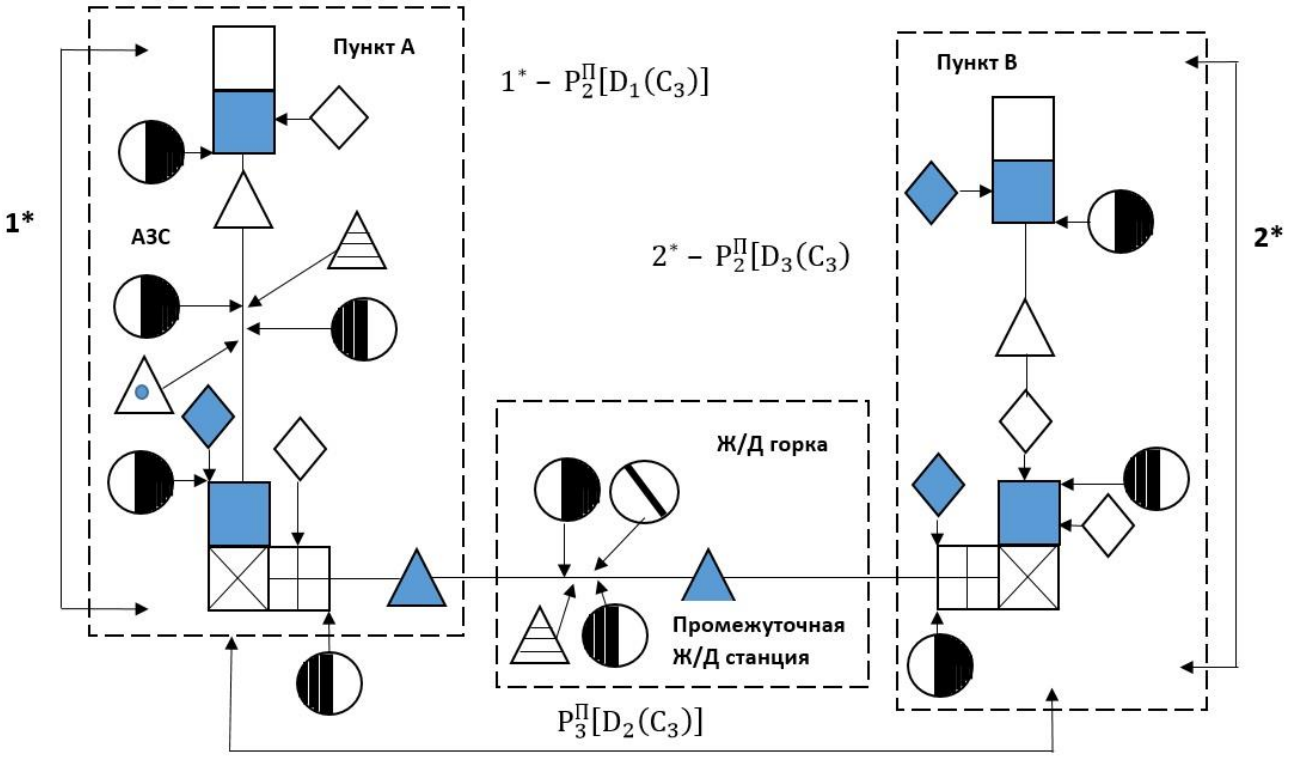
- планетарная катастрофа;
- межконтинентальная катастрофа;
- континентальная катастрофа;
- региональная катастрофа;
- местная катастрофа;
- личностная катастрофа.

Сделаем попытку в третьей части роботы дать определение указанным транспортным происшествиям, причем связанные с рисками в том числе.

Предварительный анализ информации, содержащийся в заявке, показал, что сценарий доставки груза $D(C_3)$ состоит из трех сегментов:

- 1-й сегмент $D_1(C_3) \rightarrow$ «предприятие-изготовитель (склад поставщика груза) – автомобиль – товарная станция железной дороги пункта А»;
- 2-й сегмент $D_2(C_3) \rightarrow$ «товарная станция железной дороги пункта А – поезд – товарная станция железной дороги пункта В»;
- 3-й сегмент $D_2(C_3) \rightarrow$ «товарная станция железной дороги пункта В – автомобиль – предприятие-потребитель (склад получателя груза)».

Схема-аналог сценария показана на рис.3. В процессе синтеза структурно-функциональных схем ДГ появилось несколько терминов. Дадим им определение.



склад поставщика/склад получателя

начало движения ТС

погрузка груза

автомобиль

поезд

конец движения ТС

заправка автомобиля

выгрузка груза

дорожно-транспортное происшествие

движение автомобиля с грузом

груз в состоянии ожидания

товарная станция железной дороги

движение поезда с грузом

Переоформление поезда (горка)

Рисунок 3 - Схема-аналог сегментов сценария доставки груза

Определение 15. Сегмент сценария $\mathrm{Seg_m}\left\{P_i^п\left[D_j(C_к)\right]\right\}$, $m = \overline{2,3}$; $i = \overline{1,6}$; $j = \overline{1,N}$ (в примере N=3); $k = \overline{1,3}$ – часть сценария ДГ, который выполняется одним видом транспорта без перевалки груза, замены транспортного средства или его оператора.

Определение 16. Этап сегмента сценария $\mathrm{Et_n}\left\{\mathrm{Seg_m}\left\{P_i^п\left[D_j(C_к)\right]\right\}\right\}$ – часть сегмента который выполняется одним непрерывным движением транспорта или состоит из конкретных специальных операций.

На рис. 3 это расстояние которое проехал автомобиль в сегменте $\mathrm{Seg}_1\{\mathrm{P}_2^{\text{п}}[\mathrm{D}_1(\mathrm{C}_3)]\}$, сценария $\mathrm{P}_2^{\text{п}}[\mathrm{D}_1(\mathrm{C}_3)]$ от склада поставщика груза до автоматизированной заправочной станции (АЗС). Следующий этап – это движение от АЗС до товарной станции железной дороги. Второй сегмент тоже имеет 2 этапа. У третьего был запланирован один этап, но фактически получились тоже два этапа из-за ДТП в которой попала автомашина в пункте В, рис. 4. Об этом дала данные полная информация $\mathrm{i}_{2\Sigma}$, но уже после доставки груза.

Определение 17. Событием процесса ДГ Sв – называется действие(причина) планового и непланового характера, проявления которой приводит к смене состояния одного или многих объектов и субъектов процесса (следствие).

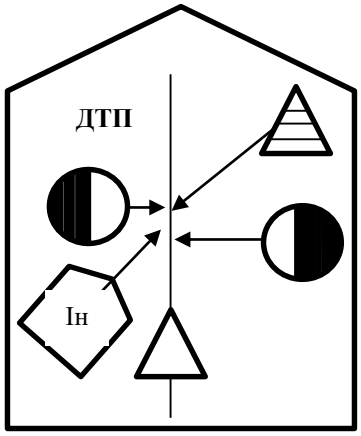


Рисунок 4 - В пункте В автомобиль попал в ДТП

Определение 18. Состояние груза St(C) (следствие) – определяется наступившим событием (причина), которое меняет пространственно-временную характеристику груза.

Определение 19. Состояние транспортного средства St(T) (следствие) – определяется наступившим событием (причина), которая меняет пространственно-временную характеристику транспортного средства.

Определение 20. Объектом ПДГ могут бить: поезд, автомашина, морское, речное судно, воздушное судно и др.; грузовой контейнер; единица груза в индивидуальной упаковке (в партии, таре) и т.п. Так как объект являет собой формой единой, неделимой, точечной субстанцией, то объектами могут быть и склад грузовой станции; припортовая железнодорожная колея; приграничный переход; приемник GPS/ГЛОНАСС/GALILEO и др. Рамки объекта задаются исходя из поставленной перед системою доставки грузов задач.

Определение 21. Субъектом ПДГ – есть водительский (экипажный), диспетчерский, инженерно-технический и управленческий персонал, который принимает участие в планировании, мониторинге, управлении, обеспечении и физическом влиянии на объекты и другие субъекты процесса доставки груза с целью выполнения поставленного задания – доставки груза.

Определение 22. Ситуация – совокупность состояний системы и среды в тот же час (момент времени) [5].

Запишем теоретико-множественные модели сценариев и плановых реализаций процесса доставки грузов для 2-го и 3-го сегментов

$$\mathrm{Seg}_2\{\mathrm{P}_3^{\text{п}}[\mathrm{D}(\mathrm{C}_3)]\}\colon \mathrm{c}_3 \times \mathrm{R}_3^{\Pi} \times \mathrm{V}^{\Pi} \times \mathrm{E}_3^{\Pi} \times \mathrm{F}_3^{\Pi} \times \mathrm{W}_2^{\Pi} \times \mathrm{i}_3 \to \mathrm{g}, \quad (5)$$

$$\mathrm{Seg}_2\{\mathrm{RP}_3^{\text{п}}[\mathrm{D}(\mathrm{C}_3)]\}\colon \mathrm{c}_3 \times \mathrm{R}_3^{\Pi} \times \mathrm{V}^{\Pi} \times \mathrm{E}_3^{\Pi} \times \mathrm{F}_3^{\Pi} \times \mathrm{W}_2^{\Pi} \times \mathrm{i}_3 \times \mathrm{T}^{\Pi} \to \mathrm{g} \times \mathrm{T}^{\Pi}, \quad (6)$$

где V^{Π} – планируемое множество грузовых вагонов.

Финитная ТММ реализации процесса ДГ для второго сегмента вырождается в кортеже:

$$< \mathrm{c}_3(\mathrm{i}_3), \mathrm{r}_{3\mathrm{j}}, \mathrm{v}_{\mathrm{k}}, \mathrm{e}_{3\mathrm{s}}, \mathrm{f}_{3\mathrm{q}}, \mathrm{w}_{2\mathrm{n}}, \mathrm{i}_{3\Sigma}, \mathrm{t}^{\Phi} > \equiv < \mathrm{g}, \mathrm{t}^{\Phi} >, \quad (7)$$

где $\mathrm{r}_{3\mathrm{j}} \in \mathrm{R}_3^{\Pi}, \mathrm{v}_{\mathrm{k}} \in \mathrm{V}^{\Pi}, \mathrm{e}_{3\mathrm{s}} \in \mathrm{E}_3^{\Pi}, \mathrm{f}_{3\mathrm{q}} \in \mathrm{F}_3^{\Pi}, \mathrm{w}_{2\mathrm{n}} \in \mathrm{W}_2^{\Pi}, \mathrm{t}^{\Phi} \in \mathrm{T}^{\Pi}$.

Для третьего сегмента:

$$\mathrm{Seg}_3\{\mathrm{P}_2^{\text{п}}[\mathrm{D}(\mathrm{C}_3)]\}\colon \mathrm{c}_3 \times \mathrm{R}_2^{\Pi} \times \mathrm{M}_2^{\Pi} \times \mathrm{E}_2^{\Pi} \times \mathrm{F}_2^{\Pi} \times \mathrm{W}_1^{\Pi} \times \mathrm{i}_2 \to \mathrm{g} \quad (8)$$

$$\mathrm{Seg}_3\{\mathrm{P}_2^{\text{п}}[\mathrm{D}(\mathrm{C}_3)]\}\colon \mathrm{c}_3 \times \mathrm{R}_2^{\Pi} \times \mathrm{M}_2^{\Pi} \times \mathrm{E}_2^{\Pi} \times \mathrm{F}_2^{\Pi} \times \mathrm{W}_1^{\Pi} \times \mathrm{i}_2 \times \mathrm{T}^{\Pi} \to \mathrm{g} \times \mathrm{T}^{\Pi}, \quad (9)$$

$$< \mathrm{c}_3(\mathrm{i}_2), \mathrm{r}_{2\mathrm{j}}, \mathrm{m}_{2\mathrm{k}}, \mathrm{e}_{2\mathrm{s}}, \mathrm{f}_{2\mathrm{q}}, \mathrm{w}_{1\mathrm{n}}, \mathrm{i}_{2\Sigma}, \mathrm{t}^{\Phi} > \equiv < \mathrm{g}, \mathrm{t}^{\Phi} >, \quad (10)$$

где $\mathrm{r}_{2\mathrm{j}} \in \mathrm{R}_2^{\Pi}, \mathrm{m}_{2\mathrm{k}} \in \mathrm{M}_2^{\Pi}, \mathrm{e}_{2\mathrm{s}} \in \mathrm{E}_2^{\Pi}, \mathrm{f}_{3\mathrm{q}} \in \mathrm{F}_2^{\Pi}, \mathrm{w}_{1\mathrm{n}} \in \mathrm{W}_1^{\Pi}, \mathrm{t}^{\Phi} \in \mathrm{T}^{\Pi}$.

Что итоговая информация $\mathrm{i}_{2\Sigma}$ дала кроме стандартной? Дала данные о дорожно-транспортном происшествии с автомашиной, которая везла груз с торговой станции железной дороги, ДТП случилось в пункте В, рис.4. Она была классифицирована как инцидент, поэтому это транспортное происшествие не сильно повлияло на процесс доставки груза на последнем сегменте реального процесса ДГ.

Выводы

Таким образом, составленные теоретико-множественные модели и графическое представление схемы – аналога сегментов сценария ДГ, гипотетически взятого примера, позволили, к материалу первой части статьи, дать еще 15 терминов и определений качественных и количественных

характеристик процесса доставки груза. Это позволило сформулировать новые определения показателям мультимодальных процессов доставок грузов любой сложности.

Литература

1. Касаткин Ф.П., Коновалов С.П., Касаткина Э.Ф. Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса. – М.: Академический проект, 2004. – 352 с.

2. Ягер Р. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / Р.Ягер. – М.: Радио и связь, 1986. – 191 с.

3. Д. Джарратано, Г. Райли. Экспертные системы: принципы разработки и программирование пер. с англ. «Издательский дом Вильямс», 2007. – 1152 с.

4. Кириченко Г.І. Моніторинг процесів доставки вантажів методом призначення контрольно-часових точок / О.Л. Петрашевський, Г.І. Кириченко, О.В. Алєксєєнко, С.М. Овчаренко, О.В. Петриковець // Вісник НТУ. – Київ, – Вип.29.–2014.– С. 308-317.

5. Философский энциклопедический словарь.–М.:ИНФРА, 2003.– 576 с.

Рецензенти:
Гуляєв В.І., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.
Марчук О.В., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

Reviewer:
Huliaiev V.I., Dr. Tech. Sci., National Transport University.
Marchuk A.V., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **21.03.2017 р**.

ТРАНСПОРТНІ СПОРУДИ

УДК 625.852

Дорожко Є.В., канд. техн. наук

РОЗРАХУНОК ЗСУВОСТІЙКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ШАРУ НА ЖОРСТКІЙ ОСНОВІ

Анотація. Встановлені мінімально допустимі товщини асфальтобетонного шару на жорсткій основі, які необхідно передбачити при конструюванні, для забезпечення зсувостійкості асфальтобетонного шару

Ключові слова: асфальтобетонний шар, жорстка основа, напружено-деформований стан, критерії міцності.

УДК 625.852

Дорожко Е.В., канд. техн. наук

РАСЧЕТ ЗСУВОСТІЙКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО СЛОЯ НА ЖЕСТКОЙ ОСНОВЕ

Аннотация. Установлены минимально допустимые толщины асфальтобетонного слоя на жестком основании, которые необходимо предусмотреть при конструировании, для обеспечения сдвигоустойчивости асфальтобетонного слоя.

Ключевые слова: асфальтобетонный слой, жесткое основание, напряженно-деформированное состояние, критерии прочности.

UDC 625.852

DorozhkoYe.V. Cand. Eng. Sci. (Ph.D.)

THE SHEAR STABILITY CALCULATIONS OF ASPHALT LAYER ON A RIGID BASE

Annotation. The minimum allowable thickness of asphalt concrete layer on a rigid base, which must be considered when designing to shear resistance of asphalt concrete set.

Keywords: asphalt layer, a rigid base, the stress-strain state, the strength criteria.

Одним з конструктивних рішень, що використовується при новому будівництві або ремонті жорстких дорожніх одягів є влаштування асфальтобетонного покриття. Це дозволяє полегшити виконання ремонтних робіт з підвищення рівності і коефіцієнта зчеплення жорсткого дорожнього одягу, підвищити комфортність і безпеку руху транспортних засобів по дорозі, поліпшити санітарно-гігієнічний та екологічний стан: беспильність, зручність механічного прибирання, відведення поверхневих вод і т.д. [1].

При влаштуванні асфальтобетонного шару на цементобетонних плитах використовуються різні товщини асфальтобетонного шару в залежності від стану цементобетонних плит. Тонкі одношарові асфальтобетонні покриття варто використовувати при новому будівництві цементобетонних плит (оскільки немає необхідності у вирівнюванні цементобетонного покриття) та при виконанні ремонтних робіт, якщо необхідно підвищити коефіцієнт зчеплення та незначно підвищити рівність цементобетонних плит.

Отримана таким чином конструкція характеризується достатньо міцною та довговічною основою у вигляді цементобетонних плит, а асфальтобетонний шар виконує функцію захисного або шару зносу і дозволяє отримати високі транспортно-експлуатаційні показники. Таке конструктивне рішення використовується в Німеччині, Росії, Італії, Франції, Угорщині, США та інших країнах [2, 3].

У процесі експлуатації для асфальтобетонних шарів на жорсткій основі характерні колійність, напливи, зсуви, що призводять до необхідності виконання ремонтних робіт.

Для контрольної оцінки зсувостійкості асфальтобетонних шарів покриття запропоновано використання методики, аналогічною до норм Білорусі [4]. Коефіцієнт запасу міцності, відповідно до ТКП 45-3.03-3-2004 визначається за формулою [4]:

$$K_{\text{мц}} = \frac{k \times C}{B\left(\tau - |\sigma| \times tg\varphi\right)}, \qquad (1)$$

де k – коефіцієнт, що дорівнює 0,8;

C – внутрішнє зчеплення матеріалу, МПа;

B – емпіричний коефіцієнт, що залежить від категорії дороги;

τ, σ – дотичні і нормальні напруження відповідно, МПа;

$tg\varphi$ – тангенс кута внутрішнього тертя матеріалу шару дорожньої конструкції.

Отримане значення коефіцієнта запасу міцності $K_{\text{мц}}$ має бути не менше необхідного, що залежить від рівня надійності дорожньої конструкції. Згідно з методикою розрахунку, що наведена в ТКП 45-3.03-3-2004 враховується дія лише транспортного навантаження без врахування температурних напружень. Але асфальтобетонні шари на жорсткій основі знаходяться під одночасним впливом напружень від дії транспортного навантаження та температурних напружень. Для врахування сумісної дії напружень від транспортних засобів та напружень від температурного деформування використано принцип суперпозиції, виходячи з якого напруження від різних факторів підсумовуються. Напруження визначено окремо від дії транспортного навантаження і окремо від температурного деформування, з врахуванням часу дії навантажень. Потім визначені напруження від двох окремих складових підсумовано, згідно з методикою наведеною у [5].

Напруження від транспортного навантаження визначено методом скінчених елементів для різних умов руху: рух на перегоні, рух на кривих в плані і поздовжньому профілі, рух з екстреним гальмуванням. Статичне навантаження прикладається через круглий штамп, діаметр якого рівновеликий відбитку сліду колеса автомобіля, прийнято 34,5 см. Величину вертикального навантаження прийнято 0,8 МПа, горизонтальна сила приймається: 5 кН для умов руху на перегоні, 11 кН для умов руху на кривих в плані і поздовжньому профілі, 45 кН для умов екстреного гальмування. За результатами моделювання розраховано складові напружень у декартовій системі координат.

Температурні напруження в асфальтобетонному шарі та цементобетонної плити визначено з врахуванням часу дії деформування відповідно до [6].

В результаті розрахунків встановлені мінімально необхідні товщини асфальтобетонного шару з ЩМА-15 (БМП 60/90) на жорсткій основі, які необхідно передбачити при конструюванні, для забезпечення зсувостійкості асфальтобетонного шару, рисунок 1 – 3 [7].

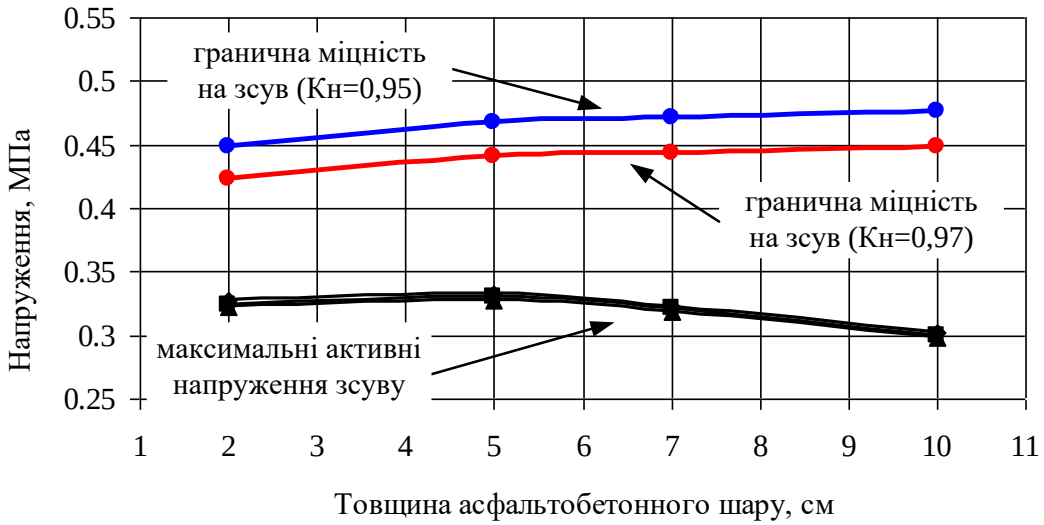


Рисунок 1 – Зсувостійкість асфальтобетонного шару для умов руху на перегоні

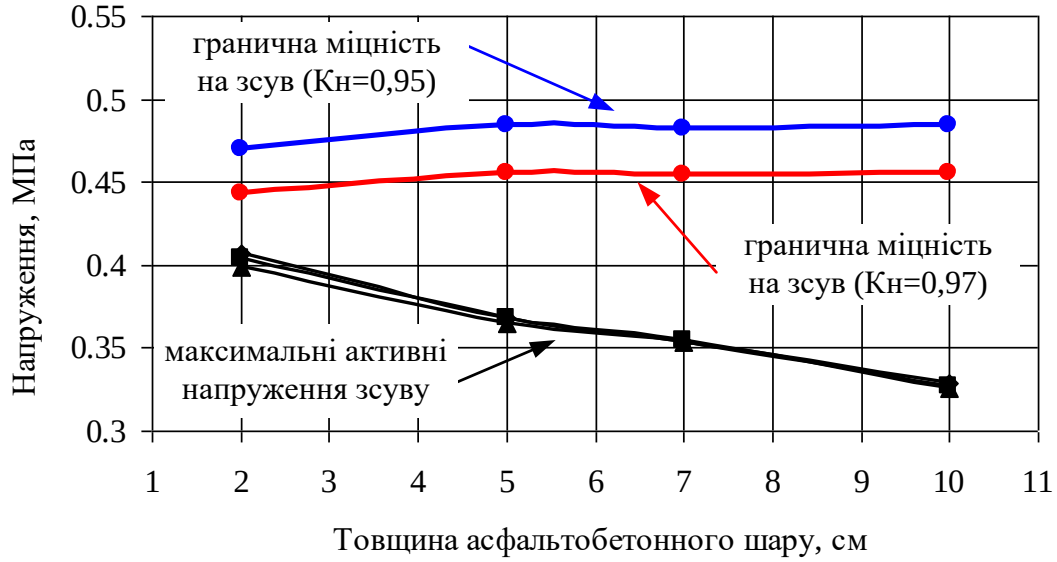


Рисунок 2 – Зсувостійкість асфальтобетонного шару для умов руху на кривих в плані

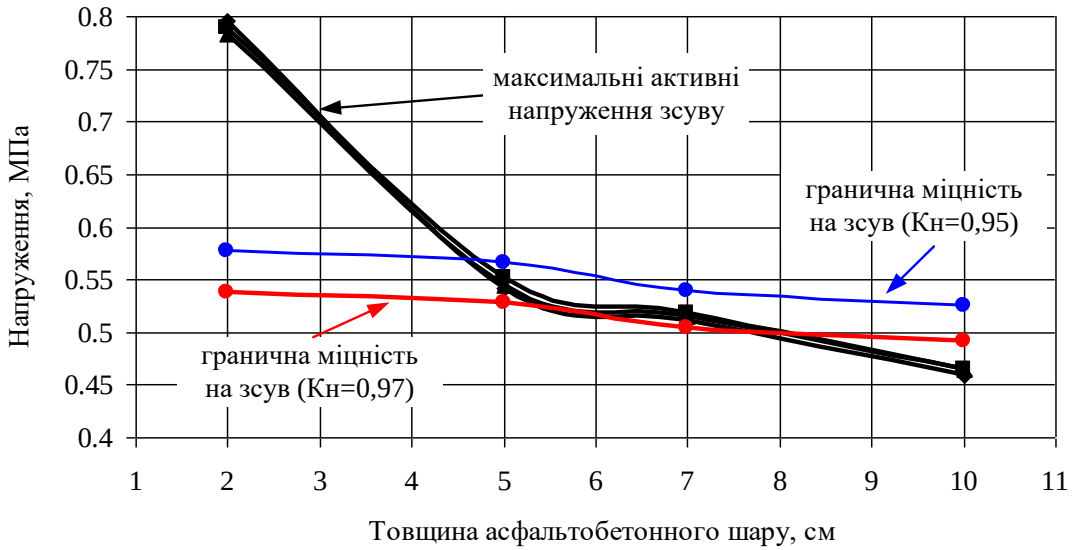


Рисунок 3 – Зсувостійкість асфальтобетонного шару для умов екстреного гальмування

В результаті аналізу розрахунків з зсувостійкості асфальтобетонного шару на жорсткій основі встановлено, що:

- на ділянках доріг з умовами руху на перегоні та кривих в плані і поздовжньому профілі є можливість використовувати тонкошарових асфальтобетонних покриттів на жорсткій основі;

- на ділянках доріг з умовами екстреного гальмування влаштування тонкошарових асфальтобетонних покриттів (товщиною 5 см і менше) на жорсткій основі призведе до швидкого накопичення пластичних деформації у асфальтобетонному шарі вигляді колії та зсувів покриття.

Література

1. ВБН В.2.3–218–532:2007. Влаштування тонкошарових покриттів на автомобільних дорогах державного значення.

2. Корочкин А.В. Элементы теории и практики повышения технико-эксплуатационных показателей жесткой дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием: дис. … доктора техн. наук: 05.23.11 Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей / Корочкин Андрей Владимирович. – М., 2014. – 386 с.

3. Вишневський А.В. Разработка технологии ремонта поверхностного слоя цементобетонных покрытий автомобильных дорог в условиях сурового климата: дисс. … кандидата техн. наук: 05.23.11 Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей /Вишневский Александр Витальевич. – Чита, 2001. – 130 с.

4. Проектирование дорожных одежд улиц и дорог населенных пунктов: ТКП 45-3.03-3-2004 (02250). – [Действительный с 2004–12–08]. – Минск.: Минстройархитектуры, 2005. – 54 с.

5. Дорожко Є.В. Врахування сумісної дії зовнішнього навантаження та температури при розрахунках тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі / Є.В. Дорожко / Науковий вісник будівництва. – Х., ХНУБА, 2015. – Вип. 4/82. – С. 132-136.

6. Дорожко Є.В. Визначення температурних напружень в тонких асфальтобетонних шарах на жорсткій основі / Є.В. Дорожко, В.М. Ряпухін // «Наукові нотатки»: міжвузівський збірник за галузями знань «Металургія і матеріалознавство». – Луцьк, Луцький НТУ, 2014. – Вип. 46. – С. 147-153.

7. Дорожко Є.В. Удосконалення методу розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі: дис. … кандидата техн. наук: 05.22.11 / Дорожко Євген Вікторович. – Х., 2016. – 280 с.

Рецензенти:
Жданюк В.К., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.
Онищенко А.М., канд. техн. наук, Національний транспортний університет.

Reviewers:
Zhdaniuk V.K., Dr. Tech. Sci., Kharkiv National Automobile and Highway University.
Onyshchenko A.M., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **24.03.2017 р**.

УДК 624.1

Лантух-Лященко А.І., д-р техн. наук

ПРОБЛЕМА КРИТЕРІЯ ДЕГРАДАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД

Анотація. Стаття присвячена нагальній проблемі управління надійністю і довговічністю транспортних споруд. Розглядаються сучасні наукові підходи оцінки технічного стану транспортних споруд засновані на аналізі деградації елементів протягом життєвого циклу експлуатації.
Ключові слова: критерій деградації, модель життєвого циклу, марковська модель, тріщиностійкість, надійність.

УДК 624.1

Лантух-Лященко А.И., д-р техн. наук

ПРОБЛЕМА КРИТЕРИЯ ДЕГРАДАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. Статья посвящена насущной проблеме управления надежностью и долговечностью транспортных сооружений. Рассматриваются современные научные подходы оценки технического состояния транспортных сооружений основанные на анализе деградации элементов в течение жизненного цикла эксплуатации
Ключевые слова: критерий деградации, модель жизненного цикла, марковская модель, трещиностойкость, надежность.

UDC 624.1

Lantuh-Liashchenko A. I., Dr. Tech. Sci.

THE PROBLEM OF THE DEGRADATION CRITERIA OF THE ENGINEERING STRUCTURES ELEMENTS

Abstract. The article is devoted to the pressing problem of managing the reliability and durability of transport constructions. Modern scientific approaches to assessing the technical condition of transport facilities based on an analysis of element degradation during the life cycle of operation are considered.

Keywords: degradation criterion, life cycle model, Markov model, crack resistance, reliability.

Проблема

Сьогодні є очевидною потреба в нових моделях теорії споруд, які б відображали еволюцію напружено-деформованого стану в функції часу. Саме моделі, що описують деградацію елементу на всіх етапах життєвого циклу з плином часу, мають відкрити шлях до проектування елементів споруд на заданий термін служби, прогнозувати життєвий цикл елемента в експлуатації. Такі моделі дадуть змогу, в інтересах суспільства, проектувати і експлуатувати конструктивні елементи транспортних споруд керованої довговічності.

В умовах вкрай обмеженого фінансування системи експлуатації транспортних споруд в Україні, стратегічне планування видатків на їх утримання має опиратися на реалістичний прогноз ресурсу елементів. Моделі життєвого циклу дадуть теоретичний базис фінансування будівництва і експлуатації споруд таким, щоби протягом терміну служби зберегти параметри функціональності, надійність, безпеку експлуатації, зберегти оточуюче середовище, архітектурні, естетичні і історичні цінності споруди.

Принципово важливим моментом в формулюванні моделі оцінки і прогнозу життєвого циклу є прийняття критерія деградації, тобто міри накопичення пошкоджень. Теоретично критерій є складовою фундаментальної проблеми управління надійністю і довговічністю будівельних об’єктів. В теорії споруд відомо не менше десятка різних за своєю фізичною сутністю критеріїв. Назвемо деякі з них.

У будівельній механиці з 50–х років минулого століття, широко використовувалась універсальна модель накопичення пошкоджень відома під назвою «теорія лінійного підсумовування пошкоджень Пальмгрена-Майнера», в якій використовується принцип лінійної суперпозиції пошкоджень [21]. Як критерій тут виступає «*цикл навантаження – розвантаження*». Ця проста і прозора модель набула широкого поширення в машинобудуванні. У меншій мірі модель використовувалася для оцінки життєвого циклу елементів споруд [4,18]. Очевидно, що для використання моделі необхідно мати достовірну оцінку кількості циклів навантаження, тобто для прогнозу ресурсу в процесі експлуатації необхідно мати повні дані історії вантаження. Стосовно елементів автодорожніх мостів та і інших елементів конструкцій необхідні початкові дані

визначаються настільки приблизно, що втрачається достовірність моделі. Є і інші недоліки, які стримують застосування моделі Пальмгрена-Майнера, такі як, наприклад, ігнорування ефектів взаємодії циклів навантаження з малою і великою амплітудами.

Досить розповсюдженою сьогодні є моделі життєвого циклу залізобетонних елементів в якій деградація залізобетону описується критеріями накопиченням певної «*критичної кількості хлоридів*», що проникають через захисний шар по капілярній системі та мікротріщинам. Процес дифузії хлоридів тут описується загальними законами аналітичної теорії дифузії, відомими як рівняння першого і другого законів Адольфа Фіка.

Інший напрям розбудови моделей накопичення пошкоджень елементів будівельних конструкцій ґрунтується на фундаментальних дослідженнях механіки руйнування. В Україні це дослідження школи академіка НАНУ В.В. Панасюка [16, 17]. В цих роботах критеріями деградації матеріалу елементів споруд є «*коефіцієнти інтенсивності* , що трактуються як фізичні константи матеріалу. Безумовно моделі, засновані на класичній теорії механіки руйнування, теоретично найбільш досконалі, проте, поки шо не набули широкого застосування в практичній оцінці ресурсу елементів споруд.

В останні 20 – 30 років виявляється що універсальним, найбільш ефективними критерієм деградації елементів будівельних конструкцій є «*параметр надійності*». Нижче ми наводимо детальне обґрунтування прийняття надійності як критерія деградації та приклад - відповідну модель, чинну в системі експлуатації автодорожніх мостів України.

Нарешті ще один широко вживаний критерій деградації – «*геометричний параметр (параметри) тріщини в матеріалі*» для оцінки і прогнозу життєвого циклу. Геометричні параметри тріщин (ширина, довжина, глибина) давно застосовуються в моделях деградації металевих елементів машин і механізмів, елементів стальних конструкцій споруд. Ми в цій роботі наводимо приклад моделі життєвого циклу залізобетонних елементів транспортних споруд в якій критерієм деградації слугує ширина розкриття тріщин.

Параметр надійності – універсальний критерій деградації.

Ідея застосування скалярного параметра - ймовірності як критерія процесу, еволюція якого в часі визначається ймовірнісними законами, належить видатному математику, члену Російської академії наук А.А. Маркову. В монографії опублікованій в 1908р. «Исчисление вероятностей» [15] вперше

повністю була опублікована марковська теорія процесів (ланцюгів), саме ймовірність і є фундаментальною основою теорії. Марковська стохастична теорія швидко розповсюдилася в світі, перш за все в банківській і страховій справах. За 100 з лишнім років, що пройшли з часу опублікування, стохастична теорія А.А. Маркова інтенсивно розвивалась у всьому світі і стала базою для моделей еволюції систем в часі не тільки в банківській справі, а й у всіх галузях знань – від управління економікою до медичних прогнозів. Проте знадобилося більш ніж 50 років щоби теорія почала застосовуватися для моделей накопичення пошкоджень в конструкціях машин, механізмів, будівель і споруд [3,4,22]. В останні 30-40 років феноменологічні стохастичні моделі, що описують накопичення пошкоджень як марковський процес. визнані універсальним апаратом опису поступового руйнування елементів споруд незалежно від матеріалу.

Доцільність і теоретична обґрунтованість застосування параметра надійності як критерія деградації є очевидною і витікає, перш за все, з сучасного трактування поняття надійності. Приведемо сучасне визначення терміну у формулюванні європейських учених. Так в стандарті ISO2394 [20] визначення наведено гранично коротко: «Надійність - здатність споруди або її елемента виконувати задані функції протягом всього проектного терміну служби». Подібні визначення наводяться також в стандарті 1988 р. [7] і в національних нормативних документах [8,9]. Ці визначення принципово відрізняються від визначення загально-технічного стандарту [6].

Дещо ширше поняття «*надійність*» представлено у Єврокоді EN 1990: 2002 [10]. Наведемо дослівну цитату: «*Здатність споруди або її елемента виконувати задані функції протягом всього проектного терміну служби.* ***Надійність зазвичай виражається в імовірнісних показниках***». В примітці до визначення терміну вказується, що надійність є одночасно мірою безпеки, експлуатаційної придатності та довговічності конструкції.

Надійність поряд зі своїм основним призначенням - характеризувати рівень безпеки споруди протягом життєвого циклу має й іншу функцію - служить інструментом оптимізації якості проекту. Так в EN 1990: 2002 [10], знаходимо: «*Слід зазначити, що значення параметра надійності є формальним або уявним показником ймовірності руйнування. Він використовується скоріше, як засіб для розвитку послідовних проектних правил, ніж для опису частоти руйнування конструкції*». Наведені визначення відкривають шлях до застосування

надійності в якості критерія деградації – накопичення пошкоджень, оцінки експлуатаційної придатності в інших термінах.

В найбільш загальній формі сучасне наукове обґрунтування проблеми наведено в документі Об'єднаного комітету з безпеки споруд (Joint Committee on Structural Safety [23] – 2000 р. та в монографії Р. Мельчерса (Robert E.Melchers) [22] – 1999 р., де надійність трактується як ймовірність досягнення граничного стану за час *t*. Для цього вводиться функція граничного стану, залежна від часу:

$$g(\boldsymbol{X},t) = R(\boldsymbol{X},t) - E(\boldsymbol{X},t), \qquad (1)$$

де $R(\boldsymbol{X},t)$ – узагальнений опір елемента; $E(\boldsymbol{X},t)$ – узагальнений навантажувальний ефект; $\boldsymbol{X}$ – вектор базових змінних; t – змінна часу.

Тоді надійність в термінах функції граничного стану виражається так:

$$P(t) = \text{Prob}[R(\boldsymbol{X},t) - Q(\boldsymbol{X},t) < 0]. \qquad (2)$$

Таким чином, залежністю (2) технічний стан, тобто експлуатаційна придатність формулюється як поняття функціонально зв'язане з надійністю. Цей загальний підхід, в дещо іншій формі, було викладено також і в монографіях В.В. Болотіна [4].

Нижче, як приклад, наводиться марковська модель накопичення пошкоджень в якій саме надійність слугує критерієм деградації. Модель була запропонована нами в 1999 р. [13] і нині має репутацію адекватного апарату управління безпекою експлуатації, оцінювання та прогнозування технічного стану автодорожніх мостів України [9].

Марковська феноменологічна модель накопичення пошкоджень

Покажемо модель деградації елементів споруд основану на теорії випадкових марковських процесів. Систему відмов, що є наслідком зносу елемента споруди, будемо розглядати як потік випадкових дискретних подій марковського ланцюга і моделювати процесом з «*якісними станами*». Роль випадкової величини відіграє «*випадковий дискретний стан системи*» [3,5].

Моделлю деградації елемента встановлюється закон надійності в функції часу і, тим самим, встановлюється апарат прогнозу його технічного стану. Модель має дві принципові складові: феноменологічні класифікаційні таблиці дискретних станів та функцію деградації. Наступні чотири гіпотези становлять теоретичну базу моделі.

А. Критерієм технічного стану елемента є числовий параметр надійності.

В. Життєвий цикл елемента поділено на 5 експлуатаційних станів. Кожен із станів описується добіркою кількісних та неформалізованих якісних показників деградації, що характеризують ієрархію відмов елемента [12].

В. Процес деградації елемента протягом життєвого циклу описується дискретною моделлю випадкового марковського процесу з неперервним часом.

Г. Перехід із одного експлуатаційного стану в інший описується, як процес Пуассона з дискретними станами та неперервним часом.

Ми сформулюємо визначальні залежності для моделі, в якій блукання по дискретним станам здійснюється тільки в одному напрямку: від стану з меншим, до стану з більшим номером. Будемо вважати, що елемент знаходитися послідовно в дискретних станах S_1, S_2..., S_n, а переходи з одного експлуатаційного стану в інший здійснюються в моменти безперервного часу t_1; t_2;…t_{n-}. Ставиться завдання знайти ймовірності станів p_1 (t), p_2 (t), ..., p_n(t), де n - кількість дискретних станів. Надійністю системи в кожному з станів визначається процес деградації.

Марковський ланцюг, що розглядається являє собою потік послідовних подій з однаково розподіленими проміжками часу. Граф потоку показаний на рис.1

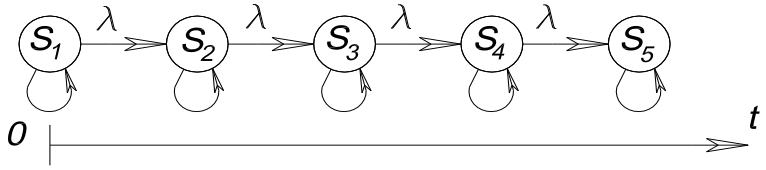


Рисунок 1 - Граф процесу деградації

У термінах марковського процесу завдання зводиться до пошуку *безумовних ймовірностей* перебування системи ***S*** на довільному кроці k в стані S_i: $k = 1, 2, \ldots, n$:

$$p_i(k) = \text{Prob}[S(k) = S_i]; \;\; k = 1, 2 ., n; \; i = 0, 1 ., n - 1 \qquad (3)$$

Ймовірності $p_i(k)$ виражаються через умовні ймовірності переходу системи ***S*** на кроці k в стан S_j, за умови, що на кроці k -1 система була в стані S_i:

$$p_{ij}(k) = \text{Prob}[S(k) = S_j \,|\, S(k\text{-}1) = S_i]; \; i,j = 0, 1 ., n - 1 \qquad (4)$$

Еволюція системи характеризується щільністю ймовірності переходу (*інтенсивність відмов, швидкість деградації*) $\lambda_{i,i+1}$. Цей параметр є граничним відношенням ймовірності переходу системи за час Δt зі стану S_i в стан $S_{i,i+1}$

$$\lambda_{i,i+1} = \lim \frac{p_{i,i+1}(\Delta t)}{\Delta t}, \tag{5}$$

де $p_{i,i+1}(\Delta t)$ – ймовірність того, що система перейде за час Δt із стану S_i в стан $S_{i,i+1}$.

Шукані ймовірності марковської ланцюга p_1 (t), p_2 (t)., P_n (t) - функції часу є ймовірністю того, що система в момент t знаходиться в стані S_i. і визначаються з системи звичайних диференціальних рівнянь зі змінними, в загальному випадку, коефіцієнтами. Це відомі рівняння Колмогорова - Чепмена, що описують еволюцію дискретного марковського процесу з неперервним часом

$$\frac{dp_{ij}(t)}{dt} = \sum \lambda_{ik}\ p_{kj}(t), \quad i,j,k = 1,2,\ldots,n, \tag{6}$$

До цих рівнянь приєднуються початкові умови

$$p_{ij}(0) = \delta_{ij}, \tag{7}$$

де δ_{ij} – символ Кронекера.

Крім того, в розв'язку системи диференціальних рівнянь використовується умова нормування, яка є наслідком того, що події марковської ланцюга несумісні і утворюють повну групу

$$\sum_{i=1}^{n} p_i(t) = 1, \tag{8}$$

Розв'язок системи рівнянь (6) при початкових умовах (7) дає *матрицю ймовірностей переходів* $p_{ik}(t)$, якою описується марковська ланцюг. Цю матрицю часто називають скорочено *матрицею переходів*.

Надійність елемента обчислюється як ймовірність того, що в момент часу t елемент вийде зі стану k, тобто відбудеться відмова k + 1:

$$P_i(t) = \sum_{k=l}^{N} p_k\, p_{ik}(t), \tag{9}$$

де N - кількість дискретних станів протягом життєвого циклу елемента; p_k - надійність елемента, що приписана йому в k-тому дискретному стані; $p_k(t)$ - перехідна ймовірність k-того дискретного стану, що отримується розв'язком системи рівнянь (6) при початкових умовах (7).

Як видно з (9), в загальному випадку ймовірності переходу складають квадратну матрицю переходів розміром n, де n - кількість дискретних станів. Позначимо її **P**. На головній діагоналі матриці **P** стоять ймовірності затримки системи в даному стані S_i на кроці k, на бічних діагоналях - ймовірності переходу системи зі стану S_i в стан S_j - p_{ij} (k). В силу того, що на кожному кроці система

може перебувати тільки в одному з двох взаємовиключаючих станів, сума всіх ймовірностей однієї строки дорівнює одиниці:

$$\sum_{j=1}^{n} p_{ij}(k) = 1 \tag{10}$$

Диференціальні рівняння марковського ланцюга (6), відповідні графу потоку рис.1, запишемо в матричній формі

$$\frac{d\mathbf{P}(i,t)}{dt} = \mathbf{P}(i,t) \cdot \mathbf{E}\,, \tag{11}$$

де $\mathbf{P}(i, t)$ - матриця ймовірностей переходу; $\mathbf{E}$ - матриця інтенсивностей відмов, тут прийнята постійною $\mathbf{E} = \lambda$.

У випадку моделі за лінійним графом потоку (рис.1) де блукання по станам відбувається в одному напрямку – від стану з меншим номером до стану з більшим номером матриця переходу стає трикутною наддіагональною, мало заповненою. Приклад розв'язку системи рівнянь за лінійним графом потоку наведено нижче:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 0.181 & 0.819 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.330 & 0.670 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.451 & 0.549 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.551 & 0.449 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{12}$$

Зауважимо, що описана класична процедура отримання матриці переходу не єдина. Відомі прийоми отримання матриці переходу засновані на статистичних даних історії експлуатації (наприклад [24]), але це вже інша тема

Пошук ймовірностей переходу, які містить стохастична матриця $\mathbf{P}$ є домінантою, центральним місцем у розробці моделі деградації елемента споруди, описуваної дискретним марковским процесом. Коли матриця $\mathbf{P}$ знайдена, за відомими значеннями умовних ймовірностей переходу і початкового значення безумовної ймовірності перебування системи в стані S_1 всі інші безумовні ймовірності знаходяться за рекурентною формулою:

$$p_j(k) = \sum_{i=1}^{n} p_i(k-1)\, p_{ij}\,,\ k = 1, 2\ .;\ j = 1, 2\ ., n \tag{13}$$

Моделлю деградації встановлюється зв'язок між надійністю та часом експлуатації елемента. Перехід із одного дискретного стану в інший описується, як процес Пуассона з дискретними станами та неперервним часом. Це окремий

випадок Марковського процесу. Інтегральна функція розподілу $P(t)$ для часу T_n, котрий протікає доки стануться всі n подій процесу, має вид:

$$P_t = 1 - P(T_n > t) = 1 - \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!} \quad (14)$$

де λ - параметр процесу – інтенсивність відмов; k – номер дискретного стану; $P(t)$ – ймовірність того, що елемент перейде в стан k протягом часу $t < T_k$.

Для випадку лінійного графу з п’яти дискретних станів, залежність (14) має вид:

$$P_t = 1 - 0{,}008333\,(\lambda t)^5 e^{-\lambda t} \quad (15)$$

Таким чином, при заданій інтенсивності відмов λ, залежністю (15) встановлюється зв’язок між надійністю елемента P_t в i-му стані та часом t, що пройшов від початку експлуатації до стану i = 2,...5

Марковська стохастична модель накопичення пошкоджень в результаті природного зносу є досить універсальною і має практичну спрямованість, як інструмент оцінки технічного стану та прогнозу залишкового ресурсу споруди. Модель виявилася в Україні затребуваною і сьогодні успішно використовується в системі експлуатації автодорожніх мостів як інструмент управління безпекою, оцінювання і прогнозування технічного стану елементів транспортних споруд.

Відкриті питання

Як видно з наведеного формулювання, модель теоретично достатньо строго обґрунтована. Однак її практичне застосування багато в чому являє собою мистецтво, залежить від суб'єктивних вольових рішень дослідника.

А. Перш за все, це - феноменологічна модель, і за визначенням, потребується, що би дослідник мав достатню кількість теоретичних або натурних даних, які дозволяють лінгвістично і кількісно описати кожен із дискретних станів. Цей опис є фундаментальною основою моделі. Потрібне глибоке проникнення в фізичну суть процесу деградації, необхідно не тільки адекватно описати кожен з дискретних станів, а й коректно встановити границі зміни параметрів в межах одного дискретного стану, тоді як процес, що моделюється, є безперервним.

Б. Досить суб'єктивним є рішення про кількість дискретних станів, якими представляються життєвий цикл елемента. Ясно, що чим більше прийнято дискретних станів, тим точніше описується безперервний процес накопичення

пошкоджень. З іншого боку, для опису великої кількості дискретних станів потрібно значне розширення бази дослідних, натурних даних. Де розумне задоволення цих суперечливих вимог вирішує розробник моделі.

В. Важливою теоретичною стороною моделі є граф процесу деградації елемента. Коли граф процесу розроблено дослідником, запис рівнянь моделі (6), що визначають ймовірнісну природу деградації, видається цілком формалізованим. Тому розробка графа моделі, що залежить від кількості дискретних станів і зв'язків між ними, завжди буде предметом особливої уваги з боку дослідника, завжди буде відображати його суб'єктивне уявлення про сутність і закономірності перебігу процесу деградації.

Г. Ще один, принципово важливий аспект моделі - питання про визначення розробником функції інтенсивності відмов $\lambda(t)$. Принципово важливий тому, що в представленій моделі процес керується тільки одним параметром. У загальному випадку інтенсивність відмов є випадковою функцією часу. Як слідство цього, диференціальні рівняння моделі (15) стають нелінійними, не мають розв'язку в замкнутій формі і розробнику доводиться звертатись до досить складного чисельного рішення. З іншого боку, нині невідомо якою насправді є функція інтенсивності відмов елементів споруд. Тому для простоти розв'язку часто застосовується припущення $\lambda(t) = \text{const}$.

Д. Сьогодні, є чимало критиків, які ставлять під сумнів практичну цінність марковских моделей накопичення пошкоджень. Критиці піддається основна гіпотеза марковського ланцюга про залежність «*майбутнього*» тільки від «*сучасного*» [5]. Як приклад такої критики, пошлемося на роботу [19], видного теоретика США в області довговічності споруд, Д.Франгопола (D. Frangopol). Дійсно, теоретично модель описує стохастичний процес «*без пам'яті*». У той же час, марковський випадковий процес не є повністю незалежним від минулого. В певній мірі дещо філософське формулювання цієї залежності є таким [5]: «для марковского випадкового процесу« *майбутнє*» залежить від «*минулого* » тільки через «*сучасне*». Отже, мова не йде про повну незалежність «*майбутнього*» від «*минулого*», бо в загальному випадку, відправним є даний стан (при $t = t_0$) який в принципі залежить від того як протікав процес деградації в минулому.

Зауважимо шо в нашому, окремому випадку нормативного документу, запропонований прийом отримання значення керуючого параметра моделі життєвого циклу елемента з «*сучасного*», тобто *i*-го дискретного стану, дає повну інформацію про історію навантаження в «*минулому*», і не тільки.

Визначений процедурі документа [9]: параметр інтенсивності відмов несе в собі багато іншої інформації яка відноситься до умов експлуатації, утриманні споруди, якості будівництва, особливостям конструкції, тощо.

Далі наводиться новітня модель деградації залізобетонних елементів в якій критерієм слугує ширина розкриття тріщин.

Модель деградації основана на фізико-механічних характеристиках матеріалу.

Представлена тут альтернативна модель оцінювання і прогнозування життєвого циклу залізобетонних елементів будується в функції одного параметра - ширини розкриття нормальних тріщин [14]. Ширина розкриття тріщин, в свою чергу, є функцією параметрів фізико-механічних характеристик матеріалів елемента. У такій постановці модель може бути застосовна на всіх етапах життєвого циклу, починаючи з проектування. Завдання обмежується залізобетонними згинаними елементами мостів.

Теоретичний базис моделі містить дві гіпотези:

А. Критерієм технічного стану елемента приймається числовий параметр ширини розкриття тріщини, який слугує для кількісної інтегральної характеристикою процесу деградації.

Б. Параметр ширини розкриття тріщини є достатньо інформативним для побудови закону деградації залізобетонного згинаного елемента в функції часу.

Процес деградації - зростання ширини розкриття тріщини будемо описувати одновимірним диференціальним рівнянням

$$\frac{dA(t)}{dt} = \gamma A(t), \tag{16}$$

де $A(t)$ - ширина розкриття тріщин, функція часу; γ - швидкість деградації, константа; t - час.

Розв’язок диференціального рівняння (16) має вид:

$$A(t) = a_0 \exp(-\gamma t), \tag{17}$$

тут a_0 - початкове значення ширини розкриття тріщин суть постійна інтегрування, яка визначається з початкової умови: при $t = 0$ $A(t) = a_0$.

Початкове значення ширини розкриття тріщин при проектуванні визначається функцією О.Я. Берга [1,2]:

$$a_0 = f_a(H, R, E, \sigma, \Psi), \tag{18}$$

де H - геометричні характеристики перерізу; R, E - фізико-механічні характеристики перетину; σ - напруження в перерізі; Ψ - коефіцієнт типу перетину. Параметри (H, R, E, σ, Ψ) визначаються відповідно до вимог ДБН [8].

Проектний строк експлуатації T отримаємо з розв'язку (17) поклавши $A(t) = A_{lim}$, де A_{lim} - скаляр, граничне значення ширини розкриття тріщин в експлуатації:

$$T = \frac{1}{\gamma}\ln\left(\frac{A_{\lim}}{a_0}\right), \tag{19}$$

Для використання в проектній практиці прогнозу (17) введемо коефіцієнт надійності як 5% квантиль нормально розподіленої змінної T:

$$T_d = T\cdot\gamma_t \tag{20}$$

де T_d – проектний строк експлуатації T елемента; γ_t – коефіцієнт надійності часу життєвого циклу.

Коефіцієнт надійності визначається залежністю;

$$\gamma_t = \exp(0{,}8\cdot\beta\cdot V_R - 1{,}645\cdot V_Q \tag{21}$$

де β · - граничне значення характеристики безпеки, обчислене за характеристичною шириною розкриття тріщин $A_{\lim}$; V_R і V_Q - узагальнені коефіцієнти варіації елемента і навантаження відповідно.

Висновки

Модель, що базується на засадах фундаментальних принципів стохастичної теорії надійності є універсальною і придатна для всіх типів елементів будівельних конструкцій. Модель в цьому випадку керується одним параметром – інтенсивністю відмов. Саме цей факт є визначальною характеристикою і робить модель універсальною. З іншого боку, тільки один ймовірнісний параметр є недоліком, звужує можливості моделі як апарата керування довговічністю і потребує від дослідника не стандартних, специфічних прийомів апріорного визначення інтенсивності відмов. Один із ефективних способів визначення інтенсивності відмов був запропонований нами для нормативного документу з експлуатації автодорожніх мостів [9] в роботі [11] і визначається експертом на основі оглядів та обстежень споруди, що знаходиться в експлуатації. Очевидно, що в такому випадку модель, в якій надійність є критерієм деградації не може застосовуватись на етапі проектування.

Представлена нова модель прогнозування технічного стану елементів автодорожніх мостів [14] базується на аналізі тріщиностійкості згинальних залізобетонних елементів може стати найбільш обґрунтованою, з точки зору фізики руйнування залізобетону, основою для розробки простого інженерного апарату прогнозування ресурсу на всіх етапах життєвого циклу, починаючи з проектування. Очевидно, що в силу великої кількості фізико-механічних та геометричних параметрів, що входять до формули оцінки ширини розкриття тріщини, прогноз розкриття ширини є найбільш обґрунтованою формою аналізу довговічності.

Модель відкриває шлях управління ресурсом варіюючи механічні характеристики матеріалів. В системі експлуатації автодорожніх мостів запропонована модель, з єдиним керуючим параметром - шириною розкриття тріщин, дозволяє прогнозувати термін служби залізобетонних елементів мостів на всіх етапах життєвого циклу експлуатації, може значно спростити процес оцінки їх технічного стану. Недолік такої моделі один – модель придатна тільки для залізобетонних елементів.

Література

1. Берг О.Я. Исследование процесса трещинообразования в железобетонных элементах с арматурой периодического профиля / О. Я. Берг // – М: Трансжелдориздат, 1954. – №44. – с. 5 – 10.

2. Берг О.Я. О предельном состоянии по трещинам в железобетонных мостовых конструкциях / О.Я. Берг // Вопросы проектирования и строительства железнодорожных мостов. М.: Трансжелдориздат, 1951. – Вып. 3. – 11 с.

3. Богданоф Дж. Вероятностные модели накопления повреждений. / Дж. Богданофф, Ф. Козин; пер. с англ. д-ра техн. наук С.А. Тимашева. – М.: Мир, 1989. – 344 с.

4. Болотин В.В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. – М.: Стройиздат, 1971.

5. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. (). Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М.: Высш. шк., 2000

6. ГОСТ 27.410-89. Надежность в технике. Основные понятия. – М.: Изд-во стандартов. 1990. – 37 с.

7. ГОСТ 27751 – 88 [СТ СЭВ 384-87]. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету. – М.: Изд-во стандартов. 1988. – 10 с.

8. ДБН В.2.3-14:2006 «Мости та труби. Правила проектування ». – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства, 2006

9. ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2013 «Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів». - Мінрегіонбуд України, К.: 2013

10. ДСТУ-Н Б EN 1990:2008«Єврокод. Основи проектування конструкцій (EN 1990:2002, IDT)»

11. Лантух-Лященко А.І. Вероятностная модель оценки технического состояния и прогноза остаточного ресурса элементов автодорожных мостов / Лантух-Лященко А.І. – М.:

Дороги и мосты. Российский дорожный научно-исследовательский институт. 2007. – с. 103–111

12. Лантух-Лященко А.І. До проекту державних будівельних норм з оцінки технічного стану мостів. // Зб. Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій. – Вип.1., Львів: Каменяр, 2000. – с.78–83.

13. Лантух-Лященко А.І. Оцінка надійності споруди за моделлю марковського випадкового процесу з дискретними станами. //Зб. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К.: 1999

14. Лантух-Лященко А.І. Новая модель прогноза жизненного цикла железобетонных элементов мостов. //Зб. Сучасні проблеми технічного регулювання у будівництві – К.: КНУБА, 2016. вип.2. – С. 33 - 40

15. Марков А.А. Исчисление вероятностей. 2-е издание. СПб. 1908

16. Панасюк В.В. Механика квазихрупкого разрушения материалов. – К.: Наук. думка, 1991.

17. Панасюк В.В. Механика разрушения и прочность материалов / Справ. пос. в 4-х т. под. ред. В.В. Панасюка. – К.: Наук. думка, 1988-1990.

18. Чирков В.П. Вероятностные методы расчета мостовых железобетонных конструкций. М.: Транспорт, 1980.

19. Frangopol D. Reliability-Based Life-Cycle Management of Highway Bridges / Frangopol D. et al. // Journal of computing in Civil Engineering –January (2001), –pp. 27 – 34.

20. ISO 2394: 1998. General principles on reliability for structures. 2nd ed. Geneve, Switzerland: ISO, 1998.

21. Miner, M. A., Cumulative damage in fatigue, J. Applied Mech., 12 (1945) pp. 159-164.

22. Melchers, R.E. Structural Reliability Analyssis and Prediction/ Second Edition. John Wiley & Sons.- New York: 1999, 437 p.

23. Probabilistic Model Code ISBN 978-3-909386-79-6. Интернет ресурс: http://www.jcss.byg.dtu.dk

24. Zhang Z., Sun X., Wang X. Determination of Bridge Deterioration Matrices with State National Bridge Inventory Data (IBMC03-042). - 9th International Bridge Management Conference, Orlando, Florida, 2003 p.207 – 219

Рецензенти:
Гамеляк І.П., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.
Марчук О.В., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

Reviewers:
Gameliak I.P., Dr. Tech. Sci., National Transport University.
Marchuk O.V., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Стаття надійшла до редакції**: 12.03.2017 р.**

УДК 625.7/.8

Литвиненко А.С.

ПРО МЕТОДИ СТАТИЧНОГО І ДИНАМІЧНОГО ЗОНДУВАННЯ ЯК МЕТОДИ ПРЯМОГО ПОЛЬОВОГО ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ДИНАМІЧНОЇ В'ЯЗКОСТІ ЗВ'ЯЗНИХ ҐРУНТІВ

Анотація. У роботі доводиться, що методи статичного і динамічного зондування можуть і повинні бути методами прямого польового визначення такого природного показника зв'язних ґрунтів як їх коефіцієнт динамічної в'язкості. Використання реальних значень коефіцієнта динамічної в'язкості дозволяє в розрахунках міцності і стійкості відмовитися від таких штучних параметрів зв'язних ґрунтів як кут внутрішнього тертя та зчеплення.

Ключові слова: Зв'язні ґрунти, статичне зондування, динамічне зондування, показник текучості, коефіцієнт динамічної в'язкості.

УДК 625.7/.8

Литвиненко А.С.

О МЕТОДАХ СТАТИЧЕСКОГО И ДИНАМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ КАК МЕТОДЫ ПРЯМОГО ПОЛЕВОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ СВЯЗНЫХ ГРУНТОВ

Аннотация. В работе доказывается, что методы статического и динамического зондирования могут и должны быть методами прямого полевого определения такого природного показателя связных почв как их коэффициент динамической вязкости. Использование реальных значений коэффициента динамической вязкости позволяет в расчетах прочности и устойчивости отказаться от таких искусственных параметров связных грунтов как угол внутреннего трения и сцепление.

Ключевые слова: Связные грунты, статическое зондирование, динамическое зондирование, показатель текучести, коэффициент динамической вязкости.

UDC 625.7/.8

Lytvynenko A.S.

ABOUT THE METHODS OF STATIC AND DYNAMIC SOUNDING AS METHODS OF DIRECT FIELD DETERMINATION OF THE COEFFICIENT OF DYNAMIC VISCOSITY OF COHESIVE SOILS

Abstract. The study proves that the methods of static and dynamic probing can be and should be regarded as the methods of direct field definition of such natural indicator of cohesive soils as dynamic viscosity coefficient. The use of actual values of dynamic viscosity coefficient allows abandoning such artificial characteristics of cohesive soils as an angle of internal friction and adhesion in the calculation of strength and stability.
Key words: Cohesive soils, the static probing, dynamic probing, the turnover rate, the coefficient of dynamic viscosity.

Вступ

У небагатьох літературних джерелах, які нам відомі, фахівці з будівельного ґрунтознавства та механіки ґрунтів торкаються питання дослідження в’язкості зв’язних ґрунтів і визначення їх коефіцієнтів динамічної в’язкості – μ Па сек. Одним із таких джерел є робота Н.Н. Маслова [1, с. 105], в якій автор зокрема торкається як питання визначення цього показника, так і наводить його орієнтовні значення посилаючись на свою ж таки роботу [2]. На цю ж роботу [2] посилається і С.С. Вялов у своїй книзі [3, с.114]. Там же він наводить дані з цього питання і ще декількох авторів, а також робить порівняння лабораторних методів визначення цього показника.

У цій роботі ми покажемо як ще можна досить швидко, і не тільки в лабораторних умовах, але й на основі польових випробувань, обґрунтовано визначити значення коефіцієнтів динамічної в’язкості зв’язних ґрунтів при їх різних станах методом динамічного зондування, що здійснюється за удосконаленою методикою зондування і обробки отриманих даних, наведених в роботі [4, с.154].

Основна частина

Як зазначає С.С. Вялов [3, с.114]: «Вязкость различных сред меняется в весьма большом диапазоне: от $1{,}8 \cdot 10^{-4}$ П для воздуха, 10^{-2} П для воды, 0,5–10,0 П для различных масел и до $5 \cdot 10^{22}$ П для земляной коры».

Нас же, виходячи з досвіду практики проектування і спорудження **штучних ґрунтових споруд,** найбільше цікавить стан, а відповідно і в'язкість, ґрунтів в досить вузькому інтервалі значень показника текучості: $-0{,}5 \leq I_L \leq 0{,}5$. Комплексні лабораторні дослідження виконувалися на відносно великих зразках ґрунтів (Д=152,0 мм; Н=178,00 мм) які виготовлялись за допомогою трамбуючого пристороюю для виготовлення ущільнених зразків за методом Проктора. Ущільнення здійснювалося у дев'ять шарів через шабот-вкладиш для забезпечення рівної поверхні зразка з обох його сторін, оскільки у комплекс випробувань входило не тільки визначення сили опору ґрунту зондуванню і коефіцієнта динамічної в'язкості (рис.1), але і визначення для кожного зразка модулів пружності (деформації) (рис. 2) та величини найбільшого допустимого пружного прогину, який відповідає цьому модулю. Дослідження модулів пружності і величини прогину здійснювалося за новою удосконаленою методикою і при збільшенні чутливості індикаторів переміщення з 0,01 мм до 0,001 мм для напівтвердого і тугопластичного стану ґрунтів.

Робота виконувалась за схемою греко-латинського квадрата із жорсткою прив'язкою до певних значень показника текучості I_L. Ступінь водо насичення всіх зразків – $Sr \geq 0{,}95$. Згідно прийнятого плану експериментальних досліджень одночасно вивчався як вплив діаметра наконечника (індентора) – (d) на силу опору ґрунтів зондуванню F, Н, так і кут його загострення – ($\boldsymbol{\alpha}°$). В подальших дослідженнях передбачалось ще й визначення сили опору ґрунтів зондуванню в залежності від їх виду за числом пластичності I_P.

Необхідний ступінь водонасичення зразків $S_r \geq 0{,}9–0{,}95$ досягався вже в процесі їх виготовлення трамбуванням. Як показали окремі зразки задана в процесі ущільнення вологість (ω) практично не змінювалась, навіть при насиченні їх водою з вакуумуванням протягом трьох-шести місяців. При цьому, як верхнє, так і нижнє денце форми мали велику кількість отворів діаметром 2,0 мм, а між зразком і денцями у два шари клався фільтрувальний папір.



Рисунок 1 – Пристрій для динамічного зондування зразків в лабораторії



Рисунок 2 – Штампові випробування зразків на важільному пресі

Лабораторні дослідження зразків на опір зондування дозволяють залучити експериментальний досвід вже давно і добре випробуваний у гідро- і аеродинаміці [5, с.121, 133, 160-163].

Згідно цього досвіду [5, с.132]: «Сила сопротивления при обтекании тела вязкой жидкостью зависит от нескольких параметров, а именно от скорости, вязкости жидкости, поперечных размеров тела и плотности среды; функциональная зависимость в этом случае имеет вид:

$$\mathrm{P} = f(\upsilon, L, \omega, \rho, \mu)$$

где P – сила сопротивления;

υ – скорость набегающего потока жидкости;

ω – площадь миделева сечения… остальные обозначения прежние».

В результаті аналіз розмірностей цих показників приводить до виразу [5, с. 133, (38.16)]:

$$\mathrm{P} = \mathrm{C}\,\rho v^2 \omega\, f(R)$$

де – $f(R) = R^{-S}$ (або – в загальному випадку – будь-яка інша функція числа Рейнольдса, де саме число Рейнольдса, як безрозмірний комплекс, має такий вигляд:

$$R = \frac{v d \rho}{\mu}$$

де υ – швидкість руху;

d – міделевий діаметр;

ρ – густина середовища;

μ – коефіцієнт динамічної в’язкості.

Про це ж саме можемо довідатись і в роботі [6, с.104].

Таким чином, згідно аналізу розмірностей для умов динамічного зондування можемо визначити таке:

тоді:

$$F = \varphi\,(\rho^a;\ h^b;\ \mu^c;\ m^k;\ v^h;\ d^m;\ g^p) \qquad (1)$$

або:

$$MLT^{-2} = [(ML^{-3})^a\,(L)^b\,(ML^{-1}T^1)^c\,(M)^k\,(LT^{-1})^h\,(L)^m\,(LT^{-2})^p] \qquad (2)$$

для

M; $1 = a + c + k$

L; $1 = -3a + b - c + n + m + p$

$T;\ -2 = -c - n - 2p$

тоді після всіх спрощень маємо:

$$a = 1 - c - k$$
$$n = 2 - c - 2p$$
$$m = p - b + 2 - c - 3k.$$

Таблиця 1 – Вихідні дані до аналізу розмірностей

№ змінної	Назва змінної	Позначення	Формула розмірності
1	Густина ґрунту (об'ємна маса ґрунту)	ρ	ML^{-3}
2	Коефіцієнт динамічної в'язкості ґрунту	μ	$ML^{-1}T^{1}$
3	Величина міделевого перерізу конуса	d	L
4	Сумарна маса молота і зонда	m	M
5	Середня швидкість одночасного руху молота і зонда	v	LT^{-1}
6	Глибина зондування за один удар молота	h	L
7	Прискорення вільного падіння	g	LT^{-2}
8	Сила опору ґрунту зондуванню	F	MLT^{-2}

Підставляючи ці співвідношення для показників ступенів у формулу (1) отримуємо:

$$F = \varphi\,(\rho^{1-c-k};\ h^{b};\ \mu^{c};\ m^{k};\ v^{2-c-2p};\ d^{p-b+2-c-3k};\ g^{p}). \qquad (3)$$

І врешті-решт об'єднуючи члени з однаковими показниками ступенів отримуємо такі безрозмірні комбінації:

$$\frac{F}{\rho v^2 d^2} = \varphi\left(\frac{\mu}{\rho \cdot v \cdot d}\right)^{c}\left(\frac{h}{d}\right)^{b}\left(\frac{M_{m+3}}{\rho d^3}\right)^{k}\left(\frac{gd}{v^2}\right)^{p}. \qquad (4)$$

Від умов статичного зондування цей набір безрозмірних комплексів відрізняється тільки тим, що при статичному зондуванні не буде останнього з них – v/gd (число Фруда), оскільки динамічне зондування здійснюється із впливом поля земного тяжіння, а сила опору при статичному зондуванні не залежать від прискорення вільного падіння.

Не претендуючи на більш повний аналіз співвідношення всіх згаданих безрозмірних комплексів тільки зазначимо, що для нас найбільш важливим є саме число Рейнольдса, яке дозволяє більш-менш об'єктивно визначити такий важливий для будівельного ґрунтознавства показник як коефіцієнт динамічної в'язкості ґрунтів – μ, Па сек. Та перед початком аналізу отриманих

експериментальних даних необхідно було більше об'єктивно визначитися із таким важливим параметром як швидкість руху конуса в ґрунтовому середовищі при його динамічному зондуванні.

Як відомо і попередні [7, 8] і чинні [9] в Україні нормативні документи при визначенні показника так званого умовного динамічного опору зондуванню – $Р_Д$, МПа (а в склад цього показника входить і сила опору зондуванню F, Н) користувались залежністю [10, с.141]:

$$Р_Д = (К \cdot По \cdot Ф \cdot n)/h \qquad (5)$$

в якій при визначенні коефіцієнта К:

$$К = (М_м + e^2 \cdot М_З)/(М_м + М_З) \qquad (6)$$

додатково враховували спеціальний коефіцієнт $e = 0{,}56$ ($e^2 = 0{,}314$) для врахування пружності удару молота при його взаємодії із зондом (як сумою мас занурених штанг) та ґрунтом.

Стосовно цього коефіцієнта автори роботи [11, с.46] пишуть: «Известно, что при (не упругом ударе $e = 0$, при абсолютно упругом ударе $e = 1$. При упруго- пластичном ударе, что имеет место в процесе динамического зондирования, коефициент е принимает промежуточное значение. Для стали, в частности, $e = 0{,}556$, что и принято в нормативних документах. Однако исследования подскока молота при зондировании показывает, что характер упруго-пластического удара молота определяется в значительной степени свойствами грунтов. Поэтому следует рассматривать систему молот-зонд-грунт как единое целое». В іншому місці ці ж автори [11, с.38] пишуть: «При зондировании слабых грунтов подскока молота при ударе, как правило, не наблюдается, что свидетельствует о неупругом характере удара. Поэтому значения коэфициента К при учете потерь энергии при ударе следует рассчитывать по формуле

$К = (М_м)/(М_м + М_З)$ принимая значение коэфициента е=0, как при неупругом ударе ($М_м$ и $\sum М_З$ – соответственно массы молота и зонда с оголовником и наконечником)».

Але в усіх, як колишніх ГОСТ, так і чинних ДСТУ умови використання коефіцієнта е спеціально не наголошувались, що призводило (і призводить дотепер) до певної і досить великої похибки у визначенні показника $Р_Д$, а відповідно і у визначенні сили опору ґрунтів зондуванню F, Н. Та якщо дотепер при практичному користуванні такими нормативними документами, це не мало

особливого значення, оскільки вони розглядають метод динамічного зондування (як і статичного зондування) тільки як допоміжний до інженерно-бурових робіт, то тепер, коли на основі даних динамічного зондування можна визначати коефіцієнт динамічної в'язкості ґрунтів, такий підхід є неприпустимим.

Більш того, при оцінці методом динамічного зондування стану і властивостей зв'язних ґрунтів, які нас найбільше цікавлять, ми можемо виконувати зондування тільки до появи підскоку і коли він з'являється роботи зазвичай необхідно припиняти, бо це свідчить про досить велику міцність розташованих глибше шарів ($I_{\text{L}} < -0{,}5$).

Таким чином, враховуючи саме пластично-в'язаний характер деформування ґрунтів в процесі динамічного зондування слід розраховувати швидкість руху наконечника разом із зондом і молотом через імпульс тіла після зіткнення їх мас і сумісному русі в ґрунті за один удар молота:

$$V = (\text{M}_{\text{м}} \cdot V_{\text{M}})/(\text{M}_{\text{м}} + \text{M}_{\text{З}}). \qquad (7)$$

При цьому середня швидкість ($V_{\text{ср}}$) системи має бути відповідно в двічі меншою.

Проведені порівняльні розрахунки значень показника – $\text{Р}_{\text{Д}}$, МПа показали, що його абсолютні значення при $\text{e} = 0$ зменшились лише в 1,2 рази порівняно із розрахунками при $\text{e} = 0{,}314$, а при розрахунках через імпульс тіла вони зменшуються приблизно у п'ять разів порівняно із розрахунками при $\text{e} = 0{,}314$. Характерно, що складність розрахунків значень показника $\text{Р}_{\text{Д}}$ при цьому не збільшилась порівняно із попередньою процедурою і досить просто може виконуватись навіть на програмованому калькуляторі не кажучи вже про персональний комп'ютер чи ноутбук.

Майже не змінився при цьому і характер безперервного графіка (епюри) усереднених значень показника $\text{Р}_{\text{Д ср}}$ і параметрів розкиду його значень у шарі при визначенні різних за властивостями шарів по глибині зондувальної свердловини. Більш того при нових абсолютних значеннях показниках $\text{Р}_{\text{Д}}$, МПа він став ще більш виразним.

Також ще більшої ваги набули значення показника $\text{Р}_{\text{Д}}$ через їх прив'язку до певних значень показника текучості I_{L}. Тепер на будь яких графіках дуже добре видно, що той чи інший прошарок чи шар має властивості кращі чи гірші (і на скільки) порівняно із станом ґрунту на його межі розкочування. Це ж в

одноковій мірі стосується і значень коефіцієнтів динамічної в'язкості ґрунтів – μ, Па сек чи значення модуля пружності $E_{кр}$, МПа.

При аналізі даних лабораторних досліджень, одночасно із значеннями показника $Р_Д$, для кожного зразка розраховувались значення величини переміщення наконечника за один удар; середня швидкість його руху ($V_{ср}$, м/сек); сила опору F, Н; безрозмірний коефіцієнт опору (C_x); число Рейнольдса (R) та коефіцієнтів динамічної в'язкості (μ, Па сек).

На основі аналізу отриманих лабораторних даних для легкого пилуватого суглинку, характеристики якого наводяться на рисунках до цієї роботи, при $S_r \geq 0{,}95$ отримали такі залежності:

$$Р_Д = 0{,}4exp(-3{,}67\ I_L), \text{МПа} \tag{8}$$

$$\mu = 15{,}0exp(-2{,}5\ I_L), \text{кПа сек} \tag{9}$$

$$E_{пр} = 70{,}0exp(-3{,}9\ I_L), \text{МПа} \tag{10}$$

Ці залежності, до отримання більш точно визначених на основі наступних лабораторних досліджень, можуть бути використані при попередніх оціночних розрахунках і для інших зв'язних ґрунтів.

На рис. 3 показано (по усереднених даних) характер функціональної залежності (8). Подібний характер мають і залежності (9) і (10). Для практичного визначення показників μ і F достатньо за даними показника $Р_Д$, отриманими в процесі польових випробувань штучно створених ґрунтових масивів, оцінити показник текучості I_L для кожного з виокремлених шарів, і підставивши їх у залежності (9) і (10) розрахувати значення показників μ, Па сек та Е, МПа які в свою чергу вже можуть бути безпосередньо використані у розрахунках стійкості, міцності і деформативності певних елементів штучних ґрунтових масивів.

Визначені подібним чином показники текучості можуть бути уточнені шляхом перерахунку за результатами визначення вологості зразків відібраних із відповідних шарів та значень густини частинок ґрунтів (ρ_s) , що не вимагає використання ні ріжучих кілець, ні інших засобів відбору монолітів ґрунтів.

На рис. 4 надається графічна інтерпретація інтервалу значень показників текучості $(-0{,}5 \leq I_L \leq 0{,}5)$ досліджуваного для визначення коефіцієнта в'язкості μ. Цей (інтервал) тут розглядається як дотична лінія до гіперболічної

залежності $\rho_d = f(\omega)$ у точці, що відповідає вологості ґрунту на межі розкочування ω_p.

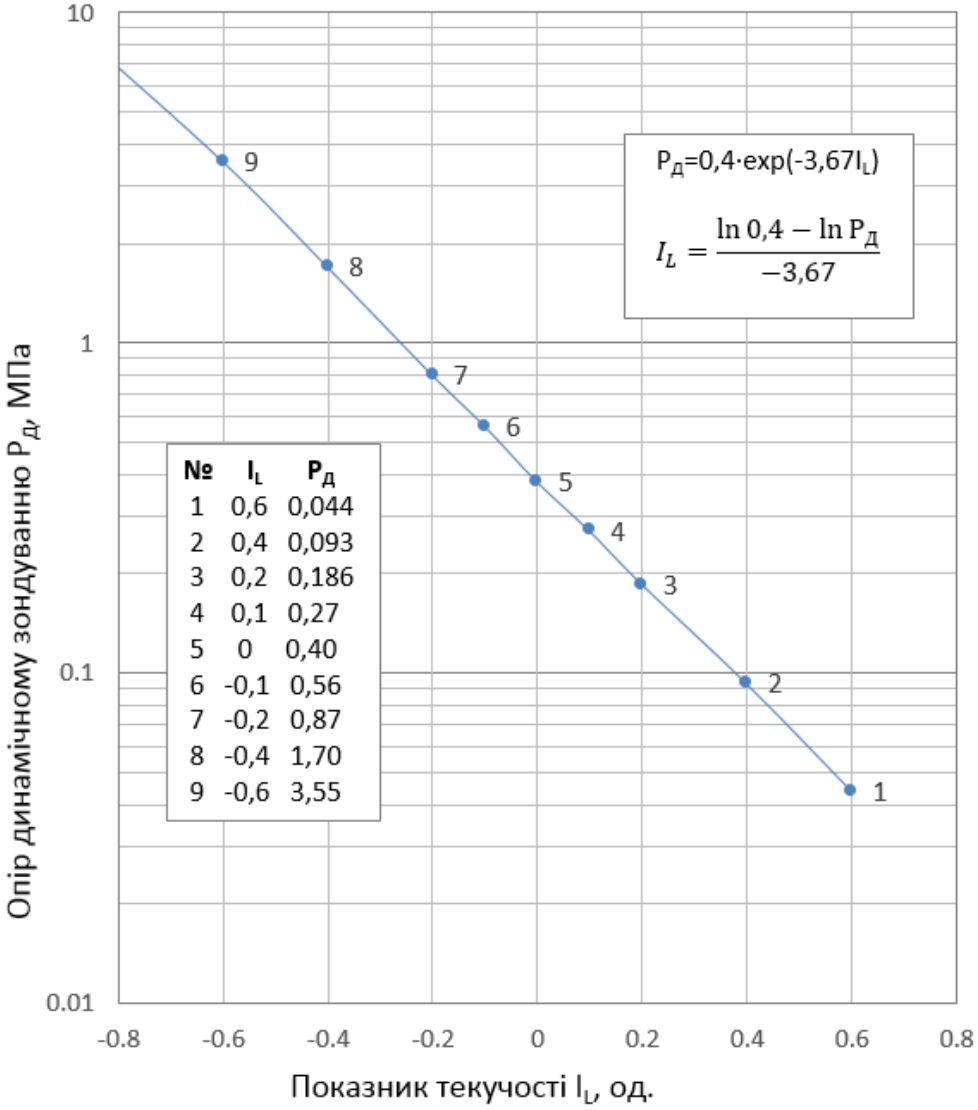


Рисунок 3 – Залежність показника $Р_д$, розрахованого через імпульс тіла, від показника текучості $Р_д=f(I_L)$

Тут же (рис.4) схематично показано і типову криву стандартного ущільнення ґрунтів оскільки зазвичай величина так званої максимальної густини сухого ґрунту ($\rho_{d\ max}$) практично відповідає густині сухого ґрунту на межі розкочування ($\rho_{d\ \omega p}$). На цьому ж малюнку також показані значення концентрації ґрунтових паст і розчинів (суспензій) – С%, які свідчать, що коли концентрації цих суспензій наближається до нуля (С=0%) то, згідно отриманої залежності (9) мають показник текучості $\mu=1\cdot10^{-3}$ Па сек так само як і вода (1 мПа сек).

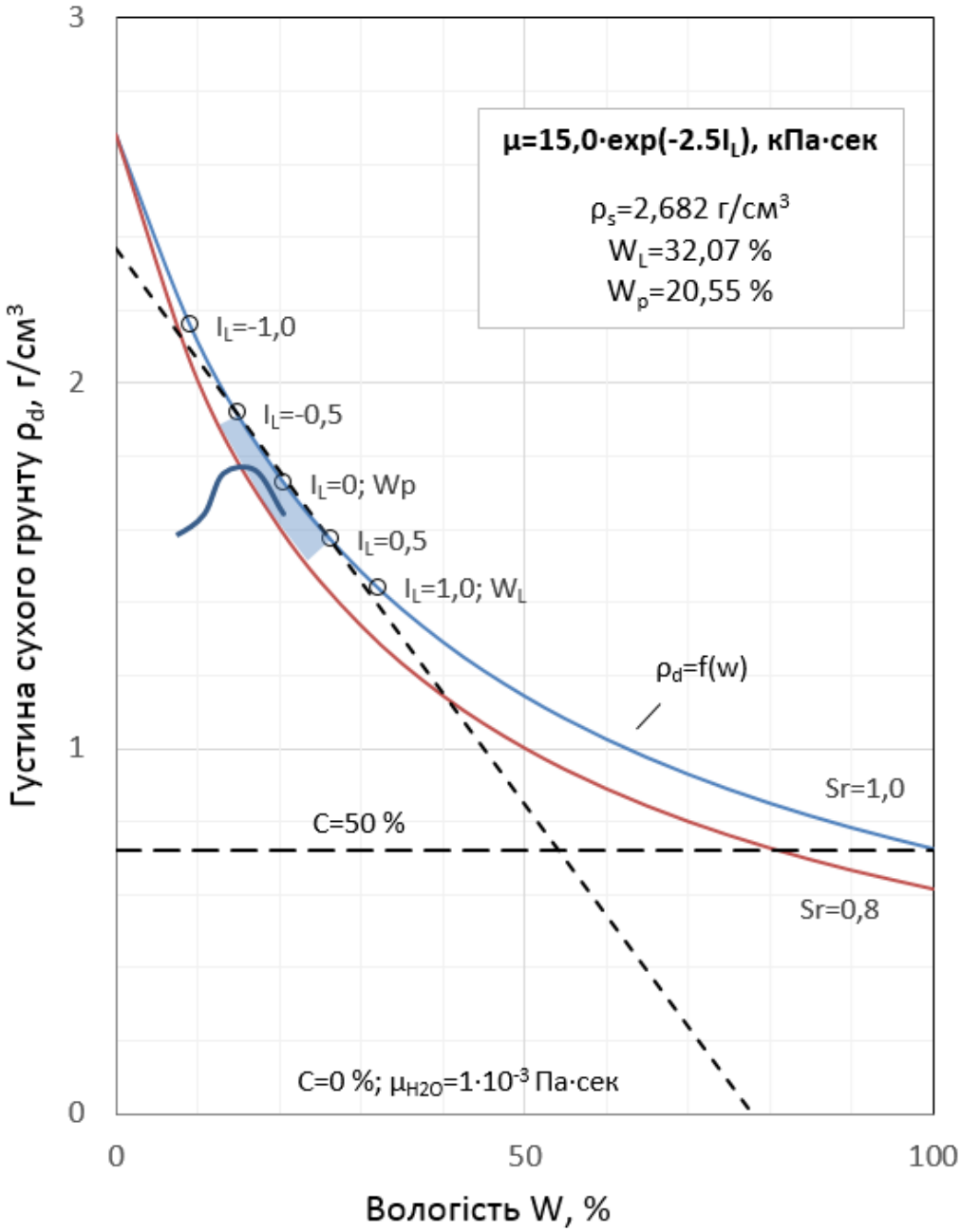


Рисунок 4 – Інтервал станів зв'язних ґрунтів що досліджувався при визначенні показників μ, Па·сек та $E_{пр}$, МПа

Цікавим також є порівняння залежності значень показника пенетрації ґрунтів конусом – *R*, МПа (α=30°) при визначенні меж пластичності (ω_p– ω_l) за В.Ф. Розареновим [12, с.118], та залежності побудованої для нових значень показника $P_Д$, МПа розрахованих через імпульс тіла, яке показано на рис.5. Відсутність повного збігу між ними можна пояснити хіба що тільки різною величиною кута та при вершині конуса –α =60° при зондуванні. Виходячи з цього можна запропонувати перейти від чинної пенетрації конусом α=30°, яка використовується лише в деяких країнах колишнього СРСР (Радянського Союзу), до пенетрації конусом α=60°, оскільки відлік глибини занурення конуса

у ґрунт при різних станах (пластичностях) ґрунтів в будь якому випадку слід визначати не на око – по рисочці, а по циферблатній шкалі пенетрометра.

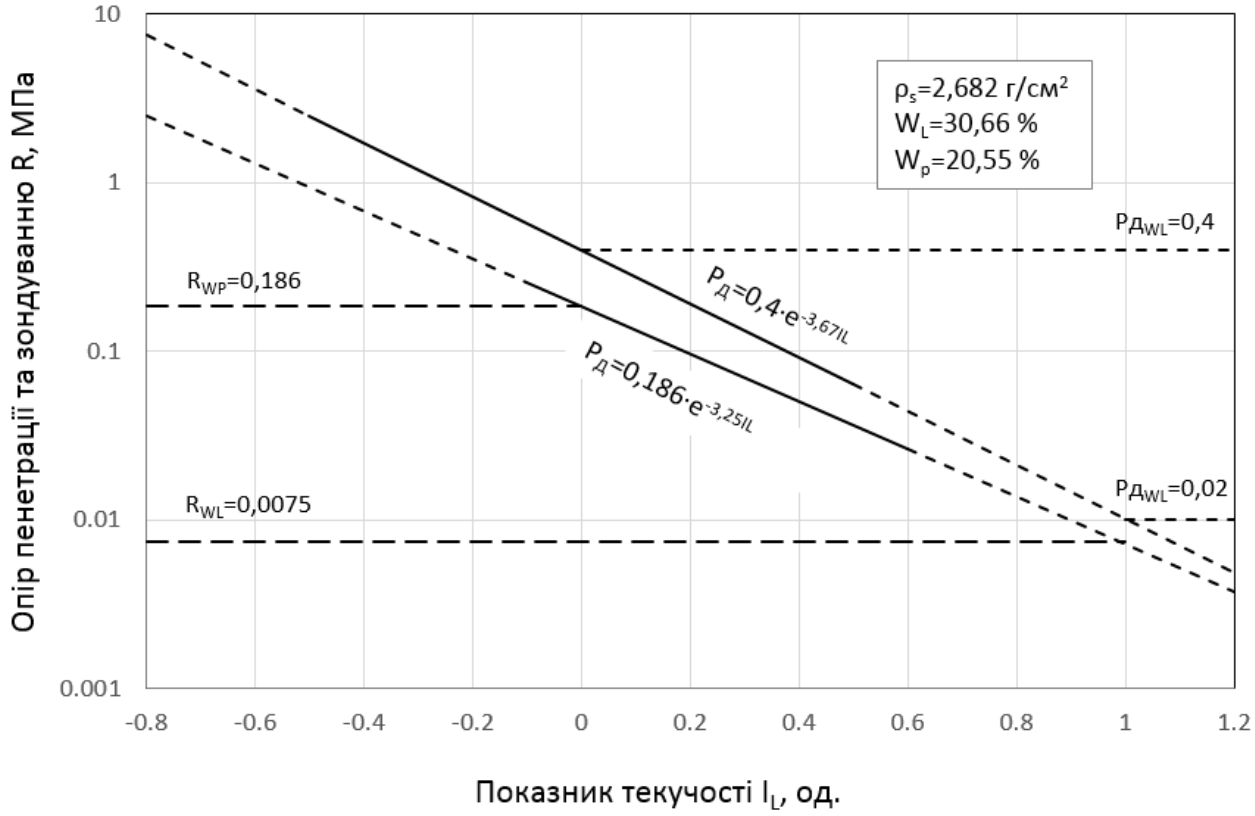


Рисунок 5 – Порівняння даних пенетрації R та динамічного зондування $Р_д$, значення яких розраховано через імпульс тіла

На рис. 6 дано загальне порівняння швидкостей протікання різних процесів і явищ: від випробування на руйнування зразків при стиску на пресі ($v = 0{,}3$ см/хв), до продуктивної швидкості вітру ($v = 5–25$ м/сек). З цього порівняння видно в чому полягає головний недолік чинного методу статичного зондування зв'язних ґрунтів – зазвичай дуже маленька швидкість подачі зусилля при невеликій густині ґрунту, що не дозволяє правильно оцінювати реальний опір ґрунтів зондуванню в польових умовах. В той же час швидкість руху наконечника динамічного зонда як в лабораторних, так і в польових умовах майже на два порядки більше, і в цілому збігається із швидкістю руху води в звичайних побутових водо несучих мережах. До того ж у всіх модифікаціях зондів, які нами використовувались, є можливість скидати молот з різної висоти, що особливо важливо для польової модифікації зонда [4]. Таким чином, існує можливість регулювати величину імпульсу сили на величину занурення конуса

шляхом зміни кількості ударів молота (зазвичай від трьох до п’ятнадцяти ударів). При цьому добре видно наскільки ефективно кожен удар використовується при зондуванні і наскільки повно відповідає фізичному стану ґрунту, який досліджується.

Проведені дослідження також дозволили порівняти процес динамічного зондування конусом зв’язних ґрунтів різного стану з процесами обтікання тіл іншої конфігурації потоками різної в’язкості і густини. На рис.7 наведені результати як колишніх наших досліджень, з метою моделювання процесу статичного і динамічного зондування, так і теперішні. Характерно, що всі вони досить добре лягають на одну лінію залежності коефіцієнта опору C_x від числа Рейнольдса, а саме:

$$C_x = 4{,}116 \cdot R^{-0.83}. \qquad (11)$$

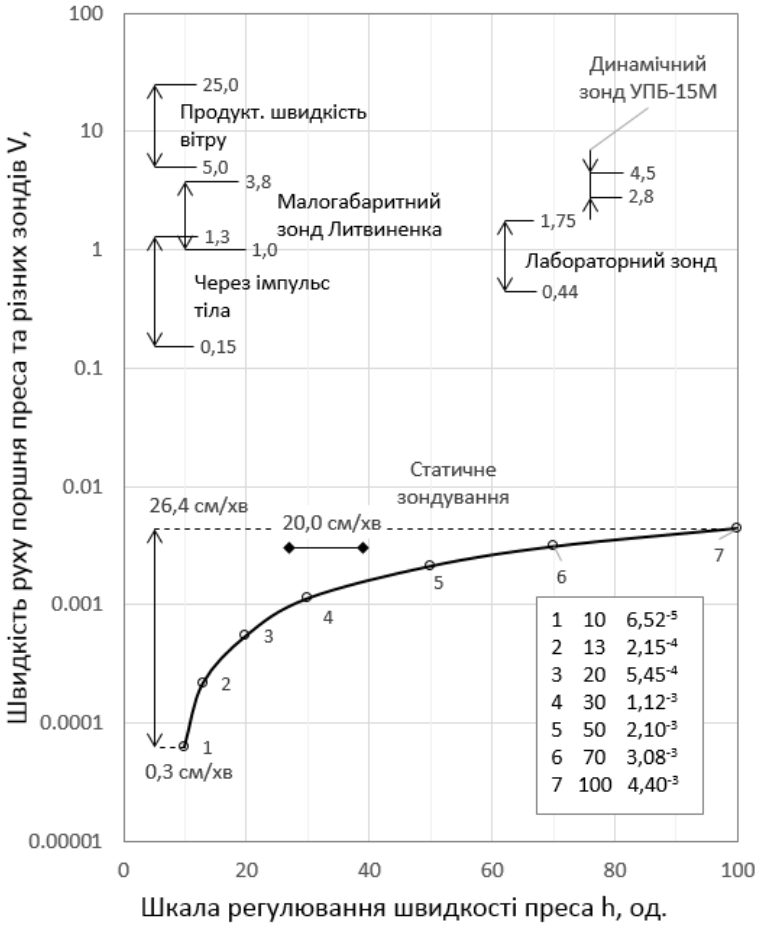


Рисунок 6 – Порівняння швидкостей випробовувань різних будівельних матеріалів і ґрунтів

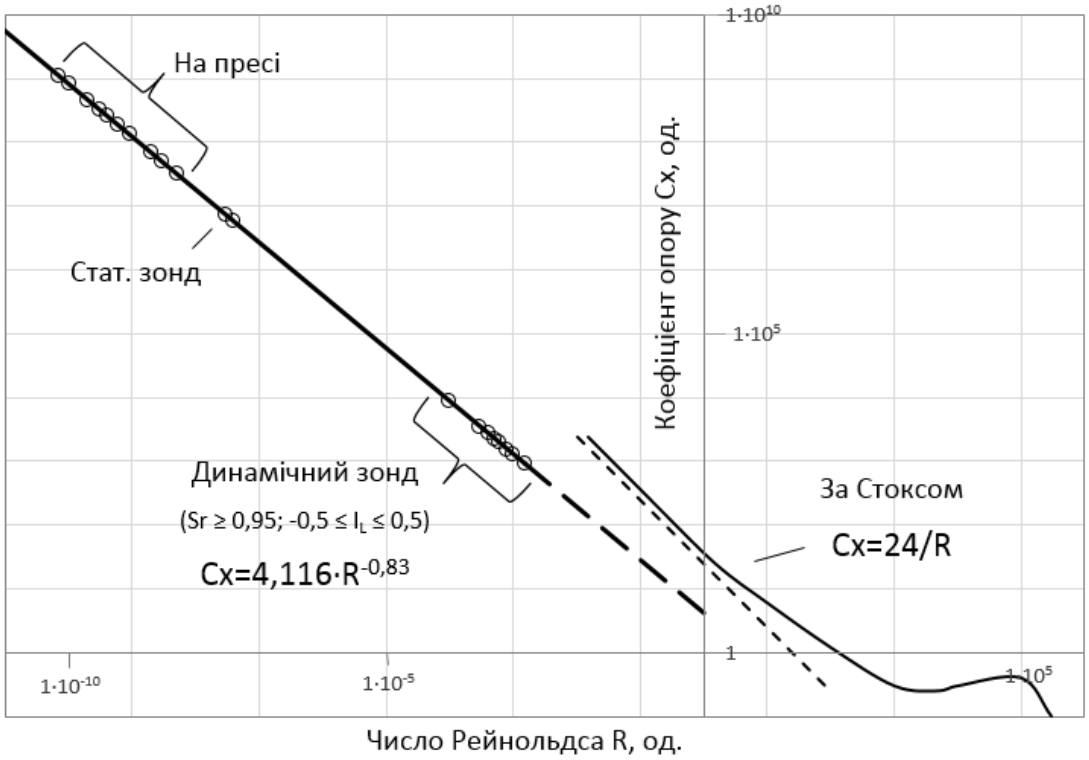


Рисунок 7 – Порівняння даних статичного і динамічного зондування із даними традиційних гідравлічних випробувань

Висновки

1. Як показали проведені лабораторні дослідження, при відповідному доопрацюванні, методи динамічного і статичного зондування можуть використовуватись як методи прямого визначення коефіцієнта динамічної в'язкості зв'язних ґрунтів в інтервалі показника текучості $(-0{,}5 \leq I_{\mathrm{L}} \leq 0{,}5)$ при $S_{\mathrm{r}} \geq 0{,}90-0{,}95$.

2. Лабораторні дослідження також показали, що при згаданих вище умовах коефіцієнт динамічної в'язкості ґрунтів може змінюватись в інтервалі $1\cdot10^2 – 1\cdot10^6$ Па сек.

3. При станах ґрунтів, з якими найбільш часто зустрічаються виробничники і проектанти, лабораторні визначення коефіцієнта динамічної в'язкості по точності не поступаються традиційним випробуванням ґрунтів як на одноплощинний зріз, так при стабілометричних випробуваннях.

4. Проведені розрахунки стійкості укосів штучних споруд, як не порушених, так і уражених зсувами показали, що значення коефіцієнта динамічної в'язкості μ можуть цілком замінити не тільки значення показників зчеплення (С) зв'язних ґрунтів, але і відповідають традиційним значенням тангенсів кута внутрішнього тертя (φ) для піщаних ґрунтів.

Література

1. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними):учебное пособие для вузов/Н. Н. Маслов. – М.: Стойиздат, 1977. – 320 с.
2. Маслов Н.Н., Караулов З.М. Реологические явления и их значения в развитии оползневых процессов. Тезисы докладов междуведомственного совещания по инженерной геологии. Издательство МГУ, 1968.
3. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. Издательство «Высшая школа», – М.:1978. – 448 с.
4. Литвиненко А.С. «Удосконалення методики обробки даних, отриманих методами динамічного і статичного зондування ґрунтів». Міжвідомчий науково-технічний збірник «Будівельні конструкції» НДІБК, Вип. 63, Київ – 2005. – с. 154-162.
5. Яблонський В.С. Краткий курс технической гидромеханики. Изд. физ-мат. литературы . – М., 1961. – 356 с.
6. Шенк Х. Теория инженерного експеримента. Перевод с английского. Издательство «Мир» – М., 1972 – 382 с.
7. ГОСТ 19912-74 Грунты. Метод полевого испытания динамическим зондированием. Госстандарт – М.:1975.
8. ГОСТ 19912-81 Грунты. Метод полевого испытания динамическим зондированием. Госстандарт – М.:1982.
9. ГОСТ 19912-2001 (ДСТУ БВ.2.1-9-2001) Межгосударственный стандарт. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием. Киев, 2002.
10. Трофименков Ю.Г., Воробков Л.Н. Полевые методы исследования строительных свойств грунтов. – М.: Стойиздат, 1981. – 215 с.
11. Рубинштейн А.Я. , Кулачкин Б.И. Динамическое зондирование грунтов. Издательство «Надра» – М.:1984. – 98 с.
12. Разорёнов В.Ф. Пенетрационные испытания грунтов (теория и практика примерения) – М.: Стойиздат, 1980 – 247 с.

Рецензенти:
Кузло М.Т., д-р техн. наук, Національний університет водного господарства та природокористування.
Каськів В.І., канд. техн. наук, Національний транспортний університет.

Reviewers:
Kuzlo M.T., Dr. Tech. Sci., National University of Water and Environmental Engineering.
Kaskiv V.I., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **20.02.2017 р**.

УДК 625.7/.8

Савенко В. Я., д-р техн. наук, **Хаджи Р.,** д-р техн. наук, **Дахуа Л.**

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ НА МЕТОДАМИ ПРЕДЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ И КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация: В статье рассмотрен случай устойчивости участка автомагистрали А1 (восток-запад) в Алжире. Настоящее исследование имеет целью оценку стабилизирующего эффекта четырех вариантов усиления, а именно: со слоями нетканого геотекстильного материала; подпорной стенки; сваи и предварительно напряженные анкеры. Авторами выполнено сравнение результатов методами предельного равновесия и конечных элементов всех этих комбинаций для выбора наиболее эффективного укрепления.

Ключевые слова: устойчивость откоса, геотекстиль, метод конечных элементов.

УДК 625.7/.8

Савенко В. Я., д-р техн. наук, **Хаджі Р.,** д-р техн. наук, **Дахуа Л.**

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ УКОСІВ НА МЕТОДАМИ ГРАНИЧНОЇ РІВНОВАГИ І КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Анотація: У статті розглянуто випадок стійкості ділянки автомагістралі А1 (схід-захід) в Алжирі. Це дослідження має на меті оцінку стабілізуючого ефекту чотирьох варіантів посилення, а саме: з шарами нетканого геотекстильного матеріалу; підпірної стінки; палі і попередньо напружені анкери. Авторами виконано порівняння результатів методами граничної рівноваги і кінцевих елементів всіх цих комбінацій для вибору найбільш ефективного укріплення.

Ключові слова: стійкість укосу, геотекстиль, метод кінцевих елементів.

UDC 625.7/.8

Savenko V. Ya., Dr. Tech. Sci., **Hadzhi R.,** Dr. Tech. Sci., **Dahua l.**

INVESTIGATION OF SLOPES STABILITY IN THE METHODS OF LIMIT EQUILIBRIUM AND FINITE ELEMENTS

Abstract: The article deals with the case of stability of the highway section A1 (east-west) in Algeria. The present study aims to evaluate the stabilizing effect of the four amplification options, namely: with layers of non-woven geotextile material; Retaining wall; Piles and prestressed anchors. The authors compared the results of all these combinations with the methods of limiting equilibrium and finite elements for choosing the most effective strengthening.

Key words: slope stability, geotextile, finite element method.

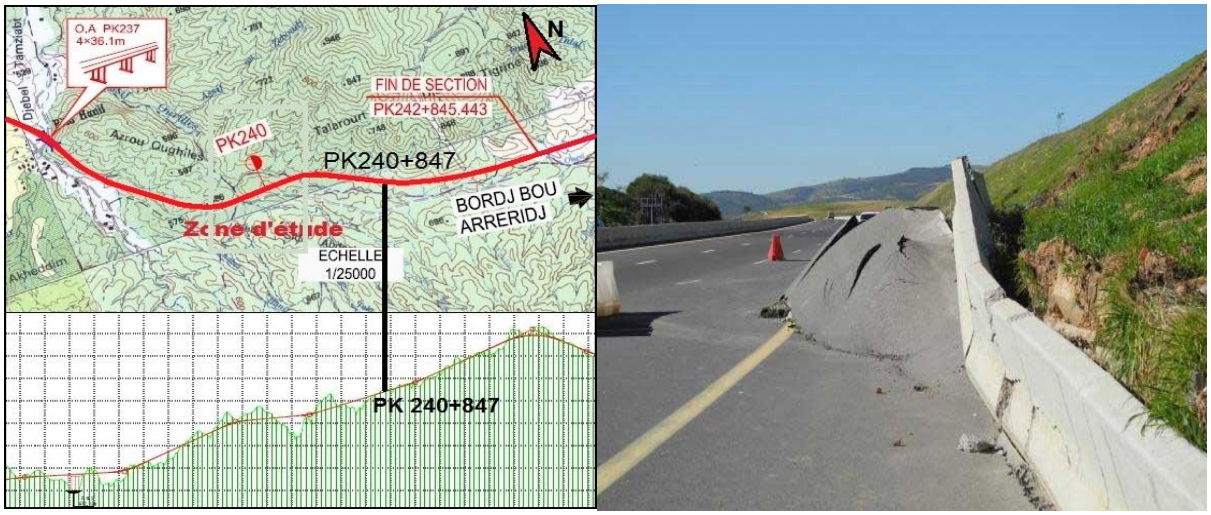
Постановка задачи

Учитывая амбициозные цели Алжира в своей новой стратегии, транспортная инфраструктура являются основным фактором в успехе развитии страны. Однако на отдельных участках автодорожных и железнодорожных насыпей возникают разрушения на уровне их основы и откосов (рис.1, а, б). Область исследования находится в городе Буира на ПК 240 + 847 автомагистрали А1. Первые сдвиги появились в виде продольных трещин на дороге длиной около 200 м с раскрытием в несколько сантиметров. Объем грунта, участвующий в оползне оценивается в 300.000 м^3. Обседования показали, что грунт состоит из гравелистых глин, покрытых слоем выветрелого. Анализ устойчивости по методу Бишопа (Geoslope/W) показал что поверхность скольжения проходит через подошву откоса. Наиболее вероятными причинами являются геоморфологический характер местности, наличие воды и нагрузки в верхней части откоса. Настоящее исследование имеет целью оценить стабилизирующий эффект четырех вариантов усиления, а именно: со слоями нетканого геотекстильного материала, подпорная стенка, сваи и предварительно напряженные анкеры.

Изложение основного материала

Исследование проводилось на участке автомагистрали А1 (Восток-Запад) с использованием слоев геотекстиля для укрепления насыпи. Изучаемые сдвиги

грунта произошли на ПК (240+847). Согласно выполненному технико-экономическому анализу подтверждено что решение путем включения слоев геотекстиля BidimS72 является наиболее выгодным, особенно в случае воздействий больших нагрузок на дорожную конструкцию [1, 2]. В научной литературе отмечается, что грунт может быть усилен геосинтетическими прослойками, волокнами, георешетками и т.д. [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].



а) **б)**

Рисунок 1 – Общий вид рельефа местности (а), сдвиговые выпирания (б)

Рассматриваемый участок расположен в горной местности, крутизна природного откоса между 20° и 35°. Высота над уровнем моря колеблется от 530m до 660m, а разница в отметках – между 20м и 60м. Изучаемая местность покрыта слоем илистых пород, толщиной около 5м. Коренные породы трещиноватые, ширина трещины составляет менее 1 мм с глубиной от 20 мм до 100 мм.

Порода относительно мягкая, ее характеристики могут ухудшиться и уменьшиться при контакте с водой. В соответствии с Алжирским сейсмическими нормами "R.P.A./2003", область исследования классифицируется как зона (II-2), то есть средней сейсмичности. Коэффициент горизонтального ускорения A = 0,25g.

Геологические и геотехнические характеристики: профиль имеет средний уклон 15°. Слои грунта состоят из насыпи толщиной 5м, затем слой пластичной глины, толщиной 5м, ниже – слой мергеля сильно выветлого превышает 30 м. Грутовые воды залегают на переменной глубине, в среднем около 9,5 м с тенденцией стока в направлении откоса. Динамические тесты

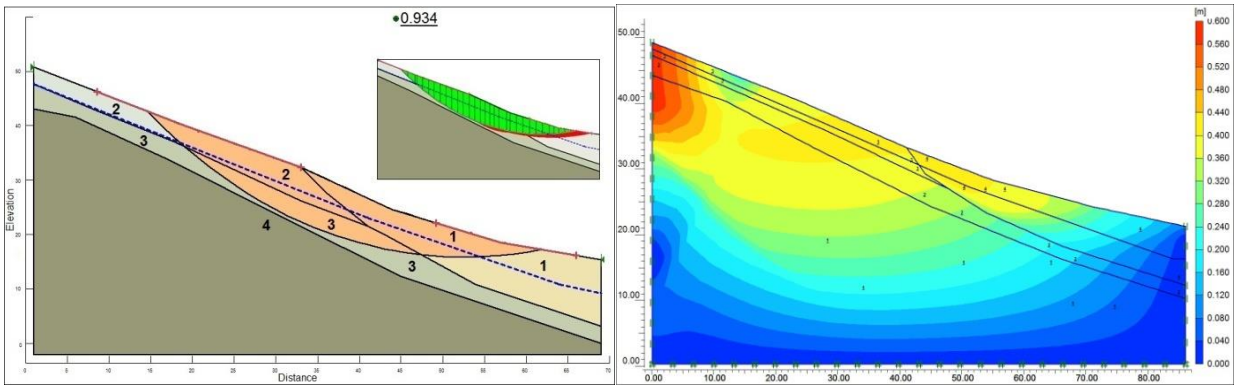
пенетрометра показывают, что поверхностный слой грунта рыхлый. Геотехнические и упругие параметры были определени с помощью тестов сдвига в коробке CASAGRANDE (не дренируемые условия) и сжимающих испытаний на прочность, выполняемых в лаборатории (Таблица 1).

Таблица 1 – Механические свойства изучаемого откоса

N°	Слой	γ_h (KN/m^3)	C (kPa)	φ (°)	E (kPa)	ν
1	илистые породы	21,5	5	25	12000	0.30
2	Песчаная глина	19	16	18	15000	0.32
3	Мергель полностью выветрелый	20	25	20	45000	0.35
4	Мергель выветрелый	21,4	30	25	95000	0.36

3. Анализ устойчивости скольжения откоса Для исследования устойчивости на скольжение поперечного сечения ПК240+847 мы использовали метод Бишопа, принимая круговые поверхности скольжения. Расчет стабильности проводили с использованием программного обеспечения Geostudio-Slope/W-2012. Выбранные коэффициенты безопасности: долгосрочный - F≥1,5 и F≥1,2 для случайной комбинации (относящийся к явлениям землетрясения). Землетрясение принимается в расчет через статическое эквиваленты. Горизонтальные и вертикальные коэффициенты: K_h= 0,5A и $K_v = \pm 0{,}5K_h$.

Результаты оценки равновесия указывают, что откос не является устойчивым. Расчетный коэффициент безопасности меньше, чем 1 (*Fs* = 0.932 по методом Бишопа , *Fs* = 0.934 по методом Моргенштерна и Приеса Morgenstern and Price, Fs = 0.910 по методу Ямбу, Fs = 0.916 по традиционному методу. Поверхность скольжения проходит вдоль границы раздела мергелья полностью выветлого (рис. 2.а). Сдвиг захватывает площадь около 4000 м² и объем около 300000 м3. Эти данные дают основания предположить, что основной причиной скольжения, кроме местных геоморфологических и геотехнических условий участка, является наличие грунтовых вод. Для этого же профиля численное моделирование с использованием компьютерной программы по методу конечных элементов (МКЭ) подтверждает результаты, полученные с помощью метода предельного равновесия. Перемещение от 0,4 м до 0,6 м наблюдается вдоль неустойчивого сечения (2.б).



а) **б)**

Рисунок 2 – Оценка устойчивости поперечного сечения ПК 240+847 (Geoslope) (а); общее перемещение (МКЭ) изучаемого откоса на ПК 240+847 (Plaxis) (б)

Мы изучили влияние уклона осадочного слоя на равновесие откоса в соответствии с комбинацией структуры фасадной стороны, полученной с помощью стереографической проекции, а также определили значения благоприятного или неблагоприятного уклона осадочного слоя, а также риск возникновения локальных сдвигов.

Наиболее неблагоприятным (по стереографической проекции) считается уклон изучаемого откоса параллельно к фасадной стороне. То есть локальная устойчивость отлоса не гарантируется (рис.3).

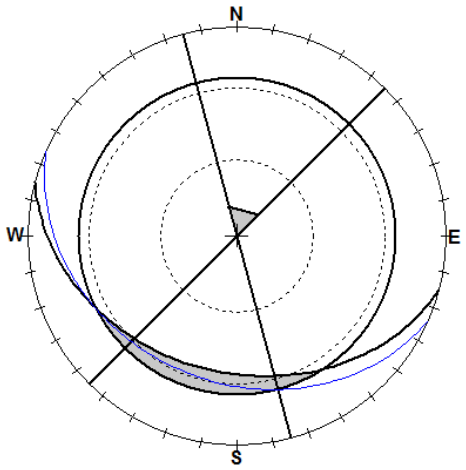


Рисунок 3 – Стереографическая проекция откоса на ПК240 + 847

4. Повышение устойчивости путем укрепления. Метод конечных элементов, безусловно, является наиболее комплексным подходом к изучению стабильности откоса с использованием анкерный стержней, подпорной стенки, геотекстильных прослоем, свай, так как этот метод одновременно рассчитывает и реакцию грунтовых материалов и устойчивость откосов. Результаты этого моделирования выражаются посредством изображения полного перемещения,

сдвиговых напряжений и деформации сдвига а также точек пластической деформации. Исходные условия: перемещения равны нулю, а начальные напряжения равны тем напряжениям, которые генерируются в грунте под действием собственного веса. В этом случае применяется упруго-пластический закон Мора-Кулона (5 параметров дилатансии ψ=φ-30). Анализ поведения откоса берется в дренированном режиме. Двумерная модель рассчитывается при плоских деформациях в поперечном сечении откоса. Он состоит из 4344 треугольных элементов с 15 узлами и 12 точками Гаусса для геотекстиля. В качестве геотекстиля использовались полотна типа BidimS72 из полимерных волокон с начальным введением в откос с интервалом 1 м. Для свай, диаметр принимается равным 1м на глубину 20м. Они расположены на расстоянии 2м друг от друга по ширине и на 17м в продольном направлении. Для распределение нагрузки поверх была установлена бетонная плита. Расчетное сопротивление бетона, используемого для свай составляет 35 МПа, тогда как модуль Юнга E=36000 МПа. Удельный вес используемого бетона составляет 25 кН /м^3. Для гравитационных подпорных стен предложены размеры 3м Х 8м. Поведение этих стен моделируются упругим, модуль Юнга E= 33000 МПа, коэффициент Пуассона принимается равным 0,3. Номинальное сопротивление бетона 27 МПа. Укрепление анкерами добавляет удерживающие усилия прокалываемым грунтовым массам и, таким образом, изменяет нормальные напряжения и приводит к временной стабильности. Устройство анкерения состоит из 8 обычных арматурных стержней, наклонённых под углом 30° в направлении вверх по течению, по вертикали расстояние 3м, по горизонтали 8 м и закрепленные в грунте до 10 м. Они используются для передачи растягивающих усилий, приложенных к ним путем анкерения в структуру слоя мергеля. Перед установкой их предварительно растягивали при 100кН/м.

Эти четыре варианта укрепления насыпей представляют собой статическое моделирование с использованием программного обеспечения PLAXIS8.6. Эксплуатационные нагрузки от транспортных средств на дороге приняты равными 10 кН / м² и расположены на 1,50 м от края проезжей части.

5. Результаты и обсуждение: После изучения полученных результатов моделирования (2D) и графики перемещений, можно сделать некоторые замечания. Несмотря на то, что были выполнены различные моделирования, приведем только четыре деформированные конфигурации. Это – данные о деформациях (рис.4.а, б, в, г) и (рис.5.а, б, в, г), также схемы (рис.6.а, б, в, г),

представляющие относительные касательные напряжения. Несмотря на то, что здесь не приведен промежуточный расчёт, тем не менее он показал соответствие максимальных значений перемещений и напряжений.

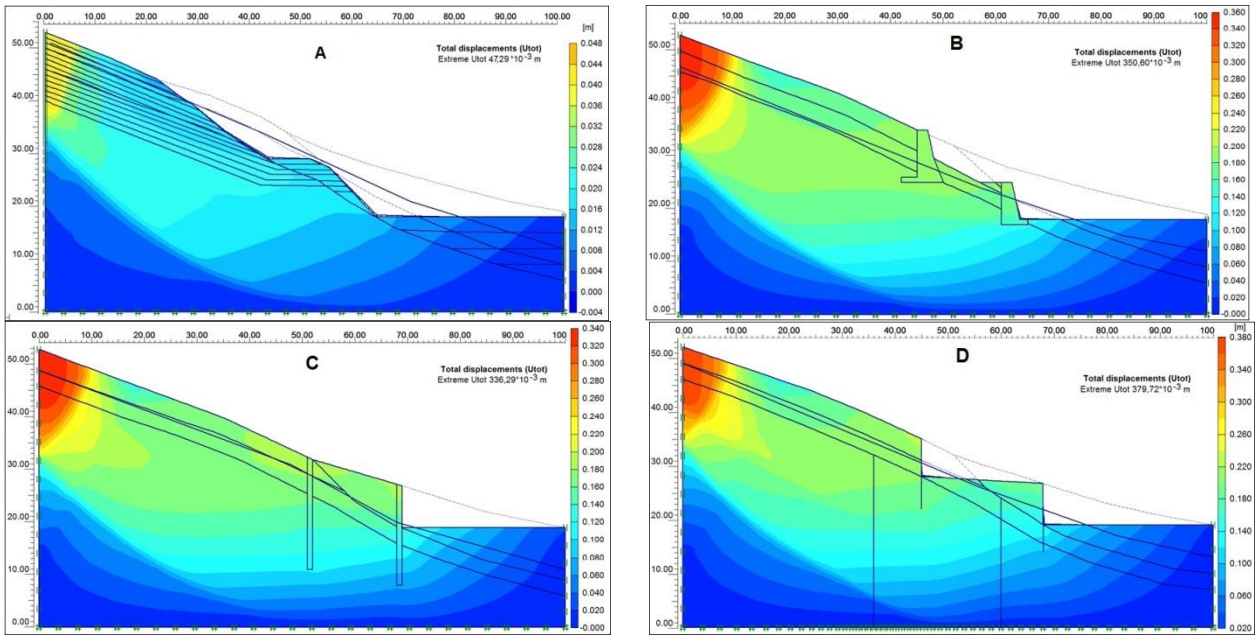


Рисунок 4 – a) конфигурация общих перемещений откосов, армированных геотекстилем; b) конфигурация общих перемещений подпорной стенки- откоса; c) конфигурация общих перемещений сваи-откоса; d) конфигурация общих перемещений откоса с анкерными стержнями.

Заметим, что общее максимальное перемещение составляет $47{,}29*10^{-3}$ m для конфигурации откосов усиленных геотекстилем (рис.4.a) ; оно увеличивается до $350{,}60*10^{-3}$ m для откосов, поддерживаемых подпорными стенками (рис.4.b); и до $336{,}29*10^{-3}$ m для конфигурации склона армированного сваями (рис.4.c); и достигает $379{,}72*10^{-3}$ m для конфигурации склона, поддерживаемого анкерными стержнями (рис.4.d). Полученные результаты экстремальных перемещений и/или допустимых для конфигурации откосов, армированных геотекстильными материалами. Величины находятся около $350*10^{-3}$ м и являются недопустимыми для строительства.

Предыдущие результаты дополняются полными приращениями перемещений, которые имеют допустимые значения ($dU_{tot}=1{,}75*10^{-3}$м) для откоса усиленного геотекстилем (рис.6.a), в то время как для остальных трех конфигураций они достигают $7{,}69*10^{-3}$м; $3{,}80*10^{-3}$м и $4{,}38*10^{-3}$м соответственно (рис.6. b, c, d). Эти значения считаются чрезмерными для обеспечения долгосрочной устойчивости изучаемого склона.

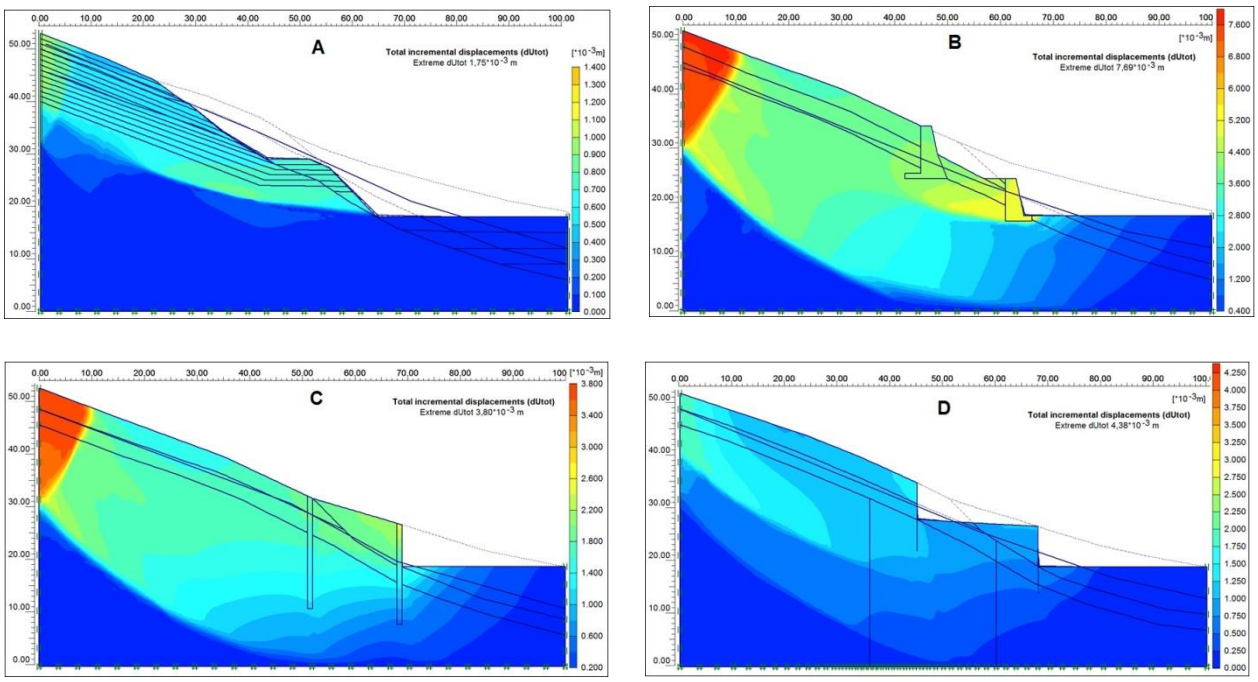


Рисунок 5 – a) конфигурация приращений деформаций откосов, армированных геотекстилем; b) конфигурация приращений перемещений откосов, укрепленных подпорной стенкой; c) конфигурация приращений деформаций склона, укрепленного сваями d) конфигурация приращений перемещений склона с анкерными стержнями.

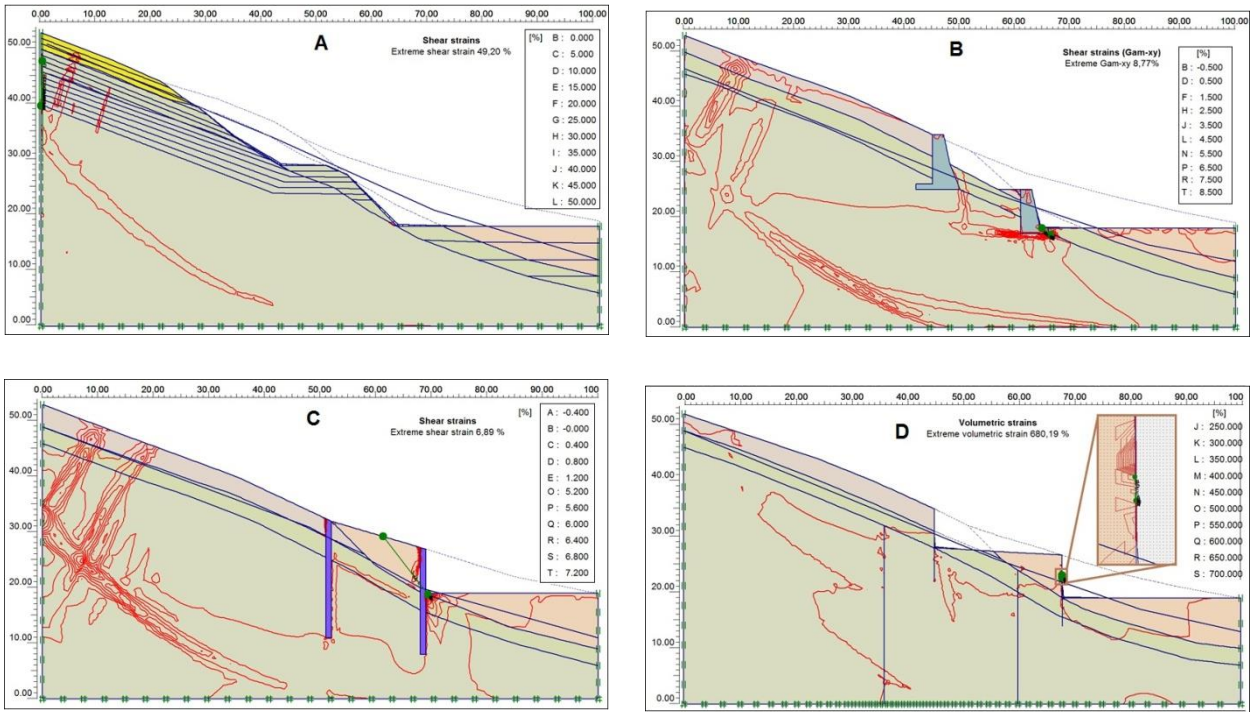


Рисунок 6 – а) конфигурации деформаций растяжения откоса армированного геотекстилем; b) конфигурации деформаций растяжения откоса, укрепленного подпорной стенкой; c) конфигурации деформаций растяжения откоса, армированного сваями; d) конфигурации деформаций растяжения откоса с анкерными стержнями.

Деформации растяжения также имеют значения более благоприятные против сдвига для геотекстилья, чем в других конфигурациях. Из (рис.6.a.) видно, что геотекстильные прослойки смогли уменьшить силы сдвига вдоль откоса, в отличие от других конфигураций (рис.6. b, c, d). В случае укрепления с подпорной стеной, сваями и анкерными стержнями, касательные напряжения являются очень важными и развиваются по фасаду вниз по склону.

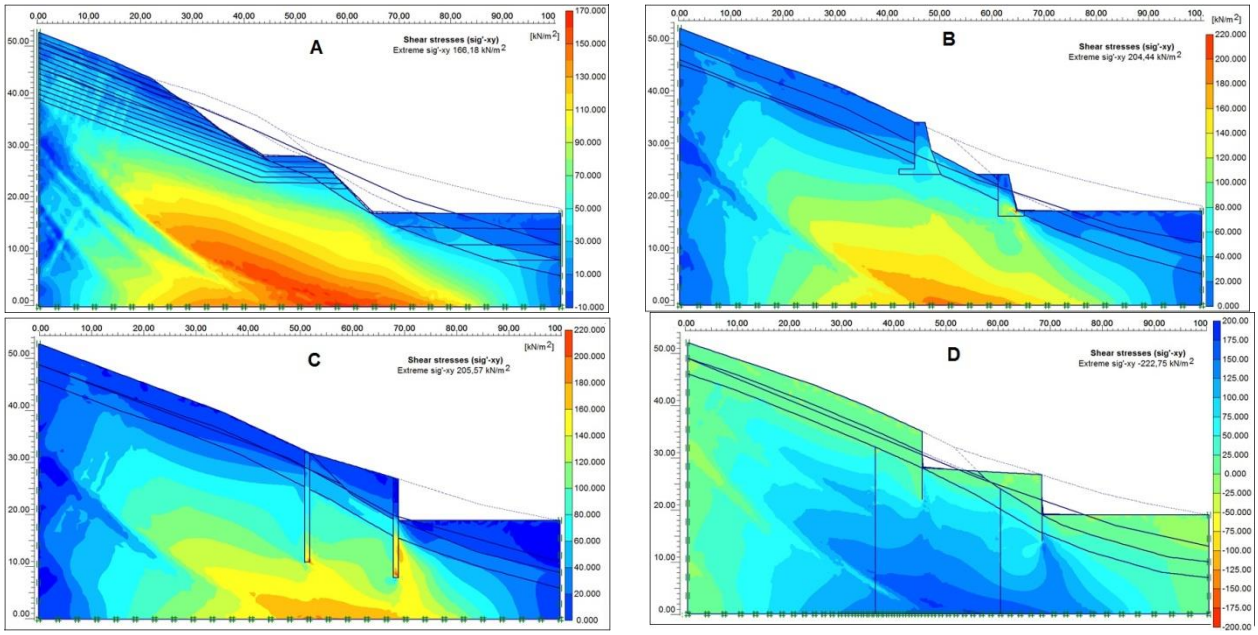


Рисунок 7 – a) конфигурация касательных напряжений откоса армированного геотекстилем; b) конфигурация касательных напряжений откоса, укрепленного подпорной стенкой; c) конфигурация касательных напряжений откоса, армированного сваями; d) конфигурация касательных напряжений откоса с анкерными стержнями.

Касательные напряжения также имеют более допустимые значения против сдвига для геотекстиля порядка 166.18 кН/м^2 (рис.7.a). Она достигает 204,44 kN/m^2 в то время как для остальных трех конфигураций они достигают: 205,57 kN/m^2 и 222,75 kN/m^2 соответственно (рис.7.b, c, d). Следует отметить, что геотекстиль уменьшает напряжения сдвига и, как следствие, им соответствуют допустимые значения деформации.

Точки пластичности обозначаются как необратимые разрушения (Рис.8.a, b, c, d). Если они расположены близко к критической линии (предел сдвига от круга Мора-Кулона), значит они подвергаются малым деформациям, которые не всегда ясны. Если они выходят далеко за пределы сдвига, это значит деформации становятся более заметными. Сдвиговые точки пластичности концентрируются в верхней и нижней части склона. Сдвиговые точки пластичности, либо методом точек Мора-Кулона или методом точек прерывания напряжений, имеют более низкие значения для первого случая откоса, армированного геотекстилем.

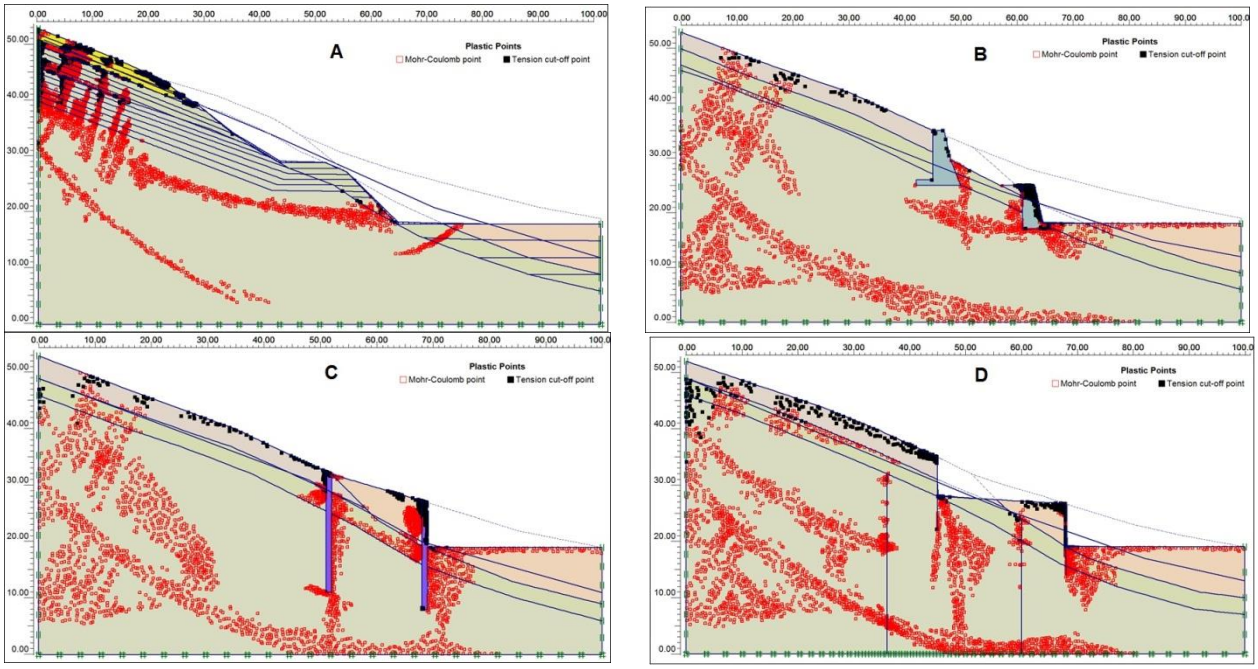


Рисунок 8 – a) конфигурации точек пластичности откоса армированного геотекстилем; b) конфигурации точек пластичности откоса, укрепленного подпорной стенкой; c) конфигурации точек пластичности откоса армированного сваями; d) конфигурации точек пластичности откоса с анкерными стержнями.

Остальные конфигурации дают относительно высокие значения деформации. Это связано с тем, что совокупность укрепления и геотекстиля является пассивным сооружением, обладает значительной прочностью на растяжение и высокой инерцией. При изменением расстояние между слоями, мы зафиксировал значительное изменение коэффициента запаса устойчивости и суммарных перемещений на основе метода конечных элементов МКЭ, (Таб.2).

Таблица 2 – Обобщение результатов анализа.

расстояние (m)*10^{-3}	суммарный перемещений U_{tot} (m)*10^{-3}	Сдвиговые напряжения sig'-xy kN/m^2	Сдвиговые деформации (%)	коэффициента запаса (Fs)
200	06,55	29,21	-2	1,84
400	07,13	71,89	-2	1,71
600	08,17	93,78	-3	1,60
800	19,95	125,60	-3	1,46
1000	47.29	166,18	-5	1,12

Заключение и рекомендации

Рассматривая средства и методы, доступные для повышения устойчивости откоса, были изучены четыре предложения для поддержки откоса по ПК (240 +

847) автомагистрали А1. Численный расчет методом конечных элементов показал, что насыпь, усиленная геотекстилем обеспечивает большую устоичивость по сравнению с другими предложениями. Если мы добавим преимущества этого решения по сравнению с другими предложениями, особенно по стоимости, количеству используемых материалов, срокам выполнения работ, удобство в реализации – выбор очевиден. За исключением геотекстиля, очевидно, что сдвиговые напряжения слишком высоки в верхней части откоса и вдоль предложенных подпорных сооружений (подпорных стен, свай и предварительно напряженных анкеров). Максимальные деформации растяжения появляются в одних и тех же местах, где мы видим первоначальное образование трещины. Изучение влияния числа и шага армирования геотекстильных слоев позволило определить модель наиболее стабильного откоса с интервалом армирования не превышающим 1 м. Наконец, с помощью параметрического исследования найден наилучший механизм для повышения устойчивости откоса. Предложенная конструкция представляет собой сочетание слоев геотекстильнного материала-подпорная стена с интервалом 0,8 м на глубину 10 м. С учетом технических и финансовых ограничений, наиболее эффективным решением для обеспечения устойчивости откоса является использование геотекстильных прослоек.

Литература

1. Tang и др. 2007 Tang, C., Shi, T., Gao, W., Chen, F., Cai, Y., 2007. Strength and mechanical behavior of reinforced and cement stabilized clayey soil. Geotxtiles and Geomembranes 25 (3), 194-202.

2. Unnikrishan и др. 2002 Unnikrishnan N., Rajagopal K., Krishnaswamy N.R. (2002). Behavior of reinforced clay under monotonic and cyclic loading. Geotxtiles and Geomembranes 20, pp. 117-133.

3. Ling и др. 1993. Ling, H.I., Tatsuoka, F., 1993. Laboratory evaluation of a nonwoven geotextile for reinforcing on site soil. Proceeding of Geosynthetics 93(2), 533-546.

4. Vercueil и Billet. 1997, Vercueil D, Billet P. (1997): « Study of the liquefaction resistance of saturated sand reinforced with geosynthetics», Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol.16, pp.417-425.

5. Haeri и др. 2000, Haeri, S.M., Noorzad, R., Oskourouchi, A.M., 2000. Effect of geotextile reinforced on the mechanical behavior of sand. Geotextiles and Geomembranes 18, 385-402.

6. Boominathan и Hari 2002, Boominathan A, Hari S. (2002): « Liquefaction strength of fly ash reinforced with randomly distributed fibers», Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol.22, pp.1027-1033.

7. Wang и др. 2007 Wang, G-H., Sassa, K., Fukuoka, H., Tada, T., 2007. Experimental study on the shearing behavior of saturated silty soils based on ring-shear tests. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 133 (3), 310-333.

8. Houston и др. 2008, Houston, L.S., Perez-Garcia, N., Houston, W.N., 2008. Shear strength and shear induced volume change behavior of unsaturated soils from a triaxial test program. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE 134 (11), 1619-1632.

9. Ministère des travaux publics (Algérie), 2006. Séminaire International sur la géotechnique et l'utilisation des géosynthétiques dans les infrastructures linéaires. 11-12 mars 2006, Alger, Algérie.

10. Ministère des travaux publics (Algérie), 2008. Colloque International sur l'utilisation des produits géosynthétiques. 17-18 novem

Рецензенти:
Гамеляк І.П., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.
Балашова Ю.Б., канд. техн. наук, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури.

Reviewers:
Gameliak I.P., Dr. Tech. Sci., National Transport University.
Balashova Yu.B., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture.

Стаття надійшла до редакції: **15.03.2017 р**.

УДК 624.21

Снитко В.П., канд. техн. наук.

РОЗРАХУНОК СТАЛЕ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ НЕРОЗРІЗНИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ МОСТІВ З ДВОМА ЗАЛІЗОБЕТОННИМИ ПЛИТАМИ НА ДІЮ НОРМАЛЬНОЇ СИЛИ З УРАХУВАННЯМ ПОВЗУЧОСТІ

Анотація. У статті розглянута методика розрахунку прогонових будов мостів з двома залізобетонними плитами на дію нормальної сили з урахуванням повзучості бетону.

Об’єкт дослідження: балки прогонової будови сталезалізобетонного мосту моста з двома залізобетонними плитами.

Мета роботи: розробити методику розрахунку перерізів прогонових будов сталезалізобетонних мостів з двома залізобетонними плитами, на дію нормальної сили, з урахуванням повзучості бетону.

Залізобетонну плиту, що розміщується на рівні нижнього поясу стале залізобетонних прогонових будов мостів найбільш доцільно застосовувати в опорних перерізах нерозрізних балок.

Це значно економить витрати металу на прогонову будову, забезпечує місцеву стійкість елементів нижньої плити, а в балках з криволінійним нижнім поясом бетон, що укладений на нижній пояс, ще і вирівнює нижню поверхню для відводу води.

Розглядається сталезалізобетонна балка, в якій сталева частина перерізу об’єднана з двома залізобетонними плитами, що армовані.

У статті наведено результати розрахунку нерозрізної сталезалізобетонної прогонової будови з двома залізобетонними плитами автодорожнього мосту.

Результати статті можуть бути рекомендовані для впровадження при проектуванні і розрахунку мостів.

Ключові слова: прогонова будова мосту , сталезалізобетонна балка з двома залізобетонними плитами, напруження, нормальна сила , повзучість бетону.

УДК 624.21

Снитко В.П., канд. техн. наук.

РАСЧЕТ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НЕРАЗРЕЗНЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ С ДВУМЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМИ ПЛИТАМИ НА ДЕЙСТВИЕ НОРМАЛЬНОЙ СИЛЫ С УЧЕТОМ ПОЛЗУЧЕСТИ

Аннотация. В статье рассмотрена методика расчета пролетных строений мостов с двумя железобетонными плитами на действие нормальной силы с учетом ползучести бетона.

Объект исследования: балки пролетного строения сталезалізобетонного моста моста с двумя железобетонными плитами.

Цель работы: разработать методику расчета сечений пролетных строений сталежелезобетонных мостов с двумя железобетонными плитами, на действие нормальной силы, с учетом ползучести бетона.

Железобетонную плиту, которая размещается на уровне нижнего пояса сталежелезобетонных пролетных строений мостов наиболее целесообразно применять в опорных сечениях неразрезных балок.

Это значительно экономит расход металла на пролетное строение, обеспечивает местную устойчивость элементов нижней плиты, а в балках с криволинейным нижним поясом бетон, уложенный на нижний пояс, еще и выравнивает нижнюю поверхность для отвода воды.

Рассматривается сталезалізобетонна балка, в которой стальная часть сечения объединенная с двумя железобетонными плитами, армированные.

В статье приведены результаты расчета неразрезной сталезалізобетонної пролетного строения с двумя железобетонными плитами автодорожного моста.

Результаты статьи могут быть рекомендованы для внедрения при проектировании и расчете мостов.

Ключевые слова: прогонова строение моста , сталезалізобетонна балка с двумя железобетонными плитами, напряжения, нормальная сила , ползучесть бетона.

UDC 624.21

Snytko V. P., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.)

THE STEEL-CONCRETE COMPOSITE CONTINUOUS BRIDGE SPANS WITH TWO CONCRETE SLABS CALCULATES ON THE OF THE NORMAL FORCE WITH THE CREEP CALCULATION

Abstract. The method of composite continuous bridge spans with two reinforced concrete slabs on the normal force action on the basis of creep is considered in the article Object of study is composite continuous bridge spans with two reinforced concrete slabs.

Objective is to develop a methodology for calculating sections spans is the action of the normal force considering concrete creep.

Concrete slab, which is located at the lower zone composite bridge spans most advisable to use a reference sections of continuous beams.

This saves on the cost of metal spans, provides local resistance elements of the bottom plate, and curved beams with concrete bottom belt, which concluded at the lower zone also aligns the bottom surface for water drainage.

Consider the composite beam, which section of the steel combined with two reinforced concrete slabs.

The results of calculation composite beam continuous span with two slabs of reinforced concrete road bridge.

The results of the article can be recommended for implementation in the design and calculation of bridges.

Keywords: bridge spans, composite beam with two reinforced concrete slabs, tension, normal strength, creep of concrete.

Залізобетонну плиту, що розміщується на рівні нижнього поясу стале залізобетонних прогонових будов мостів найбільш доцільно застосовувати в опорних перерізах нерозрізних балок.

Це значно економить витрати металу на прогонову будову, забезпечує місцеву стійкість елементів нижньої плити, а в балках з криволінійним нижнім поясом бетон, що укладений на нижній пояс, ще і вирівнює нижню поверхню для відводу води.

Методику розрахунку такої прогонової будови моста на дію згинального моменту М з урахуванням повзучості бетону наведено в роботі [3].

Нижче наведемо методику розрахунку прогонової будови на дію нормальної сили з урахуванням повзучості бетону.

Розглянемо стале залізобетонну балку, в якій сталева частина об'єднана з двома залізобетонними плитами, що армовані арматурою (рисунок1).

У кожному перерізі діє постійна у часі нормальна сила N (розтяг). Остання прикладена посередині висоти стале залізобетонного перерізу. Балка довільної форми але має одну вісь симетрії. Вважаємо, що зчеплення арматури і з'єднання сталевої балки з бетоном здійснено до прикладення навантаження.

Необхідно визначити напруження у бетоні, арматурі і сталевій балці у будь-який момент часу t.

Приймаємо лінійний закон розподілу напружень у бетоні і сталевій частині перерізу по висоті стале залізобетонної балки. Невідомими вважаємо напруження у бетоні на рівні центрів ваги арматури верхньої і нижньої плит $\sigma_{bt}^{\text{в}}$ і σ_{bt}^{H}, напруження в арматури на тих самих рівнях $\sigma_{rt}^{\text{в}}$ і σ_{rt}^{H}, напруження в сталевій балці на рівні верхньої і нижньої фібри $\sigma_{s2,t}$ і $\sigma_{s1,t}$.

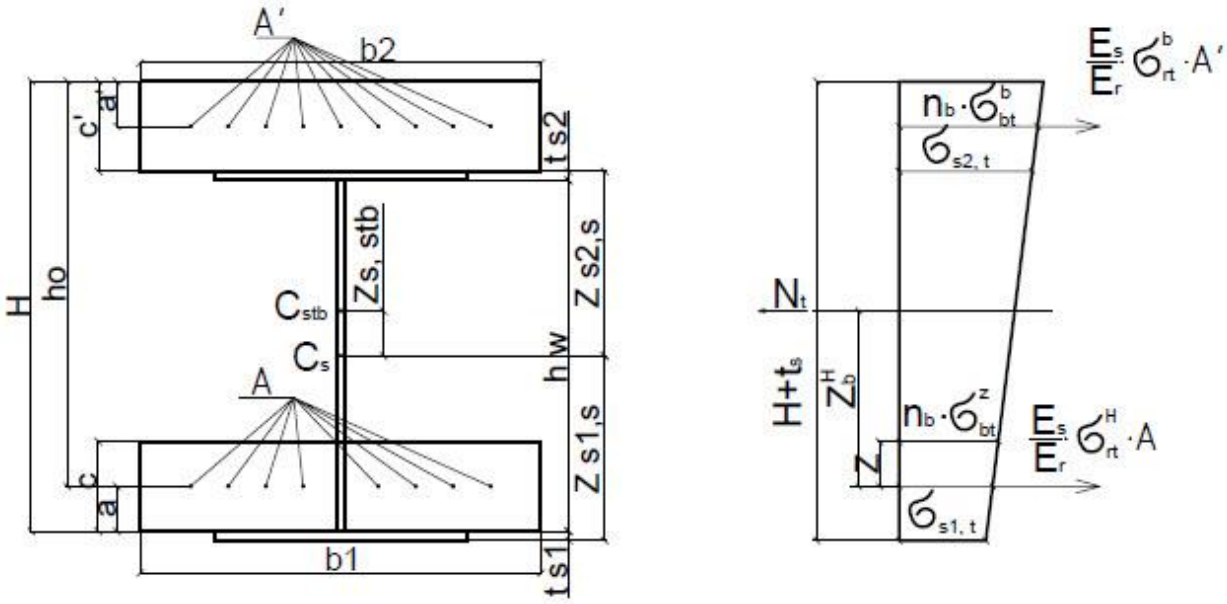


Рисунок 1– Нормальні напруження в сталевій балці, яка об'єднана з двома залізобетонними плитами.

Припустимо, що невідомі напруження додатні (розтяг). Для визначення невідомих складаємо рівняння проекцій діючих зусиль на вісь балки, рівняння моментів діючих зусиль відносно центру ваги арматури нижньої плити, два

рівняння спільності деформацій бетону й арматури верхньої і нижньої залізобетонних плит, два рівняння спільності деформації бетону та верхньої і нижньої фібри сталевої балки, а також рівняння, що випливає із гіпотези плоских перерізів.

Напруження у бетоні у будь-якій точці перерізу по висоті верхньої і нижньої плит, які розташовані на відстані Z від центру ваги нижньої арматури (σ_{bt}^{Z}), визначимо як:

$$\sigma_{bt}^{z}= \sigma_{bt}^{\text{в}} \cdot \frac{\text{z}}{h_0-a'} + \sigma_{bt}^{H} \cdot \frac{(h_0-a'-\text{z})}{h_0-a'} \quad (1)$$

Тоді напруження у бетоні на рівні нижньої і верхньої фібри сталевої балки:

$$\sigma_{bt}^{S1} = -\frac{d}{h_0-a'} \cdot \sigma_{bt}^{\text{в}} + \sigma_{bt}^{H} \cdot \frac{(h_0-a'+d)}{h_0-a'}. \quad (2)$$

$$\sigma_{bt}^{S2} = \sigma_{bt}^{\text{в}} \cdot \frac{h_0-c\prime}{h_0-a'} + \sigma_{bt}^{H} \cdot \frac{c\prime-a'}{h_0-a'}. \quad (3)$$

де d=a+t_{s1} – відстань від центру ваги арматури нижньої залізобетонної плити до нижньої фібри металевої балки;

t_{s1} – товщина нижнього поясу металевої балки.

Напруження у будь-якій точці перерізу металевої балки, що розташована на відстані Z від центру ваги нижньої арматури (σ_{St}^{Z}), визначаються на основі гіпотези плоских перерізів:

$$\sigma_{st}^{\text{z}}=\sigma_{s1,t} \cdot \frac{(h_0-c\prime-\text{z})}{(h_0-c'+\text{d})}+\sigma_{s2,t} \cdot \frac{(\text{z}+d)}{(h_0-c'+\text{d})} \quad . \quad (4)$$

Переходимо до складання рівнянь:

1) Рівняння проекцій (∑x=0)

$$\int_{-d}^{c/2} \sigma_{bt}^{z} \cdot dA_b + \int_{h_0-c\prime}^{h_0} \sigma_{bt}^{z} \cdot dA_b + \sigma_{rt}^{H} \cdot A + \sigma_{rt}^{\text{в}} \cdot A' + \int_{As} \sigma_{St}^{z} \cdot dA_s - N = 0 \; ; \quad (5)$$

2) Рівняння моментів (∑M=0)

$$\int_{A_{B1}} \sigma_{bt}^{z} \cdot \text{z} \cdot dA_b + \int_{A_{B2}} \sigma_{bt}^{z} \cdot \text{z} \cdot dA_b + \int_{A_s} \sigma_{st}^{z} \cdot \text{z} \cdot dA_s + \sigma_{rt}^{\text{в}} \cdot A' \; (h_0 - a') - N \cdot Z_b^H = 0 \, , \quad (6)$$

де Z_b^H – ексцентриситет сили N;

$Z_b^H = \frac{H}{2} - a$ – відстань від середини висоти перерізу стале залізобетонної балки до центра ваги арматури нижньої плити.

Рівняння спільності деформацій бетону і арматури на рівні центру ваги бетону верхньої і нижньої плити на основі модифікованої теорії "старіння" бетону [2]:

$$\sigma_{rt}^{\text{в}} = n_r \cdot (\sigma_{b_0}^{\text{в}} \cdot K_1 + \sigma_{bt}^{\text{в}} \cdot K_2); \quad (7)$$

$$\sigma_{rt}^{H} = n_r \cdot (\sigma_{b_0}^{H} \cdot K_1 + \sigma_{bt}^{H} \cdot K_2); \quad (8)$$

де $n_r = \frac{E_r}{E_{b_0}}$ - відношення модуля пружності арматури E_r до початкового модуля пружності бетону E_{b_0}; K_1 і K_2 – коефіцієнти, що прийняті при параболічній залежності між напруженнями у бетоні на момент часу τ $\sigma_{r\tau}$ і характеристикою повзучості бетону φ_t обчислюються за формулами [4,5]:

$$K_1 = (1 - \alpha + K_0) \cdot \frac{\varphi_t}{3}; \quad K_2 = 1 + (2 + a - K_0) \cdot \frac{\varphi_t}{3};$$

а при лінійній залежності за формулами

$$K_1 = (1 - \alpha + K_0) \cdot \frac{\varphi_t}{2}; \quad K_2 = 1 + (1 + a - K_0) \cdot \frac{\varphi_t}{2};$$

де φ_t - гранична характеристика повзучості бетону, що обчислюється за [1];

α і K_0 - коефіцієнти, що обчислюються за [2];

Рівняння спільності деформацій верхньої фібри металевої балки і бетону:

$$\sigma_{s2,t} = n_b \cdot (\sigma_{b_0}^{s2} \cdot K_1 + \sigma_{bt}^{s2} \cdot K_2). \quad (9)$$

Рівняння спільності деформацій нижньої фібри металевої балки і бетону:

$$\sigma_{s1,t} = n_b \cdot (\sigma_{b_0}^{s1} \cdot K_1 + \sigma_{bt}^{s1} \cdot K_2); \quad (10)$$

де $n_b = \frac{E_s}{E_{b_0}}$ - відношення модуля пружності металу балки E_s до початкового модуля пружності бетону E_{b_0}.

Підставляємо у рівняння (5) і (6) замість $\sigma_{rt}^{\text{в}}$ і σ_{rt}^{H} їх вирази (7) і (8); замість $\sigma_{s2,t}$ і $\sigma_{s1,t}$ - їх вирази (9) і (10) та враховуючи вирази (1), (2), (3), (4) і (17)-(20) після перетворень отримуємо рівняння з двома невідомими $\sigma_{bt}^{\text{в}}$ і σ_{bt}^{H}:

1)

$$\sigma_{bt}^{\text{в}} \cdot \left\{\frac{(S_{B1}+S_{B2})}{(h_0-a')} + n_r \cdot K_2 \cdot A' + \frac{K_2 \cdot [(h_0-c\prime)\cdot F' - D\prime \cdot d]}{(h_0-a')}\right\} + \sigma_{bt}^{H} \cdot \left\{(A_{B1}+A_{B2}) - \frac{(S_{B1}+S_{B2})}{(h_0-a')} + n_r \cdot K_2 \cdot A + \frac{K_2 \cdot [(h_0-a'+d)\cdot D' + (c'-a')\cdot F\prime]}{(h_0-a')}\right\} + [n_r \cdot K_1 \cdot (\psi^{\text{H}} \cdot A + \psi^{B} \cdot A') + K_1 \cdot (\psi^{S1} \cdot D' + \psi^{S2} \cdot F') \cdot N = 0 \quad (11)$$

2)

$$\sigma_{bt}^{\text{в}} \cdot \left\{\frac{(I_{B1}+I_{B2})}{(h_0-a')} + n_r \cdot K_2 \cdot A' \cdot (h_0 - a') + \frac{K_2 \cdot [(h_0-c\prime)\cdot B' - V\prime \cdot d]}{(h_0-a')}\right\} + \sigma_{bt}^{H} \cdot$$

$$\left\{S_{B1} + S_{B2} - \frac{(I_{B1}+I_{B2})}{(h_0-a')} + \frac{K_2 \cdot [(h_0-a'+d)\cdot V' + (c'-a')\cdot B\prime]}{(h_0-a')}\right\} + [n_r \cdot K_1 \cdot \psi^b \cdot A' \cdot (h_0 - a') +$$

$$K_2 \cdot (\psi^{S1} \cdot V' + \psi^{S2} \cdot B') - Z_b^H] \cdot N = 0 \quad (12)$$

де $D' = \frac{n_b \cdot [(h_0-c)\cdot A_s - S_s]}{(h_0-\text{c}'+d)}$; (13)

$$F' = \frac{n_b \cdot (S_s + d \cdot A_s)}{(h_0-\text{c}'+d)} ; \quad (14)$$

$$V' = \frac{n_b \cdot [(h_0-c\prime)\cdot S_s - I_s]}{(h_0-\text{c}'+d)} ; \quad (15)$$

$$B' = \frac{n_b \cdot (I_s + d \cdot S_s)}{(h_0-\text{c}'+d)} ; \quad (16)$$

де $S_{B1} = \int_{-d}^{c/2} z \cdot dA_b$ - статичний момент площі бетонного перерізу нижньої плити відносно осі, що проходить через центр ваги нижньої арматури;

$S_{B2} = \int_{h_0-\text{c}'}^{h_0} z \cdot dA_b$ - статичний момент площі бетонного перерізу верхньої плити відносно осі, що проходить через центр ваги арматури нижньої плити;

A_{B1} і A_{B2} - площі бетонного перерізу відповідно нижньої і верхньої плити;

$I_{B1} = \int_{-d}^{c/2} z^2 \cdot dA_b$ - момент інерції площі бетонного перерізу нижньої плити відносно осі, що проходить через центр ваги нижньої арматури;

$I_{B2} = \int_{h_0-\text{c}'}^{h_0} z^2 \cdot dA_b$ - момент інерції площі бетонного перерізу верхньої плити осі, що проходить через центр ваги нижньої арматури;

$I_s = \int_{A_s} z^2 \cdot dA_s$ – момент інерції металевої балки відносно тієї самої осі;

$S_s = \int_{A_s} z \cdot dA_s$ – статичний момент площі металевої балки відносно тієї самої осі;

A_s – площа перерізу металевої балки;

Зрозуміло, що

$$\sigma_{b0}^{H} = \left[\frac{1}{A_{b,n}} + \left(Z_{b,n}^{H} - Z_b^{H}\right) \cdot \frac{Z_{b,n}^{H}}{I_{b,n}}\right] \cdot N = \psi^{H} \cdot N; \quad (17)$$

$$\sigma_{b0}^{в} = \left[\frac{1}{A_{b,n}} + \left(Z_{b,n}^{H} - Z_b^{H}\right) \cdot \frac{Z_{b,n}^{в}}{I_{b,n}}\right] \cdot N = \psi^{в} \cdot N; \quad (18)$$

$$\sigma_{b0}^{S2} = \left[\frac{1}{A_{b,n}} + \left(Z_{b,n}^{H} - Z_b^{H}\right) \cdot \frac{Z_{b,n}^{S2}}{I_{b,n}}\right] \cdot N = \psi^{S2} \cdot N; \quad (19)$$

$$\sigma_{b0}^{S1} = \left[\frac{1}{A_{b,n}} + \left(Z_{b,n}^{H} - Z_{b}^{H}\right)\cdot\frac{Z_{b,n}^{S1}}{I_{b,n}}\right]\cdot N = \psi^{s1}\cdot N; \quad (20)$$

де $I_{b,n}$ - момент інерції приведеного до бетону всього перерізу стале залізобетонної балки відносно його центральної осі;

$Z_{b,n}^{H}$ і $Z_{b,n}^{b}$ - відстань від центру ваги приведеного до бетону перерізу балки відносно центрів ваги арматури нижньої і верхньої плит;

$Z_{b,n}^{S1}$ і $Z_{b,n}^{S2}$ - відстань від центру ваги приведеного до бетону перерізу балки відносно нижньої і верхньої фібри металевої балки;

Z_{b}^{H} і Z_{b}^{b} - відстань від середини висоти стале залізобетонної балки до центрів ваги арматури нижньої і верхньої залізобетонної плити.

Приведена до бетону площа перерізу стале залізобетонної балки:

$$A_{b.n} = A_{B1} + A_{B2} + (n_r - 1)\cdot(A' + A) + (n_b - 1)\cdot A_s; \quad (21)$$

Приймаємо такі позначення:

$$\beta_1 = \frac{S_{B1}+S_{B2}}{h_0 - a'} + \frac{K_2\cdot[(h_0 - c')\cdot F' - D\prime\cdot d]}{h_0 - a'} + K_2\cdot A'\cdot n_r\ ; \quad (22)$$

$$\gamma_1 = A_{B1} + A_{B2} + \frac{K_2\cdot[(h_0 - a' + d)\cdot D' + (c' - a')\cdot F\prime]}{h_0 - a'} + K_2\cdot n_r\cdot A - \frac{S_{B1}+S_{B2}}{(h_0 - a')}\ ; \quad (23)$$

$$\Delta_1 = K_1\cdot(D'\cdot\psi^{S1} + F'\cdot\psi^{S2}) + n_r\cdot K_1\cdot(A\cdot\psi^{H} + A'\cdot\psi^{\text{в}}) - 1; \quad (24)$$

$$m_5 = \frac{I_{B1}+I_{B2}}{h_0 - a'} + \frac{K_2\cdot[(h_0 - c')\cdot B\prime - V\prime\cdot d]}{h_0 - a'} + K_2\cdot A'\cdot n_r\cdot(h_0 - a'); \quad (25)$$

$$m_6 = S_{B1} + S_{B2} + \frac{K_2\cdot[(h_0 - a' + d)\cdot V' + (c' - a')\cdot B\prime]}{h_0 - a'} - \frac{I_{B1}+I_{B2}}{(h_0 - a')}\ ; \quad (26)$$

$$m_8 = K_1\cdot(V'\cdot\psi^{S1} + B'\cdot\psi^{S2}) + n_r\cdot K_1\cdot A'\cdot\psi^{\text{в}}(h_0 - a') - Z_b^H; \quad (27)$$

де $$\psi^{н} = \frac{1}{A_{b,n}} + \left(Z_{b,n}^{H} - Z_{b}^{H}\right)\cdot\frac{Z_{b,n}^{H}}{I_{b,n}}, \quad (28)$$

$$\psi^{в} = \frac{1}{A_{b,n}} - \left(Z_{b,n}^{H} - Z_{b}^{H}\right)\cdot\frac{Z_{b,n}^{в}}{I_{b,n}}, \quad (29)$$

$$\psi^{s2} = \frac{1}{A_{b,n}} - \left(Z_{b,n}^{H} - Z_{b}^{H}\right)\cdot\frac{Z_{b,n}^{S2}}{I_{b,n}}\ , \quad (30)$$

$$\psi^{s1} = \frac{1}{A_{b,n}} + \left(Z_{b,n}^{H} - Z_{b}^{H}\right)\cdot\frac{Z_{b,n}^{S1}}{I_{b,n}}. \quad (31)$$

Рівняння для визначення напружень $\sigma_{bt}^{\text{в}}$ і σ_{bt}^{H} набувають вигляду:

$$\beta_1\cdot\sigma_{bt}^{\text{в}} + \gamma_1\cdot\sigma_{bt}^{H} + \Delta_1\cdot N = 0; \quad (32)$$

$$m_5 \cdot \sigma_{bt}^{\text{в}} + m_6 \cdot \sigma_{bt}^{H} + m_8 \cdot N = 0; \quad (33)$$

Напруження у бетоні на рівні центрів ваги арматур, що викликані силою N:

$$\sigma_{bt}^{\text{в}} = \psi_t^{\text{в}} \cdot N; \quad (34)$$

$$\sigma_{bt}^{H} = \psi_t^{H} \cdot N; \quad (35)$$

Напруження в центрі ваги арматури верхньої і нижньої залізобетонної плити:

$$\sigma_{rt}^{\text{в}} = n_r \cdot (\psi^b \cdot K_1 + \psi_t^b \cdot K_2) \cdot N; \quad (36)$$

$$\sigma_{rt}^{H} = n_r \cdot (\psi^H \cdot K_1 + \psi_t^H \cdot K_2) \cdot N, \quad (37)$$

де

$$\psi_t^{\text{в}} = \frac{\gamma_1 \cdot m_8 - \Delta_1 \cdot m_6]}{\beta_1 \cdot m_6 - \gamma_1 \cdot m_5}; \quad (38)$$

$$\psi_t^{\text{Н}} = \frac{\Delta_1 \cdot m_5 - \beta_1 \cdot m_8]}{\beta_1 \cdot m_6 - \gamma_1 \cdot m_5}; \quad (39)$$

Напруження в крайніх фібрах металевої балки, що викликані силою N:

у верхній фібрі:

$$\sigma_{s2,t} = n_b \cdot (\sigma_{b0}^{S2} \cdot K_1 + \sigma_{bt}^{S2} \cdot K_2);$$

у нижній фібрі:

$$\sigma_{s1,t} = n_b \cdot (\sigma_{b0}^{S1} \cdot K_1 + \sigma_{bt}^{S1} \cdot K_2);$$

де, $\sigma_{b0}^{S2} = \psi^{S2} \cdot N;$

$\sigma_{b0}^{S1} = \psi^{S1} \cdot N;$

$$\sigma_{bt}^{S2} = \sigma_{bt}^{\text{в}} \cdot \frac{h_0 - c'}{h_0 - a'} + \sigma_{bt}^{H} \cdot \frac{c' - a'}{h_0 - a'};$$

$$\sigma_{bt}^{S1} = \sigma_{bt}^{\text{в}} \cdot \frac{-d}{h_0 - a'} + \sigma_{bt}^{H} \cdot \frac{h_0 - a' + d}{h_0 - a'};$$

Розглянемо нерозрізну прогонову будову сталезалізобетонного автодорожнього мосту за схемою 63,0+84,0+63,0 м такої самої конструкції.

Габарит мосту Г-10 з двома тротуарами по одному метру (рисунок 2).

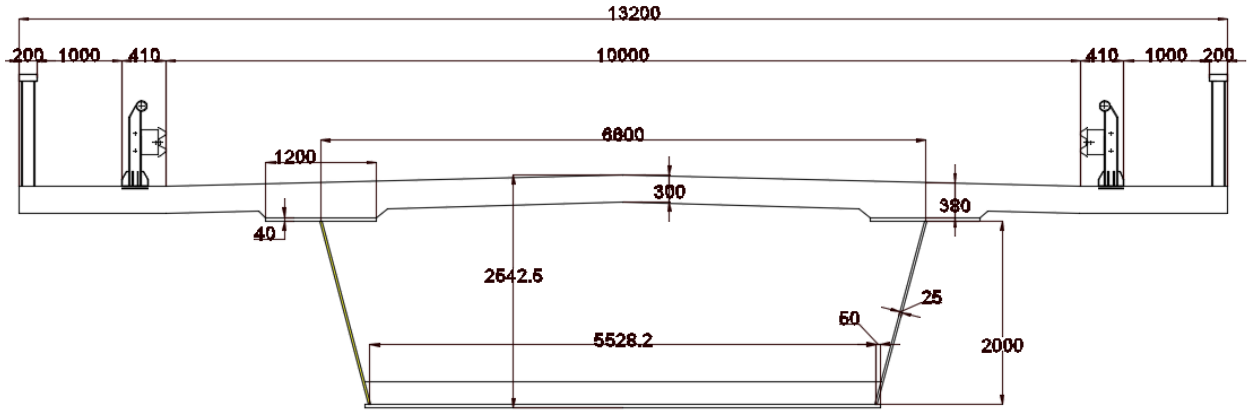


Рисунок 2 - Поперечний переріз прогонової будови мосту над проміжною опорою

У поперечному перерізі моста металева коробка заввишки 2,08 м. Верхні пояси металевої коробки над похилими стінками завширшки 1,2 м, завтовшки – 40 мм. Нижній пояс завширшки 5,53 м, завтовшки – 40 мм. Товщина стінок коробки – 25 мм. Пояси і стінки головної балки виконано зі сталі класу міцності С 490. Залізобетонна плита завширшки 13,22 м у верхній частині має симетричні поперечні 2% ухили від осі до країв. Огородження проїзду, тротуар і перильна огорожа встановленні на цоколях заввишки 10 см над покриттям і завширшки 1,61 м. Середня висота верхньої залізобетонної плити прогонової будови - 0,3м. У нижній частині середня ширина залізобетонної плити становить 5,53 м, висота – 0,25 м.

Бетон плит класу міцності В35, щільності W14 і морозостійкістю F300.

Над проміжними опорами мосту на довжині 22 м верхня плита армована 156 стержнями попередньо напруженої арматури діаметром d = 18 мм класу AIV. В інших зонах верхня плита армується арматурою класу AIII. Нижня плита над проміжними опорами армується двома сітками арматури класу AIII.

Усі стики арматури виконано внапуск. Коефіцієнти армування у кожному напрямі прийнято 1%. Для приєднання плити до головних балок застосовано штирьові упори діаметром 20мм, заввишки 210 мм для верхньої плити і 160 мм – для нижньої.

Товщину захисних шарів для верхньої і нижньої арматурних сіток плит і попередньо напруженої арматури прийнято 45 мм.

Площа верхньої арматури плити $A_p^{'} = 397 см^2$.

Для нижньої плити завтовшки 25,0 см, яка розміщується в зонах від'ємних моментів на відстанях 9,45 м у бік крайнього від проміжної опори і 12,6 м у бік середнього прогону, прийнято армування із 92Ø 14 мм, з кроком 121 мм, площею $A_S = 141{,}6 см^2$.

Розрахунок виконано для перерізу стале залізобетонної балки коробчастого типу з двома залізобетонними плитами над проміжною опорою мосту.

Першу частину постійного навантаження сприймає металевий переріз балки, згинальний момент від цього навантаження становить M_1=-94578 кНм.

Другу частину постійного навантаження, зусилля від попередньо напруженої арматури та тимчасове навантаження сприймає сталезалізобетонний переріз балки. Момент в цьому перерізі від другої частини постійного навантаження становить M_2= -36427 кНм.

Рівнодіюча зусиль попереднього напруження становить N_0 =-14172,9 кН.

Дію попереднього напруження замінюємо дією стискальної сили N_0, що прикладена в середині висоти балки і згинального моменту M_0 =14739,8 кНм.

Найбільший розрахунковий момент від тимчасового навантаження А-15+натовп на тротуарі становить $M_{тим}$.= - 37670,5 кНм.

Граничне значення характеристики повзучості бетону прийнята $\varphi_t = 1{,}52$ [1].

У результаті розрахунку виявили, що у відсотковому відношенні частина напружень від повзучості бетону від другої частини постійного навантаження та сил попереднього напруження до повного напруження, на момент часу t затухання повзучості склали:

- у бетоні на рівні центру ваги верхньої плити – 6,6 %;
- у бетоні на рівні центру ваги нижньої плити – 37,6 %.;
- в арматурі у бетоні на рівні центру ваги верхньої плити – 8,4 %;
- в арматурі у бетоні на рівні центру ваги нижньої плити – 15,5 %.

Література

1. ДБН В.2.3-14:2006. Мости та труби .Правила проектування . – К: Міністерство будівництва , архітектури та житлово-комунального господарства, 2006.

2. Л.Д. Лившиц .Расчет железобетонных конструкций с учетом влияния усадки и ползучести бетона – К: Издательское объединение „ Вища школа “ , 1975.

3. Снитко В.П. Інформаційні технології розрахунку сталезалізобетонних конструкцій мостів з двома залізобетонними плитами. Науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво», вип. 97 К.:НТУ , 2016.

4. Снитко В.П. Проектування сталезалізобетонних мостів : навч. Посібник . – К.:НТУ, 2005.

5. Снитко В.П. Проектування та розрахунок прогонових будов металевих мостів : навч. Посібник. – К.:НТУ , 2010.

Рецензенти:
Гуляєв В.І., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.
Марчук О.В., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

Reviewer:
Huliaiev V.I., Dr. Tech. Sci., National Transport University.
Marchuk A.V., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **07.03.2017 р**.

УДК 528.32

Тимченко О.М., канд. техн. наук

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ НА СКЛОНАХ ЗАКАРПАТЬЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Аннотация. В статье рассмотрены особенности исследования оползневых процессов на склонах Закарпатья фотограмметрическими методами.
Объект исследования – оползневые смещения на Солотвинской впадине.
Цель работы - определение оползневых смещений на Солотвинской впадине с помощью фотограмметрических методов и экспериментальная оценка точности определения оползневых смещений по наземным фотоснимкам.
Метод исследования - фотограмметрический метод определения оползневых смещений.
Прогнозные предположения относительно развития объекта исследования - разработка методики наблюдений за оползневыми процессами фотограмметрическими методами.
Ключевые слова: исследование, оползневой процесс, смещение, фотограмметрический метод.

УДК 528.32

Тимченко О.М., канд. техн. наук

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ НА СХИЛАХ ЗАКАРПАТТЯ ФОТОГРАММЕТРИЧНИМИ МЕТОДАМИ

Анотація. В статті розглянуто особливості дослідження зсувних процесів на схилах Закарпаття фотограмметричними методами.
Об’єкт дослідження – зсувні зміщення на Солотвинський западині.
Мета роботи – визначення зсувних зміщень на Солотвинський западині за допомогою фотограмметричних методів і експериментальна оцінка точності визначення зсувних зміщень за наземними фотознімками.
Метод дослідження – фотограмметричний метод визначення зсувних зміщень.

Прогнозні припущення щодо розвитку об’єкта дослідження – розробка методики спостережень за зсувними процесами фотограмметричними методами.

Ключові слова: дослідження, зсувний процес, зміщення, фотограмметричний метод.

UDC 528.32

Tymchenko O.N., Ph.D.

RESEARCH OF LANDSLIDE PROCESSES ON THE SLOPES OF ZAKARPATTIA BY METHODS OF PHOTOGRAMMETRY

Abstract. In the article the features of research of landslide processes are considered on the slopes of Zakarpattya by methods of photogrammetry.

Object of the study – landslide distortions on Solotvynskoy mountain trench.

Purpose of the study – to determine landslide distortions on Solotvynskoy mountain trench by methods of photogrammetry and experimental estimation of positioning accuracy of landslide distortions after surface photos.

Method of the study – method of photogrammetry for determination of landslide distortions.

Forecast assumptions about the object of the study – to develop observing technique of landslide processes by methods of photogrammetry.

Key words: research, landslide process, distortion, method of photogrammetry.

Постановка проблемы

За последние годы Украина понесла существенные материальные и человеческие потери от растущего негативного влияния опасных геологических процессов естественного и техноприродного генезиса. Суммы прямого ущерба составляют около 300 млн грн. [1]. Поэтому необходимо предупреждать развития опасных геологических процессов, среди которых наиболее распространенными и разрушительными на территории Украины являются оползневые процессы.

Активизация оползней во многих регионах имеет разрушительный, а иногда катастрофический характер. Только за последние годы от оползневых процессов пострадали горные районы Закарпатской области, многочисленные

объекты в Автономной Республике Крым, здания в городах Днепре, Каменске, Черновцах, Луганске и многих других населенных пунктах. Это создает постоянную угрозу возникновению чрезвычайных ситуаций техногенного и естественного характера, а также опасность для здоровья и жизни людей.

Предупреждение оползневых процессов позволит избежать огромных расходов в сравнении с ликвидацией их последствий. Несовершенство методов оценки степени оползневой опасности и надежности расчетов противооползневых сооружений приводит к тому, что требования строительных норм не всегда выполняется, в результате чего количество аварий и катастроф от оползней увеличивается. Это определяет актуальность работ по усовершенствованию методов расчета оползневой опасности и эффективности инженерной защиты территорий и сооружений.

Анализ последних исследований и публикаций.

Как отмечают исследователи [1-7], несмотря на определенные достижения в понимании механизмов оползневых процессов разных типов и при наличии возможности проведения расчетов с помощью численных моделей, прогнозирование начала катастрофического быстрого движения и соответствующего распространения оползневых масс и до сих пор кажется чрезвычайно тяжелым. То есть ответ на основной вопрос, когда и с какими параметрами состоится разрушение склона и будет ли оно иметь катастрофические последствия, зависит от многих факторов, которые можно получить на основе опыта, использования аналогов в оползнеопасных местах с похожими условиями, анализа результатов мониторинга. Ни один из этих подходов не является безошибочным, и потому часто они используются все вместе.

Изучением оползневых смещений в горных регионах Украины занимались многие авторы, среди них можно выделить Билеуша А.И., Емельянову Е.П., Герасимчука В.А., Круцыка М.Д., Ерыша И.Ф., Саломатина В.Н., Казарновского В.Д., Коробанову И.Г., Рудько Г.И и др. Также многие организации проводили изыскания на оползневых участках вдоль автомобильных дорог.

Службой автомобильных дорог в Закарпатской области разработана Программа инженерной защиты автомобильных дорог с привлечением научно-исследовательских проектных институтов и применением современных строительных материалов и новейших технологий, определены первоочередные меры относительно ремонта аварийных участков автомобильных дорог. Однако

каждый оползень имеет свои особенности и требует индивидуального подхода. На данное время не существует точных моделей нарушения стойкости склонов и требуются достоверные начальные данные для оценивания оползней и их активности. Такие данные могут быть получены за счет исследования оползневых склонов фотограмметрическими методами, которые дают высокую точность начальных данных.

Таким образом, целью исследования является определение оползневых подвижек на Солотвинской впадине с помощью фотограмметрических методов и экспериментальная оценка точности определения оползневых смещений по наземным фотоснимкам.

Основные результаты исследований.

Солотвинская впадина – один из активных оползневых районов на склонах Закарпатья. Первое полное всестороннее изучение впадины и прилегающих территорий было выполнено под руководством профессора Золотарева Г.С. в 1952 – 1956 гг. [8]. В дальнейшем исследования оползневых процессов на склонах Закарпатья проводились такими исследователями как Ерыш И.Ф., Рудько Г.И., Круцык М.Д., Герасимчук В.А.

Основной оползневой участок впадины представляет собой древний оползневой цирк с глубокими оврагами по бортам. Выше бровки впадины – пологое плато с абсолютной отметкой 118 м. Крутая стенка срыва высотой более 10 м удалена от железной дороги на 240 м. Тело оползня состоит из трех блоков: один – под насыпью железной дороги, два – выше нее. Оползневые накопления – глины средневерхнеюрского возраста. Максимальная мощность оползневых накоплений 55 м, под железнодорожной линией 20-25 м.

Геологическое строение впадины по данным бурения:

- глауконитовые песчаные мергели мощностью 25 м;
- темные глины с прослойками сидеритов и известковистых песчаников мощностью 25 м;
- мелкозернистые песок мощностью до 4 м ниже уровня меженных вод р. Латорица.

Основные причины оползнеобразования по Г.С. Золотареву [8]:

1) общий наклон поверхности темных глин к р. Латорица;

2) чередование водопроницаемых и водонепроницаемых слоев;

3) наличие подземных вод;

4) многочисленные трещины во впадине, способствующие проникновению внутрь атмосферных вод;

5) сотрясение от движения поездов.

Основными факторами оползнеобразования являлись водоносный горизонт в прослое песчаников на отметке $H_{абс}$=46 м и напорный водоносный горизонт в толще песков, имевший гидравлическую связь с р. Латорица в нижней части впадины. Для предотвращения влияния этих факторов во впадине были выполнены бетонированный контрбанкет, дренажные штольни, водоотводы для перехвата вод.

Со временем увеличился фильтрационный поток подземных вод со стороны коренного склона, что привело к увеличению гидростатического напора в тыловой части оползневой толщи. Произошло подтопление нижней части толщи оползня. В результате ухудшились физико-механические свойства грунтов. Оказывает влияние полив садов на плато впадины, водопроявление обнаружено на абсолютной отметке $H_{абс}$=90-102 м. Анализ влажности грунтов показал, что разгрузка этих вод происходит не только в зону основания стенки срыва, но и в толщу оползневых блоков. Оползневая масса находится в состоянии крайне неустойчивого равновесия, периодически происходят локальные оползневые смещения, а также просадки и провалы грунта на поверхности, что может быть следствием растворения и выщелачивания гипса в породах впадины. Таким образом, противооползневые мероприятия, осуществленные во впадине, не обеспечили стабилизации его положения, исследования оползневых процессов не потеряли своей актуальности [9].

Наблюдения за оползневыми процессами на Солотвинской впадине выполнялись геодезическими методами. В 1986 г. здесь впервые начато применение фотограмметрических методов для исследования оползневых процессов. На основном оползневом участке впадины стационарно закреплены два базиса фототеодолитной съемки: базис длиной 13 м в центральной части оползня, базис длиной 47 м на парапете берегоукрепления. Фототеодолитная съемка с малого базиса позволяет определить положение оползневых точек прибровочной части косогора (отстояние до 200 м), позволяет вести наблюдения за центральной частью оползня и за проходящим здесь участком железной дороги. Так как впадина сильно задернована, то контролируемые точки закреплены металлическими штырями длиной 2,5 м, они заглублены в грунт на 2 м. На концах штырей – марки в виде металлических пластин с нанесенными на

них краской перекрестьями. Всего закреплено равномерно по площади оползневого участка порядка 40 контролируемых точек, произведена их окопка для лучшего опознавания на аэроснимках. Фототеодолитную съемку обеспечивают четыре контрольные точки на дальнем плане впадины (коньки крыш, цементный столб), имеется также сеть опорных геодезических точек, позволяющая контролировать стабильность положения контрольных точек и съемочных базисов в процессе исследований.

Наземная фотосъемка оползневого участка впадины выполняется фототеодолитом Photheo 1318 ежегодно в весенне-осенний период с интервалами в один-два месяца. Начиная с 2005 г. ежегодно весной производилась также аэрофотосъемка впадины.

Съемка выполнялась с самолета АН-2 аэрофотоаппаратами АФА-ТЭВ-35 и АФА-ТЭС-10М с фокусными расстояниями f_k=350 мм и f_k=100 мм в масштабах 1:1000 – 1:4000 соответственно. Оползневые смещения контролируемых точек определяются аналитически. Измерения координат точек по наземным и воздушным снимкам производятся на стетеокомпараторе СК 1818, влияние ошибок элементов внешнего ориентирования снимков учитывается по контрольным точкам с применением компьютерной техники.

Проведенные наблюдения показали, что в период с 2009 по 2012 г. оползневых подвижек во впадине не было. В 2013 г. отмечалось смещение отдельных контролируемых точек на величины 10-20 см в плане и 5-10 см по высоте вниз по склону, что явилось предвестником происшедшей затем активизации оползневых процессов. Так, в 2014-2015 гг. зафиксированы подвижки практически всех контролируемых точек. В районе точек 16, 17, 31, 10 произошел срыв земляных масс протяжностью до 20 м и порядка 5 м по высоте. Точка 16 попала в зону срыва и была впоследствии уничтожена.

Ниже приведена таблица смещений контролируемых точек по наблюдениям 2014-2015 гг. (табл. 1).

В ходе исследований была выполнена экспериментальная оценка точности определения оползневых смещений по наземным фотоснимкам. В разных частях оползневого участка закреплены четыре пары точек. Расстояния между точками каждой пары вычислялись по фотограмметрическим координатам и контролировались рулеткой.

Результаты оценки точности приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Оползневые смещения

№ точек	24.05-28.10.2014			28.10.2014-13.05.2015			13.05-25.06.2015			25.06-15.08.2015		
	ΔX, см	ΔY, см	ΔZ, см	ΔX, см	ΔY, см	ΔZ, см	ΔX, см	ΔY, см	ΔZ, см	ΔX, см	ΔY, см	ΔZ, см
1	3	8	1	4	15	13	-2	-4	-9	1	37	16
2	3	-14	-3	2	10	-3	-2	2	0	-1	2	0
3	-3	1	-6	-2	-9	1	4	26	0	-1	-28	0
4	0	-6	-23	-29	-63	-17	-7	7	-6	0	-3	3
5	1	-9	-26	-23	-97	-42	-2	3	-6	2	-6	-4
6	-6	-17	-26	-14	-94	-30	1	-4	1	4	5	-9
7	3	-1	3	-3	-1	-4	3	13	2	-3	-8	-3
8	-2	-8	-5	0	-5	0	-1	10	2	3	8	2
9	2	-3	-6	0	-5	3	0	4	0	1	4	3
10	-3	-32	-20	2	-3	4	2	17	-1	2	-15	1
11	-1	-10	-7	-1	0	4	0	11	0	5	-23	-5
12		-6	-4	4	4	-2	4	-31	-2	0	0	0
13	0	-13	-7	0	-10	-1	0	-6	5	1	6	1
14	-2	-1	-2	2	-3	-9	-3	-2	4	1	0	-2
15	2	-33	1	45	-153	-63	10	-12	-4	2	-14	-4
16	19	-477	-405	-8	-22	-2						-6
17	7	-6	-4	4	4	-2	4	-31	-2	0	0	
18		-13	-7	0	-10	-1	0	-6	5	1	6	0
19	-2	-1	-2	2	-3	-9	-3	-2	4	1	0	-2
20	2	-33	1	45	-153	-63	10	-12	-4	2	-14	-4
21	-4	-50	4	26	100	-12	4	-8	-6	2	2	-6
22	9	-35	-4	0	-2	-3	12	10	3	-4	-17	6
23	1	-3	-11	3	3	2	-1	-5	0	2	13	-5
24	0	-58	-5	39	-154	-59	4	-18	-14	3	9	4
25	17	-42	12	-3	18	-1	-9	-5	0	-11	1	0

Таблица 2 – Результаты оценки точности

№ точек	Отстояние, м	Измерение рулеткой, м	Определение по НФС, м b=15 м	Ошибка НФС, см	Предвычислен-ные ошибки, см
8-9	100	1,345	1,361	2	2
10-11	155	3,715	3,728	1	4
12-13	158	0,731	0,747	2	4
3-30	170	1,855	1,907	5	4

Ожидаемые ошибки наземной фототеодолитной съемки при определении оползневых подвижек вычислены по формулам [10]:

$$m_X = m_Y \cdot \frac{x_1}{f}; \quad m_Z = m_Y \cdot \frac{z_1}{f}; \quad m_Y = \frac{y^2 \cdot m_p}{b \cdot f_k} \qquad (1)$$

Суммарная ошибка $m_S = \sqrt{m^2X + m^2Z + m^2Y}$, x_1, z_1 – координаты точки на снимке; m_p – ошибка измерения продольного параллакса.

Точность определения координат оползневых точек по материалам аэрофотосъемки оценивалась в сравнении их с соответственными геодезическими координатами (табл. 3).

Таблица 3 – Точность определения координат оползневых точек

№ точек	Ошибки АФС, см			Предвычисленные ошибки, см f_k=350 мм; 1:m=1:1000		
	ΔX	ΔY	ΔZ	m_X	m_Y	m_Z
10	4	-2	12	2	1	8
11	1	2	-5			
12	2	0	-6			
Рельс	0	0	4			

Ожидаемые ошибки АФС вычислялись по формулам:

$$m_X = 2m \cdot m_q; \quad m_Y = m \cdot m_q; \quad m_Z = 1{,}7B^f m \cdot m_q, \tag{2}$$

где m – знаменатель масштаба АФС;

m_q – ошибка измерения поперечного параллакса;

B – базис съемки.

Выводы по исследованию

В дальнейших исследованиях предполагается составить банк данных по оползневым подвижкам на впадине, разработать математическую модель оползня, наметить пути своевременного прогнозирования подвижек, опасных для железнодорожного пути. Будет также разработана методика наблюдений за оползневыми процессами на впадине фотограмметрическими методами.

Литература

1. Круцик М.Д. Захист гірських автомобільнх доріг від зсувів (на прикладах гірських регіонів України) / Круцик М.Д., Грицюк Л.В., Грицюк О.Л.; під ред. М.Д. Круцика. – Коломия: Друкарня ім. Шухевича, 2003. – 425 с.

2. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов / Е.П. Емельянова. – М.: Недра, 1972. – 310 с.

3. Герасимчук В.О. Гірські автомобільні дороги України // В.О. Герасимчук. – Коломия: Вік, 1998. –352 с.

4. Билеуш А.И. Оползни и противооползневые мероприятия / А.И. Билеуш. – К.: Наукова думка, 2009. – 560 с.

5. Саломатин В.Н. Методы исследования режима оползней / В.Н. Саломатин, И.Ф. Ерыш. – М., 1980. – 49 с.

6. Казарновский В.Д. Защита горных дорог от опасных геологических процессов / Казарновский В.Д., Каримов Б.Б., Мурадов Х.Я.; под ред. В.Д. Казарновского. – К.: Логос, 1998. – 250 с.

7. Рудько Г.И. Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых областей Украины (Крым, Карпаты): [монография] / Г.И. Рудько, И.Ф. Ерыш. – К.: Задруга, 2006. – 624 с.

8. Золотарев Г.С. Обвалы и оползни на горных склонах и их устойчивость / Г.С. Золотарев // Вопросы инж. геол. и грунтоведения. –М., 1968. – Вып. 2. – С. 184–202.

9. Экзогенные геологические процессы и явления / [Оспенников Е.Н., Труш Н.И., Чижов А.Б., Чижова Н.И.]; под общ. ред. В.А. Кудрявцева. – М., 1980. – 227 с.

10. Лобанов А.Н. Фотограмметрия / А.Н. Лобанов. – М.: Недра, 1983. – 550 с.

Рецензенти:
Савенко В.Я., д-р тех. наук, Національний транспортний університет.
Балашова Ю.Б., канд. техн. наук, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури.

Reviewers:
Savenko V.Ya., Dr. Tech. Sci., National Transport University.
Balashova Yu.B., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture.

Стаття надійшла до редакції: **23.02.2017 р**.

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА БЕЗПЕКА РУХУ

УДК 656.13

Коваленко Л.О., канд. техн. наук.

РІВЕНЬ ТА ОСНОВНІ ПРИЧИНИ АВАРІЙНОСТІ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ

Анотація. Стаття присвячена аналізу впливу дорожніх умов та параметрів транспортного потоку на стан аварійності на вулицях міста. Розглянуто зміну кількості дорожньо-транспортних пригод у часі та основні причини ДТП.
Ключові слова: безпека руху, автомобільна дорога, дорожньо-транспортні пригоди, транспортний потік.

УДК 656.13

Коваленко Л.А., канд. техн. наук.

УРОВЕНЬ И ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ АВАРИЙНОСТИ НА УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ

Аннотация. Статья посвящена анализу дорожных условий и параметров транспортного потока на состояние аварийности на городских улицах. Рассмотрены изменения количества дорожно-транспортных происшествий во времени и основные причины ДТП.
Ключевые слова: безопасность движения, автомобильная дорога, дорожно-транспортные происшествия, транспортный поток.

UDC 656.13

Kovalenko L. O., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.)

THE LEVEL AND MAJOR CAUSES OF ACCIDENTS ON THE ROAD NETWORK

Abstract. This article deals with the impact of road conditions and the parameters of traffic flow on the accident rate on urban streets. The changes in the number of road accidents in time and the main causes of accidents are considered.
Key words: traffic safety, road, road accidents, traffic flow.

Вступ

Удосконалення автомобільної техніки приводить до значного росту технічних можливостей сучасного автомобільного парку. Основна частина доріг та вулиць на Україні побудована по застарілим нормам і технічним умовам, що приводить до зниження транспортно-експлуатаційних якостей доріг і збільшенню числа дорожньо-транспортних пригод, безпосередньо пов'язаних з дорожніми умовами.

В останні роки все більш гостро стає питання щодо забезпечення нормального функціонування системи дорожнього руху, яка є складною динамічною системою взаємодії транспортних і пішохідних потоків у сукупності чотирьох її складових частин: водій-автомобіль-дорога-середовище. Збільшення інтенсивності руху транспорту, зміна структури і швидкісних режимів транспортних потоків ставлять усе більш жорсткі вимоги до засобів керування й організації руху, забезпечення необхідного рівня ефективності і безпеки дорожнього руху. Для цього необхідне створення оптимальної за довжиною, щільністю й транспортно-експлуатаційними показниками вулично-дорожньої мережі. Однак, досвід найбільш розвинутих країн показує, що недостатньо побудувати дороги, необхідно здійснювати на них постійну цілеспрямовану діяльність з планування, оснащення спеціальними технічними пристроями організації дорожнього руху й оперативному керуванню рухом.

У процесі експлуатації автомобільних доріг та вулиць виявляються ділянки, кількість дорожньо-транспортних пригод на одиницю довжини яких більша, ніж на інших ділянках. Дуже важливо правильно оцінити їх як аварійно небезпечні чи як місця концентрації дорожньо-транспортних пригод і вчасно провести заходи щодо підвищення безпеки руху [1].

Підвищення рівня небезпеки дорожнього руху зумовлено: недостатнім рівнем підготовки водіїв транспортних засобів; недосконалістю правового регулювання у сфері профілактики порушень правил дорожнього руху; невідповідністю стану вулично-дорожньої мережі рівню інтенсивності транспортного руху; низьким рівнем дисципліни учасників дорожнього руху; дублюванням повноважень центральних органів виконавчої влади у сфері забезпечення безпеки дорожнього руху; незалежним забезпеченням технічного обслуговування транспортних засобів; недостатністю впровадженням новітніх технологічних засобів організації дорожнього руху; неефективністю здійснення нагляду за дотриманням правил безпеки учасниками дорожнього руху;

неналежним фінансуванням заходів у сфері забезпечення безпеки дорожнього руху. Однією з найважливіших задач при цьому є комплексна оцінка умов руху на автомобільних дорогах та вулицях міст.

Основна частина

Харківська область займає третє місце в Україні за кількістю дорожньо-транспортних пригод, у минулому році зареєстровано 11,2 тис дорожньо-транспортних пригод, у яких загинуло 3,9 тис. осіб, постраждало майже 25 тис. осіб, травмовано 31,4 тис. осіб [2]. Переважну більшість дорожньо-транспортних пригод скоєно з вини водіїв транспортних засобів (77 відсотків загальної кількості).

Аналіз матеріалів по реєстрації дорожньо-транспортних пригод ГУМВС України в Харківській області свідчать про нерівномірність змін кількості ДТП в різні періоди часу. Основні показники аварійності наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Кількість дорожньо-транспортних пригод по роках

Роки	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Кількість ДТП	10293	15082	19676	15777	13361	11717	12604	12140	11155	10328	11265

З 2006 до 2008 року спостерігається збільшення кількості дорожньо-транспортних пригод по Україні в цілому та по Харківській області. З прийняттям Закону України від 24.09.2008 № 586 «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо вдосконалення регулювання відносин у сфері забезпечення безпеки дорожнього руху» у кінці 2008 року та на протязі 2009 року спостерігається динаміка зниження дорожньо-транспортних пригод. Починаючи з 2011 року знову спостерігається невелике щорічне збільшення дорожньо-транспортних пригод.

Безпека руху на автомобільних дорогах істотно залежить від того, в якій фазі працездатності знаходиться водій. При організацій руху слідує прагнути к збільшенню тривалості фази оптимальної працездатності водія та усунення можливості появи різкого падіння надійності. Проте виконання цієї вимоги можливо лише при знанні ролі дорожніх умов як в процесі піддержання оптимальної працездатності, так і в розвитку стоми. При цьому важливо знати не тільки динаміку працездатності, але і механізми який спричиняє її зміни.

Аналіз змін кількості дорожньо-транспортних пригод по годинам доби показав, що максимальна кількість приходиться на період 16–18 годин. Динаміка зміни інтенсивності руху по годинам доби має два піка. Перший пік о 7–9 годині ранку, другий о 16–18 годині вечора.

В ранковий час працездатність водіїв вище і число дорожньо-транспортних пригод в цей час менше, але в період з 7–ї до 9–ї години кількість дорожньо-транспортних пригод становить 10,96 %. Тяжкість дорожньо-транспортних пригод також зростає в період 7–9 годин (17,8 %) та 16–18 годин (22,2 %). Увечері і вночі зростання інтенсивності руху і зниження працездатності відповідно приводить до зростання кількості дорожньо-транспортних пригод [2,3]. Біологічна ефективність людини в ранковий час висока, яка досягає вершини між 9 і 11 годинами, після чого вона падає до 12 годин до першого мінімуму.

Причини дорожньо-транспортних пригод які зазвичай фіксуються при аналізі аварійності: через порушення правил дорожнього руху водіями, пішоходами, і т.д.; через незадовільний стан дороги; через незадовільні дорожні умови; через недоліки в організації дорожнього руху.

При аналізі дорожніх умов треба розрізняти технічні та психологічні групи факторів, які обумовлюють безпеку руху. К технічним факторам відносяться ширина проїзджої частини, рівність та шорсткість покриття, поздовжній профіль, геометричні схеми перехресть та інші геометричні характеристики.

Основними причинами дорожньо-транспортних пригод, які були скоєні, є перевищення безпечної швидкості руху (27,0 %), порушення правил маневрування (21,0 %), порушення правил переїзду перехресть (8,0 %), перехід проїзної частини в невстановленому місці (6,0 %), виїзд на смугу зустрічного руху (7,0 %), недодержання дистанції (7,0 %), керування транспортним засобом у нетверезому стані (8,0 %), таблиця 2.

Аналіз дорожньо-транспортних пригод показав, що основними видами ДТП залишається зіткнення (35,7 %), наїзд на перешкоду (9,2 %), наїзд на пішохода (41,6 %), перекидання (6 %), наїзд на велосипедиста (4,5 %), наїзд на транспортний засіб, що стоїть (3 %). Основними причинами зіткнення і перекидання на автомобільних дорогах пов'язані з виїздом водія на смугу зустрічного руху при обгоні, перевищенням швидкості, переїздом нерегульованих перехресть і недотриманням дистанції.

Таблиця 2 – Основні причини дорожньо-транспортних пригод

Причини ДТП	Кількість, %
Перевищення безпечної швидкості руху	27
Недодержання дистанції	7
Виїзд на смугу зустрічного руху	7
Порушення правил переїзду перехресть	8
Порушення правил маневрування	21
Управління ТЗ у нетверезому стані	8
Перехід проїзної частини в невстановленому місці	6

Головними причинами дорожньо-транспортних пригод в Україні є перевищення швидкості, порушення правил дорожнього руху і управління транспортним засобом у нетверезому стані.

Найпоширенішими видами дорожньо-транспортних пригод залишаються наїзди на пішоходів, перешкоду та зіткнення транспортних засобів – на них припадає біля 80% від усіх дорожньо-транспортних пригод. На ці види дорожніх пригод припадає найбільша кількість потерпілих (близько 78 %).

З вини дорожніх умов відбувається від 20 % до 30 % всіх дорожньо-транспортних пригод, із-за неправильних дій водія від 60 % до 70 % усіх дорожньо-транспортних пригод, та із-за технічної несправності автомобіля до 10 % усіх дорожньо-транспортних пригод. Найчастіше дорожньо-транспортні пригоди відбуваються в наслідок наступних технічних недоліків дороги: недостатньою шириною проїжджої частини; недостатньою видимістю; поганим станом покриття. Окрім цього, причиною дорожньо-транспортних пригод може бути характер руху, що не відповідає дорожнім умовам.

Висновки

Основними причинами дорожньо-транспортних пригод, які призвели до смертельних наслідків є: невідповідна швидкість руху, порушення правил маневрування, виїзд на смугу зустрічного руху, керування транспортом у нетверезому стані, порушення правил проїзду перехресть, недотримання дистанції.

Дослідження факторів, які визначають першочерговий чи менш значний вплив на безпеку дорожнього руху, є одним з найбільш важких завдань. До того ж погляди на фактори та причини, що полягають в основі виникнення дорожньо-транспортної події, змінюються по мірі накопичення досвіду з організації і

регулювання дорожнього руху та дослідницьких робіт в галузі безпеки дорожнього руху. Тому необхідно визначитися з критеріями, за якими буде проводитися відбір «першочергових» факторів, вивчення яких дозволить знизити аварійність.

На підставі аналізу дорожньо-транспортних подій виявлено, що розміри аварійності й травматизму перебувають у залежності від наступних факторів: інтенсивності руху та складу транспортного потоку; стану доріг, їхнього встаткування, облаштування та благоустрою; умов видимості; схеми організації дорожнього руху; наявності зупинок міського маршрутного пасажирського транспорту;наявність місць тяжіння населення в межах перехрестя; інтенсивності пішохідного руху; технічного стану транспортного засобу; погодно-кліматичних умов; психофізіології учасників дорожнього руху. Дуже важливо правильно визначити пріоритети і максимально ефективно використати наявні фінансові і матеріально-технічні ресурси, насамперед правильно їх розподілити.

Література

1. Гончаренко Ф.П. Теоретичні основи та практичні методи підвищення безпеки руху при експлуатації автомобільних доріг: Монографія. – К.: 2000.

1. Доповідна записка про стан та основні причини аварійності на автошляхах Харківської області. – Харків: ГУМВС, 2016.

2. Гаврилов Э. В., Гридчин А. М., Ряпухин В.Н. Системное проектирование автомобильных дорог. Ч. I.: Учебное пособие. – Москва-Белгород: Издательство АСВ, 1998.

Рецензенти:
Павлюк Д.О., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.
Кіяшко І.В., канд. техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Reviewers:
Pavliuk D.O., Dr. Tech. Sci., National Transport University.
Kiiashko I.V., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Kharkiv National Automobile and Highway University.

Стаття надійшла до редакції: **28.02.2017 р**.

УДК 504.064.36 : 629.33 : 625.032.82 : 621.43

Матейчик В.П., д-р техн. наук, **Цюман М.П.,** канд. техн. наук,
Шевчук І.О., Руденко Д.Є., Старинець Л.М.

ОСОБЛИВОСТІ ВРАХУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДОРОЖНІХ УМОВ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА МАРШРУТІ

Анотація. У статті розкрито особливості врахування впливу дорожніх умов, що характеризуються коефіцієнтом дорожнього опору, на швидкісні властивості, витрату палива та викиди шкідливих речовин транспортних засобів на заданих маршрутах. Встановлено вплив коефіцієнта дорожнього опору на показники шляхових витрати палива і викидів шкідливих речовин бензинового транспортного засобу категорії М1 при різних швидкостях усталеного руху.
Ключові слова: коефіцієнт дорожнього опору, транспортний засіб, експлуатаційні показники, дорожні умови, маршрут.

УДК 504.064.36 : 629.33 : 625.032.82 : 621.43

Матейчик В.П., д-р техн. наук, **ЦюманН.П.,** канд. техн. наук,
Шевчук И.А., Руденко Д.Е., Старинец Л.М.

ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА МАРШРУТЕ

Аннотация. В статье раскрыты особенности учета влияния дорожных условий, характеризующихся коэффициентом дорожного сопротивления, на скоростные свойства, расход топлива и выбросы вредных веществ транспортных средств на заданных маршрутах. Установлено влияние коэффициента дорожного сопротивления на показатели путевых расхода топлива и выбросов вредных веществ бензинового транспортного средства категории М1 при различных скоростях установившегося движения.
Ключевые слова: коэффициент дорожного сопротивления, транспортное средство, эксплуатационные показатели, дорожные условия, маршрут.

UDC 504.064.36 : 629.33 : 625.032.82 : 621.43

Mateichyk V.P., Dr. Tech. Sci., **Tsiuman M.P.,** Cand. Eng. Sci. (Ph.D.),
Shevchuk I.O., Rudenko D.Ye., Starynets L.M.

THE PECULIARITIES OF ROAD CONDITIONS CHARACTERISTICS CONSIDERATION FOR THE SIMULATION OF VEHICLES OPERATIONAL PERFORMANCE ON ROUTE

Abstract. The peculiarities of road conditions impact consideration for vehicles speed properties, fuel consumption and harmful emissions on preset routes are presented in this paper. The road conditions are characterized by coefficient of road resistance. The impact of coefficient of road resistance for gasoline M1 category vehicle specific fuel consumption and harmful emissions under different constant speed is found.
Keywords: coefficient of road resistance, vehicle, operational performance, road conditions, route.

Вступ

В сучасних економічних умовах транспортне забезпечення господарської діяльності відіграє важливу роль. Найбільшу частку в транспортних процесах складає автомобільний транспорт. Оскільки переважним типом транспортних енергоустановок є енергоустановки на базі двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), найбільш значущими аспектами транспортних процесів є ефективність споживання моторних палив і рівень забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами, що містяться у відпрацьованих газах (ВГ) транспортних засобів (ТЗ). Ці показники суттєво залежать як від рівня досконалості робочих процесів і конструкції ТЗ, що закладається при їх проектуванні, так і від дійсного технічного стану ТЗ, дорожніх і транспортних умов, що визначені умовами експлуатації. Тому актуальною задачею є розробка і впровадження в експлуатацію ефективних заходів, що сприятимуть підвищенню екологічної безпеки транспортних засобів через ефективне паливовикористання і зменшення шкідливого навантаження на навколишнє середовище. Разом з тим, ефективність впровадження таких заходів неможливо оцінити без застосування об’єктивних методів моделювання експлуатаційних показників ТЗ.

Питання дослідження впливу на навколишнє середовище об'єктів дорожньої мережі, окремих ТЗ і транспортних потоків (ТП) та способів підвищення їх екологічної безпеки, розробки методик дослідження і прогнозування екологічної безпеки окремих ТЗ та рівня забруднення придорожнього середовища ТП, а також розробки систем екологічного моніторингу на транспорті досліджувались в роботах багатьох вчених [1–5].

На основі результатів цих досліджень в працях [6, 7] висвітлені особливості побудови математичної моделі системи «транспортний потік – дорога» та питання формування окремих елементів інтелектуальної системи моніторингу показників екологічної безпеки ТЗ. Разом з тим, питання застосування розроблених методів для оцінювання експлуатаційних показників ТЗ з урахуванням параметрів дійсних дорожніх умов потребують додаткових досліджень.

Метою статті є аналіз особливостей врахування характеристик дійсних дорожніх умов під час моделювання експлуатаційних показників транспортних засобів в процесі їх руху на маршрутах.

Результати дослідження

У відповідності з законами механіки в кожний момент руху ТЗ сила тяги на його ведучих колесах дорівнює сумі сил опору рухові, що в загальному випадку описується рівнянням тягового балансу:

$$P_p = P_f \pm P_i \pm P_j + P_W, \qquad (1)$$

де $P_p = f\left(M_e, U_{mp}\right)$ - сила тяги на ведучих колесах ТЗ, що є функцією від ефективного крутного моменту двигуна M_e і передаточного числа трансмісії U_{mp}; P_f - сила опору коченню; P_i - сила опору підйому; $P_j = f\left(M_a, U_{mp}, \frac{dV_a}{dt}\right)$ - сила інерції ТЗ, що є функцією маси ТЗ M_a, U_{mp} і прискорення ТЗ $\frac{dV_a}{dt}$; $P_W = f\left(V_a\right)$ - сила опору повітря, що є функцією швидкості ТЗ V_a.

Сила опору коченню визначається з рівняння:

$$P_f = G_a \cdot f_a \cdot \cos\alpha, \qquad (2)$$

де G_a - сила ваги автомобіля; f_a - коефіцієнт опору коченню; α - кут поздовжнього нахилу полотна дороги.

Сила опору підйому визначається як:

$$P_i = G_a \cdot \sin\alpha . \quad (3)$$

Отже, до суттєвих експлуатаційних факторів впливу на паливну економічність і екологічні показники ТЗ відноситься сумарний коефіцієнт дорожнього опору ψ, що складається із суми коефіцієнтів опору кочення і опору підйому і дає можливість визначити сумарну силу дорожнього опору:

$$P_\psi = G_a\left(f_a \cdot \cos\alpha \pm \sin\alpha\right) = G_a \cdot \psi . \quad (4)$$

Складові коефіцієнта дорожнього опору значно залежать від конструктивних параметрів елементів ходової частини ТЗ, режиму його руху, стану і якості дорожнього покриття, параметрів повздовжнього і поперечного профілю автомобільної дороги. В умовах експлуатації показники ТЗ суттєво залежать від вказаних параметрів автомобільної дороги, що визначають сумарний коефіцієнт дорожнього опору.

В процесі моделювання експлуатаційних показників ТЗ та визначенні впливу дорожніх умов на витрату палива і викиди шкідливих речовин ТЗ важливо забезпечити достовірність значень коефіцієнта дорожнього опору, що може задаватись різними способами, зокрема, як стохастичним методом, так і з використанням сучасних інформаційних технологій.

Під час руху ТЗ на реальному маршруті величина коефіцієнта ψ змінюється в тих чи інших межах в залежності від зміни дорожніх умов на маршруті. Ця обставина дуже ускладнює задачу визначення експлуатаційних показників ТЗ на маршруті, особливо якщо врахувати, що функціональних залежностей значень ψ від місця знаходження ТЗ на маршруті не існує. Відсутність цих функціональних залежностей примушує розглядати величину ψ як випадкову і описувати розподіл числових значень ψ на маршруті за тим чи іншим імовірнісним законом. Розглянемо детальніше особливості використання даного імовірнісного підходу на прикладі типового робочого маршруту комерційного ТЗ.

Для однотипових дорожніх умов найбільш достовірним є нормальний закон розподілу числових значень коефіцієнта ψ:

$$f(\psi) = \frac{1}{\sigma_\psi \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\psi - m_\psi}{\sigma_\psi}\right)^2} , \quad (5)$$

де m_ψ - математичне очікування величини ψ; σ_ψ - середнє квадратичне відхилення значень ψ.

Різні типи доріг характеризуються своїми параметрами нормального розподілу, тобто своїми числовими значеннями математичного очікування m_ψ та середнього квадратичного відхилення σ_ψ.

Якщо маршрут руху ТЗ складається з m типів дорожніх умов, то він може бути представлений таким чином:

$$\begin{matrix} l_1, & l_2, & ..., & l_i, & ..., & l_1 \\ p_1, & p_2, & ..., & p_i, & ..., & p_m \\ m_{\psi 1}, & m_{\psi 2}, & ..., & m_{\psi i}, & ..., & m_{\psi m} \\ \sigma_{\psi 1}, & \sigma_{\psi 2}, & ..., & \sigma_{\psi i}, & ..., & \sigma_{\psi m} \end{matrix}, \quad (6)$$

де l_i - довжина i-го типу дорожніх умов на маршруті; p_i - частка i-го типу дорожніх умов від загальної довжини L маршруту; $m_{\psi i}$, $\sigma_{\psi i}$ - параметри нормального розподілу числових значень коефіцієнта ψ в i-му типі дорожніх умов маршруту.

Показники ТЗ визначається спочатку для кожного типу дорожніх умов окремо, а потім для всього маршруту в цілому. На рисунку 1 представлено розрахункову схему визначення показників ТЗ на досліджуваному маршруті [8].

Динамічна характеристика $D(V_a)$ ТЗ для визначеного навантажувального режиму двигуна при змінній вазі доповнюється графіком функції нормального розподілу $f(\psi)$ для i-го типу дорожніх умов, побудованим за правилом «трьох сігма»: $\psi_{\min i} = m_{\psi i} - 3 \cdot \sigma_{\psi i}$, $\psi_{\max i} = m_{\psi i} + 3 \cdot \sigma_{\psi i}$ (рис. 1).

В загальному випадку автомобіль рухається на маршруті в одному напрямку маючи вагу G_x, а в зворотному - G_y, що враховує розрахункова схема.

Методологічною базою для використання динамічної характеристики є рівняння тягового балансу ТЗ, виражене за допомогою питомих величин, що для випадку усталеного рухумає вигляд:

$$D = \psi, \quad (7)$$

де $D = \dfrac{P_p - P_W}{G_a}$ - динамічний фактор ТЗ.

Вся сукупність значень коефіцієнта ψ від $\psi_{\min}$ до $\psi_{\max}$ поділяється на інтервали, які відповідають гілкам повних навантажень, позначених одним штрихом, та часткових навантажень, позначених двома штрихами, різних передач на динамічній характеристиці. Цей поділ починаємо з $\psi_{\max}$ і здійснюємо

його через промінь, що відповідає розглядуваному ваговому стану (G_x або G_y). Стрілки на вертикальних та горизонтальних лініях вказують на правило визначення граничних значень коефіцієнта ψ та відповідних їм значень швидкості V_a.

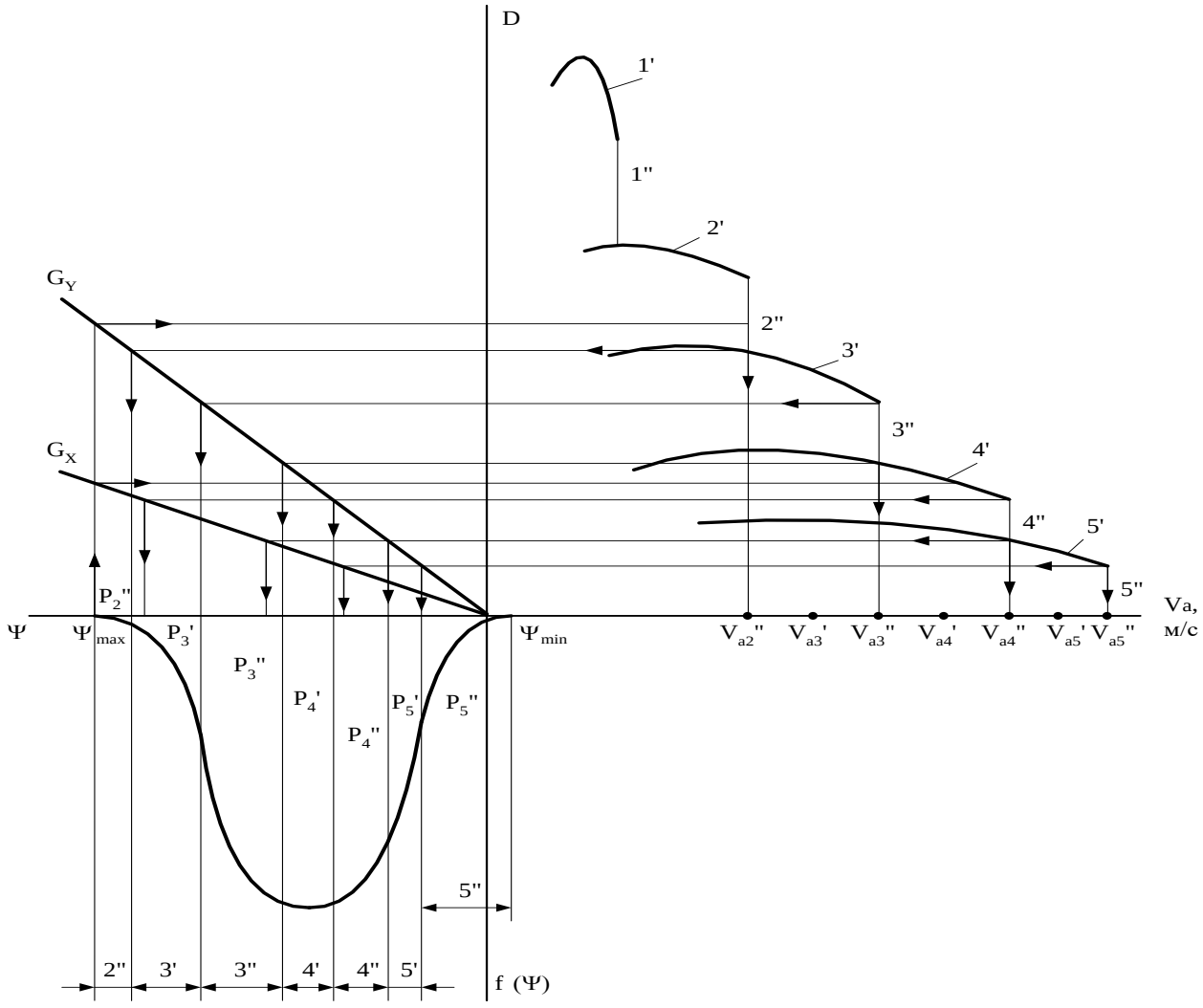


Рисунок 1 – Розрахункова схема визначення показників ТЗ на маршруті

Динамічний фактор згідно (1) описується функціональною залежністю:

$$D = f\left(M_e, U_{mp}, V_a\right) = f\left(M_e, n_\partial, U_{mp}\right), \tag{8}$$

де n_∂ - частота обертання колінчастого валу двигуна ТЗ.

Витрата палива і шкідливі викиди ТЗ також є функціями крутного моменту M_e і частоти обертання колінчастого валу n_∂ двигуна ТЗ та передаточного числа трансмісії U_{mp}, що у відповідності до (7) і (8) можна записати як:

$$\left\{m_{пал}, m_{CO}, m_{CH}, m_{NOx}\right\} = f\left(M_e, n_\partial, U_{mp}\right) = f\left(D, \psi\right). \tag{9}$$

Таким чином, на основі приведеної розрахункової схеми можливо встановити відповідність між швидкістю руху автомобіля, дорожніми умовами і

його динамічною характеристикою за алгоритмом $D = \psi \to V_a$, що є основою моделювання експлуатаційних показників ТЗ.

Значно підвищити достовірність результатів моделювання експлуатаційних показників ТЗ на реальному маршруті дозволяє використання сучасних інформаційних технологій. Зокрема, дійсні поточні значення поздовжнього кута нахилу дорожнього полотна, що є визначальними для коефіцієнта дорожнього опору на ділянці автомобільної дороги, можуть бути визначені шляхом експорту даних із *Web*-додатку *GoogleEarth* (нижня частина рис. 2).

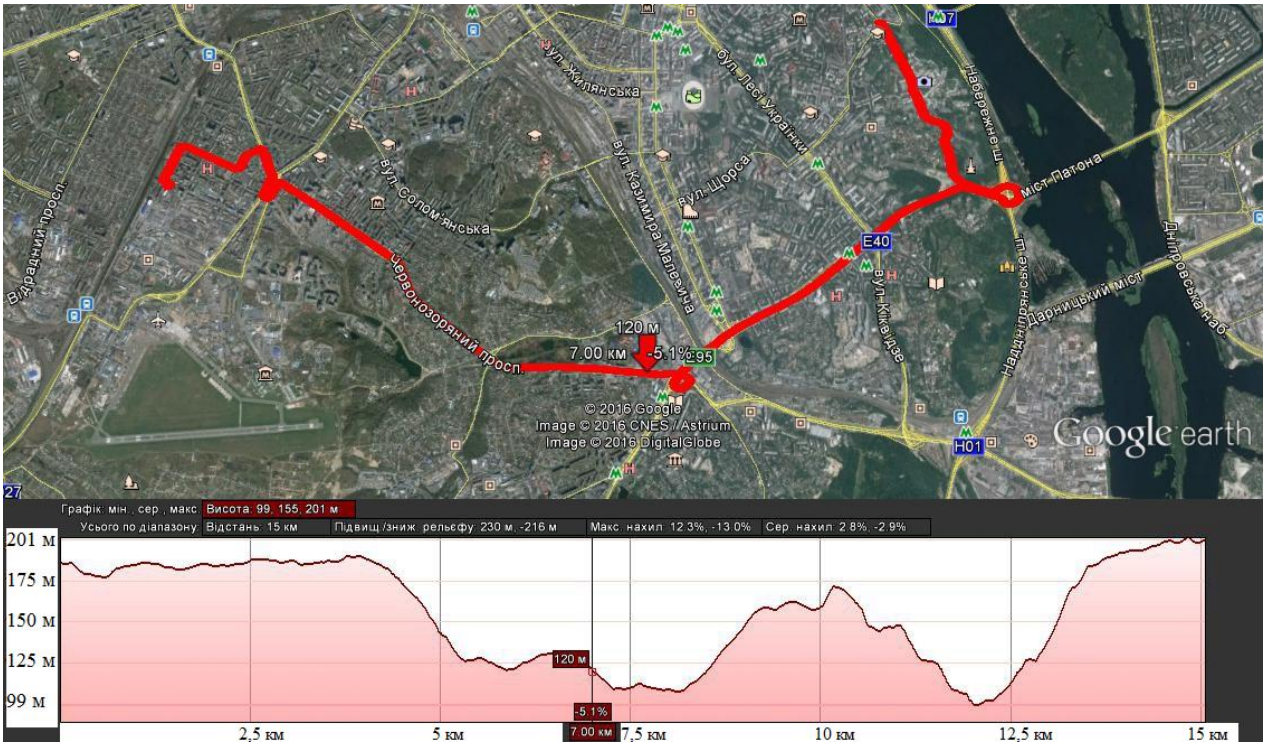


Рисунок 2 – Досліджувана ділянка дороги у місті Києві та її параметри

Поєднання отриманих з використанням сучасних інформаційних технологій значень ψ, даних про поточні координати місця знаходження ТЗ, поточних значень параметрів технічного стану, отриманих від бортової системи діагностики в процесі руху ТЗ, та описаної вище методики моделювання експлуатаційних показників ТЗ під час руху на маршруті дозволяють здійснювати аналіз впливу на ці показники дійсного технічного стану ТЗ, дорожніх і транспортних умов руху.

Теоретичні дослідження впливу швидкісного режиму бензинового ТЗ категорії М1 з повною масою 1500 кг при різних значеннях коефіцієнту дорожнього опору на показники шляхових витрати палива і викидів шкідливих

речовин проведено з використанням представленої вище математичної моделі руху автомобіля (рис. 3).

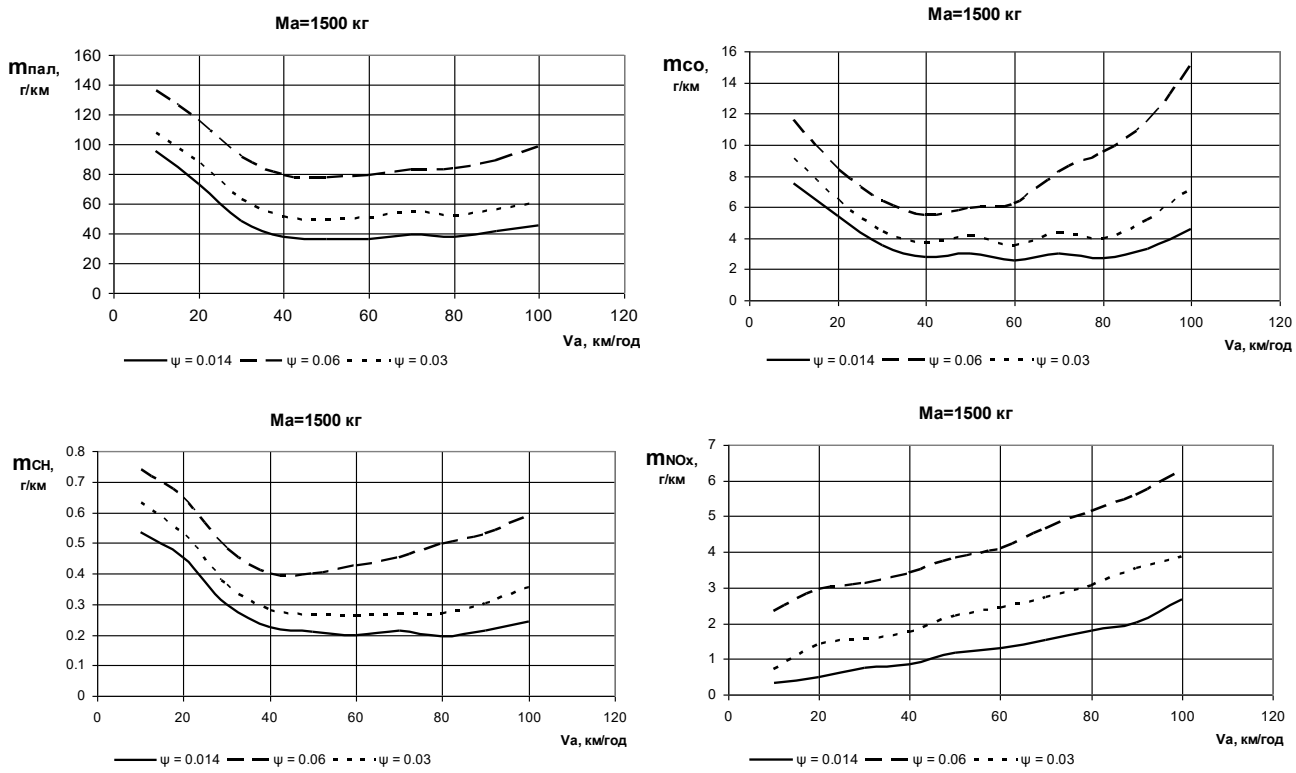


Рисунок 3– Залежності шляхових витрати палива і викидів шкідливих речовин від швидкості бензинового ТЗ категорії М1 з повною масою 1500 кг при різних значеннях коефіцієнта дорожнього опору

Ці дослідження підтверджують суттєвий вплив коефіцієнта дорожнього опору на витрату палива і викиди шкідливих речовин. Зокрема, збільшення коефіцієнта дорожнього опору ψ з 0,014 до 0,03 при постійній швидкості руху ТЗ 100 км/год збільшує витрату палива на 33,3 % (з 45 до 60 г/км), викиди оксиду вуглецю на 55,6 % (з 4,5 до 7 г/км), викиди вуглеводнів на 45,8 % (з 0,24 до 0,35 г/км), викиди оксидів азоту на 50 % (з 2,6 до 3,9 г/км). Подальше збільшення ψ з 0,03 до 0,06 збільшує витрату палива на 59,7%, викиди оксиду вуглецю на 114 %, викиди вуглеводнів на 71,4 %, викиди оксидів азоту на 61,5 %.

Таким чином, забезпечення мінімальних значень коефіцієнта дорожнього опору при проектуванні і будівництві автомобільної дороги є ефективним засобом для поліпшення експлуатаційних показників ТЗ.

Висновки

1. Характеристики автомобільної дороги є суттєвим фактором впливу на показники транспортного засобу в умовах експлуатації.

2. Дорожні умови характеризуються коефіцієнтом дорожнього опору, зокрема опору коченню і опору підйому, який при моделюванні експлуатаційних

показників транспортних засобів на заданих маршрутах може задаватись різними способами: імовірнісним методом і з використанням сучасних інформаційних технологій.

3. Розкрито особливості врахування впливу дорожніх умов, заданих різними способами, на швидкісні властивості, витрату палива та викиди шкідливих речовин транспортних засобів на заданих маршрутах.

4. Встановлено вплив коефіцієнта дорожнього опору на заданому маршруті на показники шляхових витрати палива і викидів шкідливих речовин бензинового транспортного засобу категорії М1 при різних швидкостях усталеного руху.

Література

1. Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов автомобиля в эксплуатационных условиях: монографія. К., 1991. 179 с.

2. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Снижение экологических нагрузок на окружающую среду при работе автомобильного транспорта // ВИНИТИ. Итоги науки и техники. Сер. Автомобильный и городской транспорт. М., 1996. 339 с.

3. Звонов В.А., Козлов А.В., Кутенев В.Ф. Экологическая безопасность автомобиля в полном жизненном цикле. М., 2001. 248 с.

4. Канило П.М. Автотранспорт. Топливно-экологические проблемы и перспективы : монографія. Харків, 2013. 272 с.

5. Матейчик В.П. Методи оцінювання та способи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів: монографія. К., 2006. 216 с.

6. Матейчик В.П., Цюман М.П., Вайганг Г.О. Моделювання системи «транспортний потік – дорога» // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, 2014. Вип. 46. С. 371-381.

7. Матейчик В.П., Цюман М.П. Формування структури інтелектуальної системи моніторингу показників екологічної безпеки транспортних засобів на окремих етапах життєвого циклу // Вісник Національного транспортного університету. К., 2015. Вип. 2(32). С. 193-200.

8. Задорожний В., Матейчик В., Клименко О., Куць Н., Методи комплексної оцінки показників роботи автомобілів в експлуатаційних умовах // Materialy Sympozjumu “Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju systemow pojazdow samochodowych i maszyn roboczych samojezdnjch”. Rzeszow, 1997. P. 255-259.

Рецензенти:
Жданюк В.К., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.
Нагайчук В.М., канд. техн. наук, ДП "ДерждорНДІ".

Reviewers:
Zhdaniuk V.K., Dr. Tech. Sci., Kharkiv National Automobile and Highway University.
Nahaichuk V.M. Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), "DerzhdorNDI".

Стаття надійшла до редакції: **22.03.2017 р**.

УДК 001.891.3:629.3:656.7.076:631.11

Соловйова О.О., канд.екон. наук, **Пронь С.В., Висоцька І. І.,** канд.екон. наук

МОДЕЛЮВАННЯ ВИКОНАННЯ АГРАРНИХ РОБІТ З УРАХУВАННЯМ ТРАНСПОРТНОЇ СКЛАДОВОЇ

Анотація. В даній статті досліджено процес вирощування сільськогосподарських культур як складну динамічну систему, складність якої

УДК 001.891.3:629.3:656.7.076:631.11

Соловйова О.О., канд.екон. наук, **Пронь С.В., Висоцька І. І.,** канд.екон. наук

МОДЕЛЮВАННЯ ВИКОНАННЯ АГРАРНИХ РОБІТ З УРАХУВАННЯМ ТРАНСПОРТНОЇ СКЛАДОВОЇ

Анотація. В даній статті досліджено процес вирощування сільськогосподарських культур як складну динамічну систему, складність якої полягає у наявності великої кількості різнорідних підсистем, у тому числі й транспортної. Розроблено економіко-математичну модель виконання аграрних робіт.
Ключові слова: математична модель, підсистема, множина операцій, види ресурсів, технологічна карта, авіаційна техніка, наземна техніка.

УДК 001.891.3:629.3:656.7.076:631.11

Соловьева А.А., канд.экон. наук, **Пронь С.В.,**
Высоцкая И. И., канд.экон. наук

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫПОЛНЕНИЯ АГРАРНЫХ РАБОТ С УЧЕТОМ ТРАНСПОРТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

Аннотация. В данной статье исследован процесс выращивания сельскохозяйственных культур как сложную динамическую систему, сложность которой заключается в большом количестве разнородных подсистем, в том числе и транспортной. Разработана экономико-математическая модель выполнения аграрных работ
Ключевые слова: математическая модель, подсистема, множество операций, виды ресурсов, технологическая карта, авиационная техника, наземная техника.

UDC 001.891.3:629.3:656.7.076:631.11

Soloviova O. O., Cand. Econ. Sci. (Ph.D.), **Pron S. V.,**
Vysotska I.I, Cand. Econ. Sci. (Ph.D.)

MODELING OF EXECUTION OF AGRICULTURAL WORKS TAKING INTO ACCOUNT OF THE TRANSPORT COMPONENT

Abstract: In this article the agricultural crops cultivation process has been investigated as a complex dynamic system, the complexity of which consists in a large number of heterogeneous subsystems, including transport. The economic-mathematical model of agricultural work execution has been developed.
Keywords: mathematical model, subsystem, a plurality of operations, the types of resources, technological card, aviation equipment, ground equipment.

Вступ

Транспортна складова має значний вплив на виробництво продукції сільського господарства залежно від ступеня його інтенсивності та рівня розвитку агропромислової інтеграції, оскільки транспорт бере безпосередню участь у технологічному процесі вирощування сілскогосподарських культур. Криза, що панує в нашій країні, змушує впроваджувати сучасні ресурсозберігаючі No-till технології вирощування сільськогосподарських культур, що неможливо без удосконалення транспортної складової. Тому важливим є розробка моделі виконання аграрних робіт з урахуванням інтегрованої транспортної системи, ефективність функціонування якої полягає у раціональному використанні наземної та авіаційної техніки, що призведе до зменшення матеріальних та фінансових ресурсів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Дослідженнями проблем впровадження ресурсозберігаючих технологій та ефективності функціонування транспортних систем у сільському господарстві присвячені наукові дослідження таких зарубіжних та вітчизняних вчених: Уейн Рівз, В.Г. Андрійчука, В.І. Бойка, А.С. Даниленка, М.Я. Дем'яненка, О.Ю. Єрмакова, М.М. Косолапа, В.І. Криворучка, А.М. Малієнка, О.М. Онищенка, С.П. Танчика, В.Ф. Сайка, В.О. Єщенка, А.Г. Дибір, М.І. Славков, К.В. Марінцева, Г.М. Михайлов, М.П. Матійчик, В.В. Мова, В.П. Поліщук, О.В. Худоленко, Хабутдінов, Г.М. Юн та ін.

Проведений аналіз сучасних наукових робіт показав, що в цих роботах недостатньо приділено уваги щодо моделювання транспортної системи в аграрному комплексі як підсистеми складної динамічної системи вирощування сільськогосподарських культур.

Мета статті. Дослідження процесу вирощування сільськогосподарських культур як складної динамічної системи з урахуванням впливу транспортної складової та розробка економіко-математичної моделі виконання аграрних робіт.

Виклад основного матеріалу

З точки зору окремого господарства організацію і ведення сільськогосподарського виробництва можна розглядати як управління складною динамічною системою в умовах дії випадкових факторів. Складність системи полягає у наявності великої кількості різнорідних підсистем – земельні ділянки, культури, транспортні засоби, механізми і обладнання, авіаційна техніка, добрива, речовини, паливо, техніка, люди. Динамічність полягає як у природі

виробничого процесу – вирощуванні рослин упродовж природнього річного циклу, так і у впливі попереднього циклу та раніш вирощуваних культур і виконаних робіт на ефективність дій у наступних часових періодах. Випадковими факторами є погодні умови, поява та розповсюдження шкідників та хвороб рослин, а також зміна цін на ресурси, послуги та кінцеву продукцію.

Зробимо формалізований опис елементів такої системи з метою використання в економіко-математичній моделі.

Нехай в поточному році t господарство розглядає можливість вирощувати культури на m_t земельних ділянках. Надалі будемо казати, що господарство в році t розглядає множину полів $I_t = \{1,...,m_t\}$. Кожне поле $i \in I_t$ має свої особливості і, насамперед, це площа s_i, попередня культура p_i, довжина гону L_i та відстань d_i від злітної смуги. Якщо на полі неможливо виконувати роботи за допомогою авіації, то формальною ознакою цього буде нескінчене (дуже велике) значення відстані d_i.

В господарстві можливо вирощування певної множини культур K, не кожна з яких обов'язково вирощується кожен рік. Вибір підмножини культур $K_t \subseteq K$, що будуть вирощуватися в році t, є предметом моделювання і пошуку оптимальних варіантів.

Нехай $K_{ipt} \subseteq K$ буде множиною культур, вирощування яких доцільно розглядати на полі i в році t після попередника p. Вибір культури для поля i в році t буде визначатися булевими змінними x_{ki}, сума яких має дорівнювати одиниці $\sum_{k \in K_{ipt}} x_{ki} = 1$, що означає вибір хоча би однієї культури.

Для кожної культури $k \in K_{ipt}$ існує множина варіантів (технологій) її вирощування V_{kip}. Під окремим варіантом ми розуміємо не абстрактну технологію, а скоріше конкретну технологічну карту, прив'язану до поля та його умов, які включають характеристики ґрунту, розташування та рельєф місцевості.Вибір варіанта $v \in V_{kip}$ буде визначатися булевими змінними y_{vki}, сума яких має дорівнювати нулю або одиниці $\sum_{v \in V_{kip}} y_{vki} = x_{ki}$ в залежності від значення змінної x_{ki}, що означає, що має бути вибраний хоча б один варіант вирощування культури k, якщо вона буде вирощуватися на полі i.

Кожен варіант $v \in V_{kip}$ у свою чергу характеризується множиною операцій Ω_v, які потрібно виконати у певні строки. Для моделювання строків виконання операцій розіб'ємо рік на періоди $\{\tau_1,...,\tau_N\}$, наприклад, тижні або декади. Тоді кожна операція $\omega \in \Omega_v$ має початковий і кінцевий періоди $\tau_b^\omega, \tau_e^\omega$. Операція має певний обсяг (або об'єм) та потребує використання ресурсів. Ресурси ми тут розуміємо у широкому сенсі. Якщо конкретизувати, то по відношенню до наземних транспортних засобів та механізмів це кількість годин використання засобів, по відношенню до авіаційного транспорту це кількість льотних годин, по відношенню до добрив та речовин це вага або об'єм, по відношенню до робітників це кількість людино-годин. Кожен вид ресурсу має свій тип обмежень на використання, так авіаційний транспорт має обмеження на щоденну, щомісячну та річну кількість льотних годин, для наземного транспорту доцільно розглядати обмеження на кількість годин використання в окремий період, кількість добрив та речовин може бути обмежена запасами та фінансовими можливостями придбати додаткові об'єми, тобто це обмеження на річне використання. Підкреслимо, що тут обсяги використання ресурсів для операції $\omega \in \Omega_v$ прив'язується до конкретного поля та його характеристик і особливостей.

Згрупуємо ресурси по видам та позначимо їхнє використання в операції $\omega \in \Omega_v$ наступним чином: $\overline{w}^H_{\omega vki}$– вектор використання ресурсів наземних транспортних засобів та механізмів, $\overline{w}^A_{\omega vki}$– вектор використання ресурсів повітряних транспортних засобів, $\overline{w}^M_{\omega vki}$– вектор використання добрив, речовин, ПММ. Кожен елемент цих векторів дорівнює обсягу використання відповідного ресурсу, необхідного для повного виконання операції ω у варіанті вирощування v культури k на полі i.

Оскільки операції дозволено виконувати протягом декількох періодів, то введемо змінні $z^\tau_{\omega vki}$ для операції ω і її періодів $\tau_b^\omega,...,\tau_e^\omega$, які будуть вказувати на те, яка доля операції виконується в кожний період $\tau \in [\tau_b^\omega, \tau_e^\omega]$. Звісно, що ці змінні додатні, а їх сума не має перевищувати 1, якщо варіант $v \in V_{kip}$ є вибраним, і 0, якщо варіант v не є вибраним, $\sum_{\tau \in [\tau_b^\omega, \tau_e^\omega]} z^\tau_{\omega vki} = y_{vki}$ $(\le y_{vki})$. Для деяких операцій може використовуватися нерівність, що буде означати, що ми допускаємо часткове виконання операції на випадок недостатньої кількості

ресурсів. Звісно, що неповне виконання операції призводить до зменшення врожаю, і така залежність має бути присутня у моделі.

Щоби відобразити залежність очікуваного врожаю культури k на полі i при варіанті її вирощування v від обсягів та строків виконання операцій будемо використовувати лінійну регресійну модель виду

$$U_{vki} = U^0_{vki} + \sum_{\omega \in \Omega_v} \sum_{\tau=\tau^\omega_b}^{\tau^\omega_e} u^\tau_{\omega vki} z^\tau_{\omega vki}, \qquad (1)$$

де U^0_{vki}, $u^\tau_{\omega vki}$ – коефіцієнти регресійної моделі.

Звісно, що така модель відображає залежність очікуваного урожаю в певних межах. Наприклад, вона не дасть зменшення врожаю до нуля, якщо не буде виконана операція посіву. Таку модель, радше, треба розглядати як залежність відхилення врожаю від очікуваного рівня. Тому не для всіх операцій ми будемо дозволяти неповне виконання, а також обмежимо зменшення об'єму для тих, яким дозволимо зменшення. Водночас, така модель дозволяє враховувати вплив строків виконання операцій на урожай за допомогою різних коефіцієнтів $u^\tau_{\omega vki}$ для однієї операції ω – для більш сприятливих періодів τ в межах інтервалу $[\tau^\omega_b, \tau^\omega_e]$ цей коефіцієнт має бути більшим, ніж для інших періодів. Урожай U_{vki} є змінною оптимізаційної моделі.

Перейдемо тепер до питання моделювання використання ресурсів. Господарство може мати власні ресурси, використовувати орендовані, залучати до виконання робіт сторонні організації, мати запаси добрив, речовин та ПММ, або придбавати додаткові об'єми. Вище ми згрупували ресурси по видам. Розглянемо один із видів $\overline{w}^*_{\omega vki}$, не уточнюючи поки-що який. Тоді використання господарством ресурсів цього виду в період τ виражається формулою:

$$\sum_{i \in I_t} \sum_{k \in K_{ipt}} \sum_{v \in V_{kip}} \sum_{\omega \in \Omega_v} \overline{w}^*_{\omega vki} z^\tau_{\omega vki}.$$

Різні види ресурсів мають різні обмеження по використанню у часі. До авіаційної техніки висуваються найбільш жорсткі вимоги, тому має контролюватися та обмежуватися наліт годин у відповідності до нормативів у кожному періоді τ. До наземної техніки вимоги менш жорсткі, тому використання може обмежуватися за декілька періодів, виходячи з фізичних можливостей використання наземної техніки. Добрива, речовини, ПММ

обмежені наявною кількістю, яка може бути довільно розподілена між періодами. Розглянемо також можливість залучати додаткові ресурси за додаткову плату. Тоді обмеження на використання ресурсів будуть мати такий вигляд:

$$\sum_{i\in I_t}\sum_{k\in K_{ipt}}\sum_{v\in V_{kip}}\sum_{\omega\in\Omega_v}\overline{w}^{A}_{\omega vki}z^{\tau}_{\omega vki}\le\overline{\rho}^{A}_{\tau}$$ для авіаційної техніки,

$$\sum_{i\in I_t}\sum_{k\in K_{ipt}}\sum_{v\in V_{kip}}\sum_{\omega\in\Omega_v}\overline{w}^{H}_{\omega vki}z^{\tau}_{\omega vki}\le\overline{R}^{H}_{\tau}+\overline{\rho}^{H}_{\tau}$$ для наземної техніки,

$$\sum_{\tau=\tau_1}^{\tau_N}\sum_{i\in I_t}\sum_{k\in K_{ipt}}\sum_{v\in V_{kip}}\sum_{\omega\in\Omega_v}\overline{w}^{A}_{\omega vki}z^{\tau}_{\omega vki}\le\overline{R}^{M}+\overline{\rho}^{M}$$ для запасів.

У наведених формулах $\overline{R}^{H}_{\tau}$ та $\overline{R}^{M}$ – це вектори наявних ресурсів; $\overline{\rho}^{A}_{\tau}$, $\overline{\rho}^{H}_{\tau}$, $\overline{\rho}^{M}$ – це вектори обсягів ресурсів, що орендуються або придбаваються, а елементи цих векторів є змінними моделі.

У якості критерія оптимальності будемо розглядати прибуток, який може отримати господарство від вирощування культур по результатам виробничого року. Для кожної операції $\omega\in\Omega_v$ згідно варіанту $v\in V_{kip}$ визначені витрати $c_{\omega vki}$, які будемо розглядати як змінні витрати. Додаткові ресурси $\overline{\rho}^{A}_{\tau}$, $\overline{\rho}^{H}_{\tau}$ орендованої техніки слід розглядати як вектори з дискретними приростами значень елементів. Тобто, ми можемо залучити один літак або два, тому відповідні додаткові ресурси можуть змінюватися дискретно і за кожну зміну ми маємо сплачувати певну фіксовану плату. Отже, ці витрати будуть мати змінну та постійну складову.

Використовуючи вище введені поняття та позначення, випишемо модель у вигляді оптимізаційної задачі

$$\sum_{i\in I_t}\sum_{k\in K_{ipt}}\sum_{v\in V_{kip}}\left(d_kU_{vki}-\sum_{\omega\in\Omega_v}c_{\omega vki}z^{\tau}_{\omega vki}\right)-\sum_{\tau=\tau_1}^{\tau_N}\left((\overline{c}^{A}_{\tau},\overline{\rho}^{A}_{\tau})+(\overline{c}^{H}_{\tau},\overline{\rho}^{H}_{\tau})\right)-(\Delta\overline{c}^{M}_{\tau},\overline{\rho}^{M}_{\tau})\to\max \quad (1)$$

при обмеженнях

$$U_{vki}=U^{0}_{vki}+\sum_{\omega\in\Omega_v}\sum_{\tau=\tau^{\omega}_{b}}^{\tau^{\omega}_{e}}u^{\tau}_{\omega vki}z^{\tau}_{\omega vki},\ v\in V_{kip},\ k\in K_{ipt},\ i\in I_t, \quad (2)$$

$$\sum_{i\in I_t}\sum_{k\in K_{ipt}}\sum_{v\in V_{kip}}\sum_{\omega\in\Omega_v}\overline{w}^{A}_{\omega vki}z^{\tau}_{\omega vki}\le\overline{\rho}^{A}_{\tau},\ \tau\in[\tau_1,\tau_N], \tag{3}$$

$$\sum_{i\in I_t}\sum_{k\in K_{ipt}}\sum_{v\in V_{kip}}\sum_{\omega\in\Omega_v}\overline{w}^{H}_{\omega vki}z^{\tau}_{\omega vki}\le\overline{R}^{H}_{\tau}+\overline{\rho}^{H}_{\tau},\ \tau\in[\tau_1,\tau_N], \tag{4}$$

$$\sum_{\tau=\tau_1}^{\tau_N}\sum_{i\in I_t}\sum_{k\in K_{ipt}}\sum_{v\in V_{kip}}\sum_{\omega\in\Omega_v}\overline{w}^{A}_{\omega vki}z^{\tau}_{\omega vki}\le\overline{R}^{M}+\overline{\rho}^{M}, \tag{5}$$

$$\alpha_{\omega vki}y_{vki}\le\sum\nolimits_{\tau\in[\tau^{\omega}_{b},\tau^{\omega}_{e}]}z^{\tau}_{\omega vki}\le y_{vki},\ \omega\in\Omega_v,\ v\in V_{kip},\ k\in K_{ipt},\ i\in I_t, \tag{6}$$

$$\sum\nolimits_{v\in V_{kip}}y_{vki}=x_{ki},\ k\in K_{ipt},\ i\in I_t, \tag{7}$$

$$\sum\nolimits_{k\in K_{ipt}}x_{ki}=1,\ i\in I_t, \tag{8}$$

$$x_{ki}\in\{0,1\},\ k\in K_{ipt},\ i\in I_t, \tag{9}$$

$$y_{vki}\in\{0,1\},\ v\in V_{kip},\ k\in K_{ipt},\ i\in I_t, \tag{10}$$

$$z^{\tau}_{\omega vki}\ge 0,\ \tau\in[\tau_1,\tau_N],\ \omega\in\Omega_v,\ v\in V_{kip},\ k\in K_{ipt},\ i\in I_t, \tag{11}$$

$$\overline{\rho}^{A}_{\tau}\in\overline{\Theta}^{A},\ \overline{\rho}^{H}_{\tau}\in\overline{\Theta}^{H}. \tag{12}$$

В моделі (1)–(12) формули мають такий сенс.

(1) – цільова функція, яка складається з очікуваного доходу від продажу врожаю за вирахуванням витрат на вирощування культур та на придбання додаткових обсягів ресурсів;

(2) – розрахунок очікуваного обсягу врожаю культури k на полі i в разі застосування варіанту вирощування v в залежності від строків та обсягів виконання операцій $\omega\in\Omega_v$, що передбачаються цим варіантом;

(3) – обмеження на обсяги ресурсів авіаційного транспорту, які можуть бути використані господарством в період τ;

(4) – обмеження на обсяги ресурсів наземного транспорту та механізмів, які можуть бути використані господарством в період τ;

(5) – обмеження на обсяги добрив, речовин, ПММ та інших речовин, які може використати господарство за весь виробничий цикл;

(6) – допустимі межі варіації обсягу виконання операцій $\omega\in\Omega_v$ в залежності від того обраний варіант вирощування v чи ні ($0\le\alpha_{\omega vki}\le 1$);

(7) – логічна умова чи будуть обиратися варіанти вирощування культури в залежності від того чи буде вирощуватися культура k на полі i;

(8) – вимога вибрати одну культуру для вирощування на полі i в році t;

(9)–(11) – області визначення змінних x_{ki}, y_{vki}, $z^{\tau}_{\omega vki}$;

(12) – області визначення змінних $\overline{\rho}^{A}_{\tau}$ та $\overline{\rho}^{H}_{\tau}$. Ці змінні розглядаються як дискретні, які можуть приймати скінчену множину значень, і відображають можливість господарства залучати сторонні авіаційні та наземні ресурси.

Наведемо список позначень моделі.

I_t – множина полів господарства, на яких розглядається вирощування культур в році t, $i \in I_t$ – індекс окремого поля;

K_{ipt} – множина культур, вирощування яких доцільно розглядати на полі i в році t після попередника p, $k \in K_{ipt}$ – індекс окремої культури;

V_{kip} – множина варіантів (технологій) вирощування культури k на полі i після попередника p, $v \in V_{kip}$ – індекс окремого варіанта;

Ω_v – множина технологічних операцій, з яких складається варіант вирощування v, $\omega \in \Omega_v$ – індекс окремої операції;

$\{\tau_1,...,\tau_N\}$ – множина періодів, на який розбитий виробничий цикл, $\tau \in [\tau_1, \tau_N]$ – номер окремого періоду;

$[\tau^{\omega}_b, \tau^{\omega}_e]$ – інтервал періодів, упродовж якого може виконуватися операція ω, включаючи найбільш раннє та найбільш пізнє виконання;

d_k – очікувана вартість культури k на ринку;

U_{vki} – змінна моделі – очікуваний урожай культури k на полі i при варіанті вирощування v;

$c_{\omega vki}$ – змінні витрати на виконання операції ω в варіанті вирощування v культури k на полі i;

$z^{\tau}_{\omega vki}$ – змінна моделі – частка операції ω варіанту вирощування v культури k на полі i, що виконується в період τ;

$\overline{c}^{A}_{\tau}$, $\overline{c}^{H}_{\tau}$ – вектори вартостей залучення додаткових авіаційних та наземних ресурсів;

$\overline{\rho}^{A}_{\tau}$, $\overline{\rho}^{H}_{\tau}$ – змінні моделі – обсяги додатково залучених авіаційних та наземних ресурсів;

$\Delta\bar{c}_\tau^M$ – вектор зміни вартості додаткових обсягів добрив, речовин, ПММ порівняно з вартістю запасів;

$\bar{\rho}_\tau^M$ – змінні моделі – вектор додаткових обсягів добрив, речовин, ПММ, придбаних для виконання робіт в виробничому сезоні;

$U_{vki}^0, u_{\omega vki}^\tau$ – коефіцієнти регресії, яка відображає залежність врожаю культури k при варіанті вирощування v на полі i від обсягів та термінів виконання операцій $\omega \in \Omega_v$;

$\bar{w}_{\omega vki}^A$, $\bar{w}_{\omega vki}^H$, $\bar{w}_{\omega vki}^M$ – вектори прямих витрат авіаційних, наземних ресурсів та добрив, речовин, ПММ на виконання операції ω в варіанті вирощування v культури k на полі i;

$\bar{R}_\tau^H$, $\bar{R}_\tau^M$ – вектори наявних в господарстві наземних ресурсів та добрив, речовин, ПММ;

$\alpha_{\omega vki}$– коефіцієнт припустимого зменшення обсягу виконання операцій $\omega \in \Omega_v$ в варіанті вирощування v культури k на полі i, при якому зберігається адекватність формули (2) залежності врожаю від обсягів та термінів виконання операцій;

x_{ki}, y_{vki} – булеві змінні моделі –вибір культури, що буде вирощуватися на полі i, та вибір варіанту вирощування культури k на полі i;

$\bar{\rho}_\tau^A, \bar{\rho}_\tau^H$ – вектори дискретних змінних – обсяги залучених господарством авіаційних та сторонніх наземних ресурсів.

Висновки

В даній роботі досліджено процес вирощування сільськогосподарських культур як складну динамічну систему з урахуванням впливу транспортної складової та розроблено економіко-математичну модель виконання аграрних робіт, застосування якої дозволить у процесі організації і ведення сільськогосподарського виробництва приймати своєчасні обґрунтовані управлінські рішення з метою отримання максимального прибутку.

Література

1. Михайлов Г.М. Ефективність формування парку літальних апаратів для виконання сільгоспхімробіт: монографія / Г.М. Михайлов, К.В. Марінцева. – К.: ДП Видавництво «Зовнішня торгівля», 2010. – 220 с.

2. Кутыркин А.В. Разработка моделей и алгоритмов решения функциональных задач управления транспортными системами и производством [Текст] : дис… доктора техн. наук : 05.22.01 / Кутыркин Александр Васильевич. – М., 2004. – 383 с.

3. Використання No-till технології та її значення для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва [Електронний ресурс] — URL:http://repository.vsau.org/getfile/6166.pdf.

4. Пронь С. В. Теоретичні аспекти поняття транспортної системи аграрних робіт [Текст] / С. В. Пронь, І. І. Висоцька // Молодий вчений. — 2016. —№4.

Рецензенти:
Хабутдінов Р.А., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.
Матейчик В.П., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

Reviewers:
Khabutdinov R.A., Dr. Tech. Sci., National Transport University.
Mateichyk V.P., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **15.02.2017 р**.

ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНА ТЕХНІКА ТА ВИРОБНИЧА БАЗА БУДІВНИЦТА

УДК 624.132.3

Кузьмінець М.П., д-р техн. наук

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ ТРУБОПРОВІДНИХ МАГІСТРАЛЕЙ

Анотація. В роботі проаналізовано переваги технічних рішень та технологій виконання земляних робіт машинами в умовах близько розташованого діючого трубопроводу з мінімальною зміною його напруженого стану
Ключові слова: ремонт, земляні роботи, робоче обладнання, машина, трубопровід, напружений стан.

УДК 624.132.3

Кузьминець Н.П., д-р техн. наук

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ ТРУБОПРОВОДНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

Аннотация. В работе проанализированы преимущества технических решений и технологий выполнения земляных работ в условиях близко расположенного действующего трубопровода с минимальным изменением его напряженного состояния
Ключевые слова: ремонт, земляные работы, рабочее оборудование, машина, трубопровод, напряженное состояние.

UDC 624.132.3

Kuzminets M.P., Dr. Tech. Sci.

MODERN APPROACHES AND TECHNICAL SOLUTIONS FOR CONSTRUCTION AND RECONSTRUCTION OF THE PIPELINES

Abstract. The paper analyzes the advantages of engineering solutions and technologies for excavation by machines in conditions of a closely located operating pipeline with a minimum change in its stress state
Keywords: repair, earthmovings, working equipment, machine, pipeline, stressed state.

Вступ

Розвиток трубопровідного транспорту у всьому світі можна прослідкувати, аналізуючи зміну протяжності побудованих трубопроводів з часом з кінця XX – та початку XXI століть. В промислово розвинених країнах на початок століття функціонувало магістральних трубопроводів (МТ) в тис. км – 36462, у т.ч. газопроводів магістральних – 7503; продуктопроводів (усього) – 5102; морських трубопроводів (усього) – 1639, у т.ч. газопроводів – 1033, нафтопроводів – 606. Нині в Україні працює понад 40 тис. км, у т.ч. магістральних нафтопроводів ~ 4,5 тис. км; магістральних газопроводів ~ 36 тис. км [1, 2].

З [3-5] відомо, що зі схем укладання магістральних газопроводів (виключаючи морські, підземні, напівпідземні, наземні), які використовуються при їх прокладанні, 98% належить підземній схемі. Вартість 1 км магістрального газопроводу діаметром 1020 мм складає близько 1 млн. 200 тис. дол. США. Вартість лінійної частини магістрального газопроводу в середньому складає 50% його загальної вартості. Саме тому технологіям виконання земляних робіт при капітальному ремонті (КР) лінійної частини МТ та технологічному обладнанню для їх здійснення приділяється значна увага в різних країнах. Це можна відслідкувати за патентною активністю різних країн у вирішенні цих проблем.

Основна частина

Розглянемо технічні рішення та технологію виконання земляних робіт при будівництві та капітальному ремонті лінійної частини магістральних трубопроводів, доведені до практичного використання і встановимо їх переваги. Найбільш широко використовувана технологія виконання КР лінійної частини магістральних газопроводів [6] передбачає наступні дії: уточнюють положення газопроводу перед його відкриттям; позначають положення його осі; бульдозерами проводять планування траси для стійкої і надійної роботи машин і механізмів на ділянці трубопроводу, яку ремонтують; одноківшовими екскаваторами проводять розробку двох траншей обабіч труби, при цьому загальний переріз виїмки має форму трапеції з розміром по дну не менше (Д+2+0,8) м, де Д – діаметр трубопроводу, що дозволяє вільно переміщуватися по трубі, покладеній на підпірки в траншеї очисної і ізоляційної машин; очисною машиною знімають старе ізоляційне покриття; очищують поверхню трубопроводу; ізоляційною машиною наносять нове ізоляційне покриття; трубоукладальниками укладають трубопровід на дно траншеї і засипають його з допомогою бульдозерів.

Недоліки використання технології є: порушується напружено-деформований

стан (НДС) тіла труби, що пов'язано з впливом її підняття трубоукладальниками на підпірки в траншеї, або на бровку траншеї, в результаті чого НДС труби стає неконтрольованим; неможливість проведення КР єдиним комплексом машин поточним методом; складність установки та подальшого демонтажу в траншеї з під труби додаткових підпірок; рівень безпеки виконання робіт низький; темпи виконання ремонтних робіт вкрай низькі – 20…50 м.пог/зміну.

Технологія КР магістральних нафтопроводів діаметром 530-1220 мм з заміною ізоляції без підйому трубопроводу з використанням комплексу машин підвищеної продуктивності [7] (рис. 1) передбачає наступні дії: уточнюють положення трубопроводу; знімають родючий шар ґрунту та переміщують його в відвал на сторону від трубопроводу; тією ж машиною за другий прохід знімають шар мінерального ґрунту на глибину, необхідну для стійкої та надійної роботи наступних технологічних машин; переміщують розроблений мінеральний ґрунт у відвал на іншу від трубопроводу сторону і спеціальною машиною розроблюють обабіч труби дві траншеї з розмірами, які залежать від діаметра трубопроводу та глибини його залягання, з відкосами траншей з кутом не менше 15° та приямками на дні кожної траншеї; переміщують розроблений при цьому ґрунт в попередній відвал мінерального ґрунту; розроблюють ґрунт під трубопроводом на глибину 0,75-0,82 м нижче нижньої твірної труби, який переміщують в приямки; знімають з трубопроводу старе ізоляційне покриття; виконують, за необхідністю, ремонт труби та доочищують трубопровід; наносять нове ізоляційне покриття; підсипають ґрунт під трубопровід; ущільнюють його; остаточно засипають відремонтовану ділянку трубопроводу; проводять технічну рекультивацію родючого шару ґрунту.

Комплекс машин підвищеної продуктивності для виконання КР магістральних нафтопроводів діаметром 530-1220 мм із заміною ізоляції без підйому трубопроводу [8,9] складається з послідовно працюючих модернізованих та дооснащених машин МПРГ-1М, МВТ-2М, МПР-М, МП-М. В цьому комплексі відстані між працюючими машинами з допомогою відповідних пристроїв електронного контролю підтримуються фіксованими та незмінними, за винятком максимальної довжини підкопаної ділянки трубопроводу, величина якої залежить від параметрів труби (діаметра і товщини стінки).

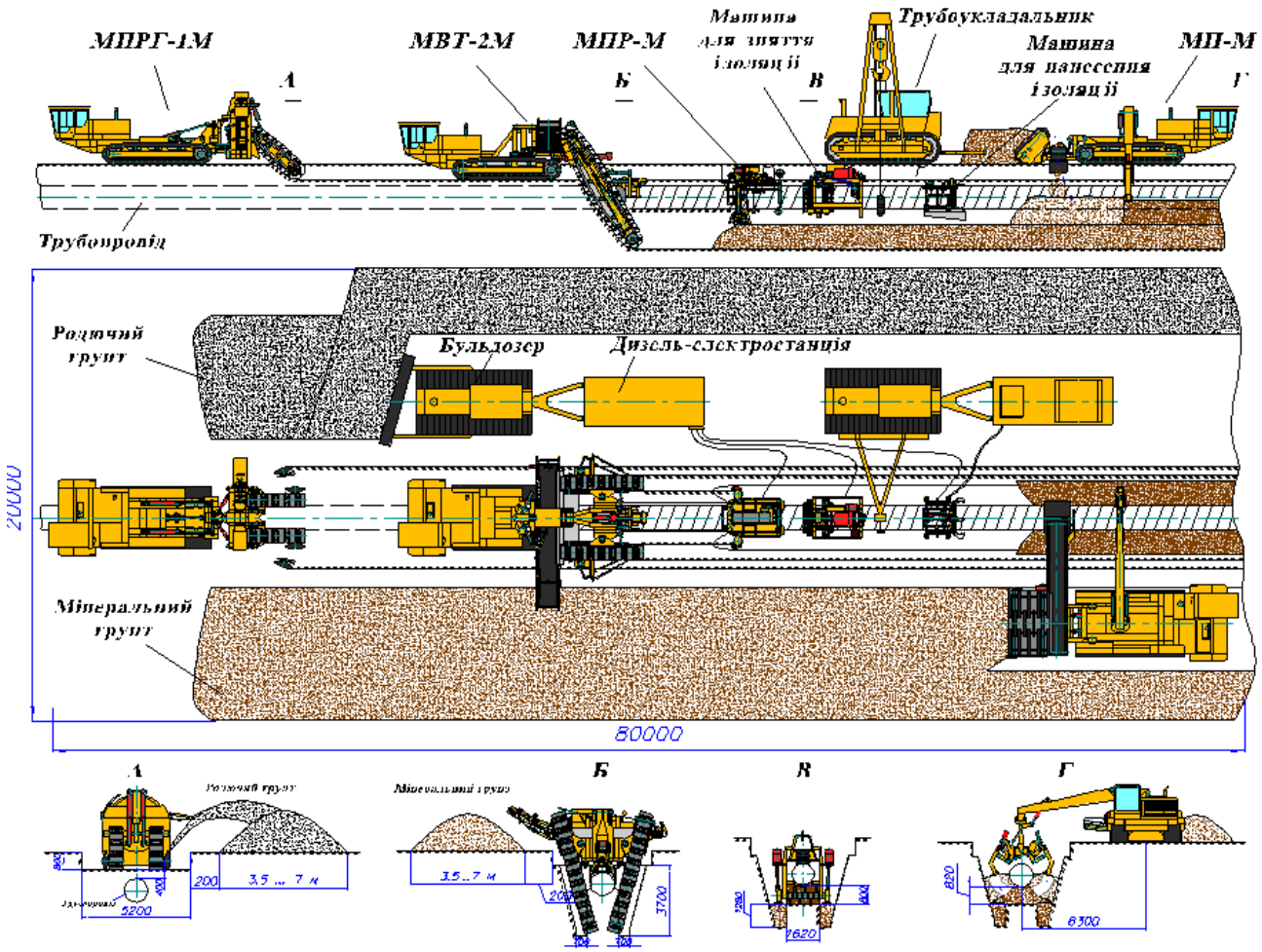


Рисунок 1 – Технологічна схема роботи машин під час капітального ремонту трубопроводів за новою технологнією «без підйому труби та зупинки перекачування продукту»

Недоліки даної технології полягають в наступному:

- НДС трубопроводу під час виконання земляних робіт є змінним, неконтрольованим, мають місце чинники, дія яких може призвести до миттєвої (критичної) зміни НДС труби і можливого її руйнування з подальшими катастрофічними наслідками;

- машини та обладнання, задіяні в процесі виконання КР, розміщені вздовж ділянки труби, що ремонтується, або безпосередньо на ній, без урахування впливу їх маси, силових факторів робочих процесів на зміну НДС трубопроводу;

- спорудження приямків для розміщення розробленого під трубопроводом ґрунту призводить до завищеної глибини виїмок з обох боків трубопроводу, можливого підтоплення їх ґрунтовими водами; необхідність спорудження приямків збільшує на 40-45% об'єм ґрунту, який необхідно розробити для розкриття трубопроводу, зменшує продуктивність виконання земляних робіт та КР в цілому, приводить до збільшення на 15-25% ширини смуги відводу родючої землі

під КР ділянки трубопроводу для розміщення на ній збільшеного на 40-45% об'єму ґрунту (в залежності від діаметра трубопроводу), збільшує загальні енерговитрати на виконання земляних робіт при КР трубопроводу;

- робить менш стійкою та більш схильною до руйнування призму ґрунту між відкопаними траншеями під трубопроводом, на якій утримується трубопровід та розміщені на ньому машини та обладнання (МПР, очисна та ізоляційна машини). Це може призвести до миттєвого руйнування призми та подальшого неконтрольованого збільшення НДС трубопроводу.

Встановлення закономірностей зміни НДС ґрунтового середовища та магістрального трубопроводу як системи «робочий орган – ґрунт – трубопровід» дозволило встановити раціональні параметри робочого та ходового обладнання землерийних машин, що працюють в умовах близько розташованих магістральних трубопроводів за критерієм мінімального впливу на зміну НДС трубопроводу [10].

Однак, важливим залишилося питання визначення раціональних відстаней взаємного розташування ходового та робочого обладнання в конкретній машині, як системи «машина – ґрунт – трубопровід».– забезпечити мінімальну зміну НДС трубопроводу, що виникає внаслідок дії на неї машини, через ґрунтове середовище.

Отже необхідно сформувати всі землерийні машини (див. рис. 1), що задіяні в капітальному ремонті магістральних трубопроводів в єдину технологічну колону за тим же критерієм – мінімізації впливу роботи всього комплексу машин на зміну НДС трубопроводу. Оскільки напружено-деформований стан трубопроводу під час виконання земляних робіт при його КР є змінним, неконтрольованим, тому не урахування взаємних дій машин в колоні може призвести до миттєвої (критичної) зміни НДС труби і можливого її руйнування з послідуючими катастрофічними наслідками.

Розглянемо сумісний взаємовплив ходового та робочого обладнання машини пошарової розробки ґрунту (рис. 2).

Завданням стоїть визначити раціональне значення відстані Lпр між ходовим та робочим обладнанням машини пошарової розробки ґрунту. Для цього було побудовано тривимірну модель ґрунтового на півпростору з розташованим в ньому трубопроводом та прикладено навантаження від ходового та робочого обладнання машини пошарової розробки ґрунту (рис. 3,а).

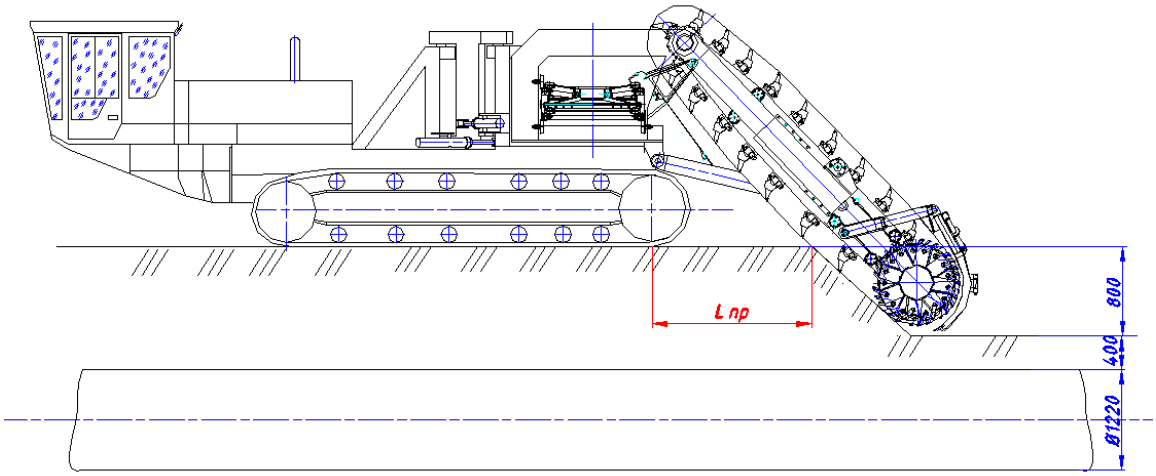
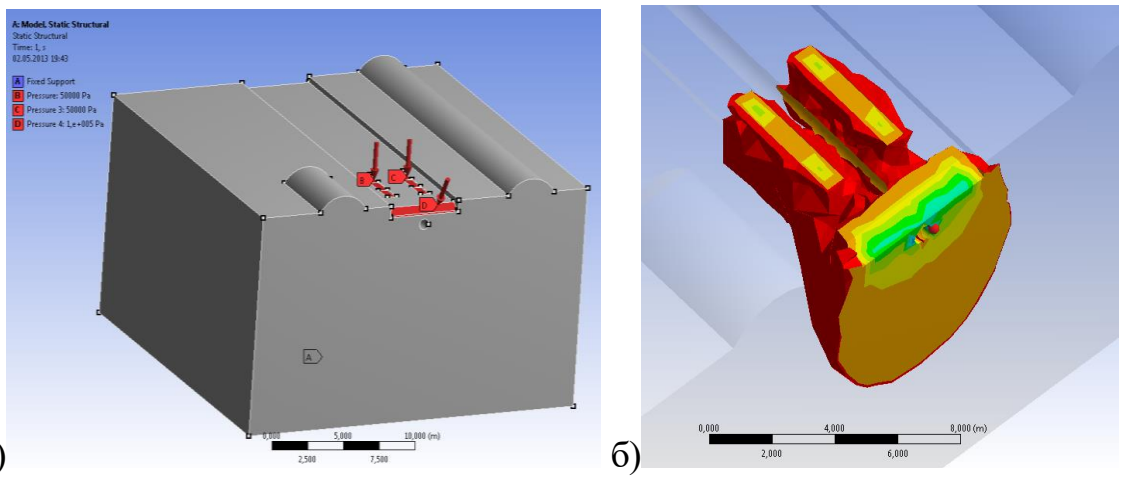


Рисунок 2 – Компонувальна схема машини пошарової розробки ґрунту



а) б)

а) розрахункова схема, б) зони деформування ґрунту

Рисунок 3 – Розрахунок ґрунтового напівпростору та трубопроводу з навантаженнями від ходового та робочого обладнання машини пошарової розробки ґрунту

На основі досліджень (рис. 3,б) встановлено, що у результаті сумісної дії ходового та робочого обладнання машини пошарової розробки ґрунту виникають зони деформування та руйнування ґрунту від дії ходового та робочого обладнання, які пересікаються між собою. У відповідності до принципу суперпозицій таке накладання зон деформування середовищ призводить до збільшення в них напружено-деформованого стану середовища. Оскільки в таких зонах находиться трубопровід це призводить до збільшення його НДС.

Виконана серія досліджень дозволила встановити зв'язок між зміною відстані Lпр. від ходовим до робочого обладнання машини пошарової розробки ґрунту. При збільшенні відстані Lпр. від 500 до 1500 мм спостерігалося зменшення та повне

«розмикання» зон деформування ґрунтового середовища поблизу трубопроводу від дії ходового та землерийного обладнання машини розкривання трубопроводу. Встановлено раціональні значення відстані Lпр. від ходового до робочого обладнання машини пошарової розробки ґрунту складає не менш ніж Lпр = 1500…1700 мм. При цьому, буде забезпечено мінімальний сумісний вплив ходового та робочого обладнання машини пошарової розробки ґрунту на зміну НДС ґрунтового середовища в зоні магістрального трубопроводу та самого МТ.

Розглянемо сумісний взаємовплив ходового та робочого обладнання машини розкривання трубопроводу (рис. 4). Мета дослідження – визначити раціональне значення відстані Lрт між ходовим та робочим обладнанням машини розкривання трубопроводу.

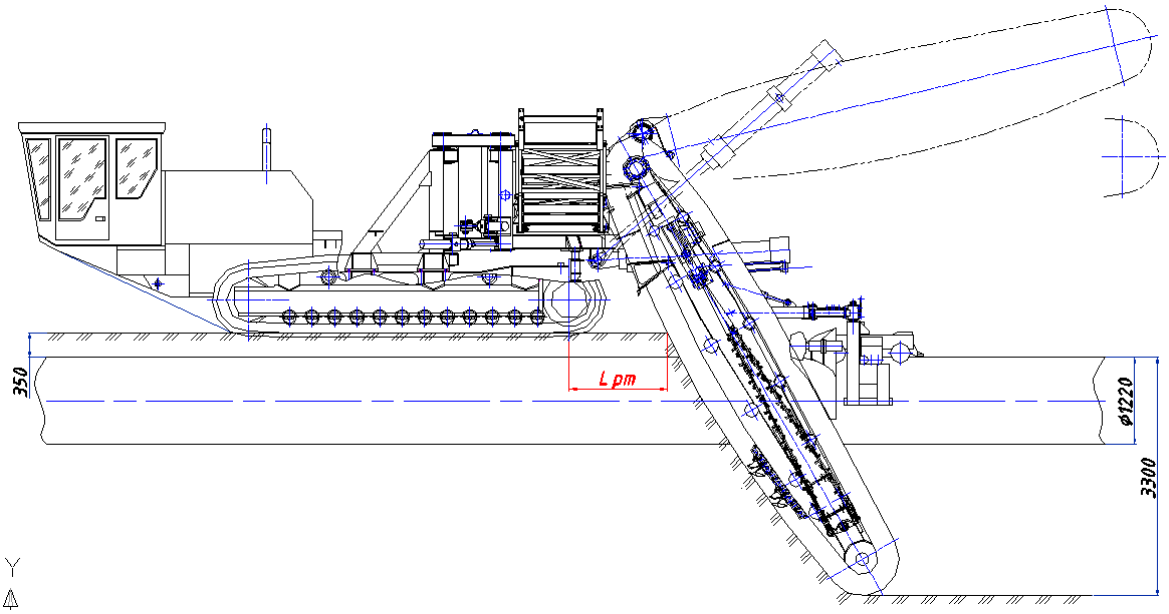
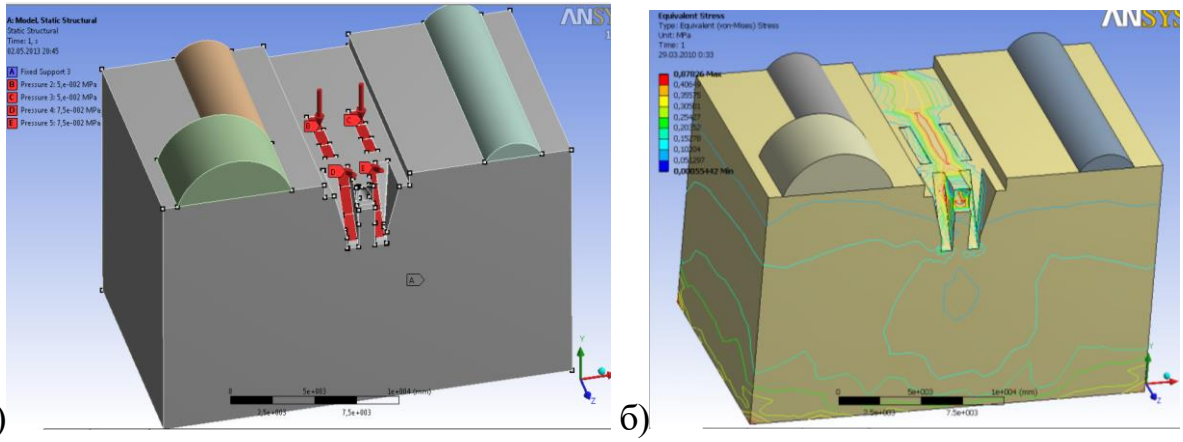


Рисунок 4 – Компонувальна схема машини розкривання трубопроводу

Дослідження виконувалося за аналогією встановлення зв’язку між відстанню ходового та робочого обладнання машини пошарової розробки ґрунту. Було побудовано тривимірну модель ґрунтового напівпростору з розташованим в ньому трубопроводом та прикладено навантаження від ходового та робочого обладнання машини розкривання трубопроводу (рис. 5, а).

На основі результатів досліджень, наведених на (рис. 5,б), встановлено, що у результаті сумісної дії ходового та робочого обладнання машини розкривання трубопроводу виникають зони деформування та ґрунту з високими значеннями напруженого стану ґрунтового середовища до 0,9 МПа. Хоча максимальний тиск, який задавався на ґрунтове середовище від дії ходового обладнання машин не перевищує 0,5 МПа. Тобто, у результаті пересікання зон деформування ґрунту, напруження на контакті «ґрунт – трубопровід» зросли практично у 2 рази. Це,

відповідно призводить до збільшення напруженого стану трубопроводу.



а) б)

а) розрахункова схема, б) зони деформування ґрунту

Рисунок 5 – Розрахунок ґрунтового напівпростору та трубопроводу з навантаженнями від ходового та робочого обладнання машини розкривання трубопроводу

Серія досліджень дозволила встановити зв'язок між зміною відстані Lрт. від ходового до робочого обладнання машини розкривання трубопроводу та зміною еквівалентних напружень у ґрунтовому середовищі. При збільшенні відстані Lрт. від 300 до 1800 мм спостерігалося зменшення зон деформування ґрунтового середовища та еквівалентних напружень в ньому поблизу трубопроводу від дії ходового та землерийного обладнання машини розкривання трубопроводу.

Раціональні значення відстані Lрт. між ходовим та робочим обладнанням машини складає не менш ніж Lрт = 1400…1500 мм. Тоді, буде забезпечено зміну напруженого стану ґрунтового середовища без пересікання зон деформування ґрунту між ходовим та робочим обладнанням машини розкривання трубопроводу. Це забезпечить мінімальний сумісний вплив ходового та робочого обладнання машини розкривання трубопроводу ґрунту на зміну НДС ґрунтового середовища в зоні магістрального трубопроводу та самого трубопроводу. Збільшення відстані Lпр тільки покращить ситуацію, однак вибрано раціональне значення такого параметру, так як його збільшення впливає на перерозподіл навантажень на ходове обладнання машини, погіршуючи його, що може призвести до перевантаження елементів ходового обладнання, а також погіршення керованості машини.

Результатом досліджень стала розроблена методика [10,11] поєднання машин в єдиний технологічний комплекс для виконання капітального ремонту лінійної частини магістральних трубопроводів з мінімальним впливом на зміну напруженого стану трубопроводу.

Висновок

Вдалося забезпечити мінімальний вплив робочих процесів машин на зміну НДС трубопроводу, біля якого виконуються роботи та на основі цього визначити раціональні параметри робочого обладнання та режими його роботи; сформувати комплекс землерийних машин на основі мінімального або допустимого взаємовпливу робочих процесів машин на зміну НДС магістрального трубопроводу шляхом забезпечення мінімальної довжини і ширини захватки розробки траншеї та з урахуванням забезпечення попередньою машиною найбільш сприятливих умов для роботи наступних машин.

Література

1. Трубопровідний транспорт газу/Ковалко М.П., Грудз В.Я., Михалків В.Б. та ін. За ред. М.П. Ковалка. – К.: Агентство з раціонального використання енергії та екології, 2002. -600 с.

2. Діяк І.В., Осінчук З.П. Газова промисловість України на зламі століть /І.М, Карп (відп. ред.). – Івано-Франківськ: Лілея НВ, 2000. – 231 с.

3. Панов Ю.Е. Тенденции развития трубопроводного транспорта и защита окружающей среды при ее эксплуатации. – М. :ИНТВИНИТИ / Серия «Трубопроводный транспорт», 1990. – Т.13 Трубопроводный транспорт за рубежом. –с. 3-62.

4. Мусійко В.Д., Кузьмінець М.П., Баланін В.Х. Безпека і ресурсозбереження при виконанні капітального ремонту магістрального трубопровідного транспорту // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті: матеріали другої міжнародної науково-практичної конференції – Херсон: Вид-во ХАДІ, 2010. – Т.1 – 280 с. С.175-179.

5. Ремонт магистральных и промышленных газопроводов. Справочное пособие / Груднистый В.Н., Зорин Е.Е., Егурцов С.А. и др. Под ред. Степаненко А.И. – К: Интерграфик, 1996. – 192 с.

6. Правила производства капитального ремонта линейной части магистральных газопроводов ВСН 2-112-79. – М: Миннефтегазстрой, 1979. – 136 с.

7. Технология капитального ремонта магистральных нефтепроводов диаметром 530-1220 мм с заменой изоляции без подъема трубопровода с применением комплекса машин повышенной производительности ВБН В.3.1-320.20077720.01 – 2001. – 188 с.

8. Кузьмінець М.П. В.Х. Баланін Переваги технічних рішень та технології виконання земляних робіт при капітальному ремонті лінійної частини магістральних трубопроводів // Автомобільні дороги і транспортне будівництво. – К. : НТУ. 2011. – № 81. – С. 115–122.

9. Мусійко В.Д., Кузьмінець М.П. Вдосконалення організації технологічної схеми колони машин для ремонту магістральних нафтопроводів / // Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdow samocho-dowych i maszyn roboczych samojezdnych, zarzadzanie i marketing w motoryzacji. – Rzeszow (Polska) : Politechnika Rzeszowska – SACON'07, 2007. – S. 251–256.

10. Кузьмінець М.П. Формування комплексу спеціальних землерийних ма-шин для роботи в умовах діючих магістральних трубопроводів: дис. на здобуття наукового ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.05.04. – Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, 2013. – 319 с.

11. Пат. 94374 України, МПК E02F5/10. Технологія виконання земляних робіт при капітальному ремонті лінійної частини магістральних трубопроводів і комплекс технологічного обладнання для її здійснення / М.Ф. Дмитриченко, М.О. Білякович, В.Д. Мусійко, М.П. Кузьмінець, В.Х. Баланін. № а 2010 10431; заявл. 27.08.2010; опубл. 26.04.2011, Бюл. №8.

Рецензенти:
Сівко В.І, д-р техн. наук, Київський національний університет будівництва та архітектури.
Лантух-Лященко А.І., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

Reviewers:
Sivko V.I, Dr. Tech. Sci., Kyiv National University of Construction and Architecture.
Lantuh-Lyaschenko A. I., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **12.03.2017 р**.

ЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 556.531.4

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

МЕТОД АНАЛІЗУ ГІДРОЕКОЛОГІЧНИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ

Анотація. Запропоновано простий метод графічного представлення вихідних даних для гідроекологічних часових рядів (метод квазібіфуркаційних діаграм). За допомогою даного метода проаналізовані залежності концентрацій різних речовин від температури води у річках. Встановлено, що аномально високі концентрації йонів спостерігаються переважно у визначених та достатньо вузьких інтервалах температур води. Прояв таких аномальних концентрацій пов'язаний скоріш за все із природньою поведінкою річок, а не впливом антропогенних факторів.

Ключові слова: гідроекологічні часові ряди, метод квазібіфуркаційних діаграм, температура води у річках, аномально високі концентрації йонів.

УДК 556.531.4

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

МЕТОД АНАЛИЗА ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Аннотация. Предложен простой метод графического представления исходных данных для гидроэкологических временных рядов (метод квазибифуркационных диаграмм). С помощью данного метода проанализированы зависимости концентраций различных веществ от температуры воды в реках. Как оказалось, аномально высокие концентрации йонов наблюдаются преимущественно в определенных и довольно узких интервалах температур воды. Проявление таких аномальных концентраций связано скорее всего с естественным поведением рек, а не с влиянием антропогенных факторов.

Ключевые слова: гидроэкологические временные ряды, метод квазибифуркационных диаграмм, температура воды в реках, аномально высокие концентрации йонов.

UDC 556.531.4

Artemenko, V. A., Petrovych, V. V., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.)

METHOD OF ANALYSIS THE HYDRO-ECOLOGICAL TIME SERIES

Abstract. A simple method graphical representation initial data for environmental time series (method of quasibifurcation charts). Using this method to analyze the dependence the concentration of various substances on temperature of river water. Installation in an abnormally high concentration of ions observed mainly in definite and rather narrow temperature range water. The appearance of such abnormal concentration is most likely related river natural behavior but not the effect of various antropogenic factors.
Keywords: ecological time series, method of quazibifurcation charts, temperature of river water, abnormally high concentration of ions.

В настоящее время для анализа гидроэкологической информации используются достаточно сложные математические методы.

Для правильного выбора соответствующего метода в первую очередь следует оценить структуру исходных данных, четко представить взаимосвязи, имеющие место в этих процессах [1].

Рассмотрим в этой связи метод графического представления исходных данных, который в связи с его относительной простотой будет понятен для практиков и может найти применение в инженерных исследованиях.

Представление исходных данных

Для набора точек (X_i, Y_i) с помощью графопостроителя строим двухмерный график, где X_i - независимая переменная, Y_i – соответственно зависимая переменная. Отдельные точки на графике между собой какими-либо линиями не соединяем. При этом метод построения графика допускает наличие некоторых пропусков в ряду исходных данных.

Отметим, что такой графический метод анализа по смыслу оказывается похожим на бифуркационную диаграмму, которая довольно часто используется в хаотической динамике [2].

Как известно, бифуркационный анализ позволяет классифицировать динамические системы, предсказывать их поведение при изменении параметров, а также управлять ими.

Однако между используемым в работе методе построения графика и бифуркационной диаграммой есть, по крайней мере, одно существенное отличие. При построении бифуркационной диаграммы изменяют управляющий параметр самостоятельно, воздействуя тем самым на изучаемую систему. Кроме того, при каждом изменении параметра устанавливают начальные условия для системы заново.

В нашем случае довольствуемся только имеющимися в распоряжении исходными данными и активно на систему не влияем.

Соответственно, также не можем устанавливать природную систему в исходное состояние (не можем сами задавать начальные условия для системы).

В этой связи применяемый нами метод графического представления исходных данных можно условно назвать методом квазибифуркационных диаграмм.

Практические примеры и обсуждение результатов

При анализе гидроэкологической информации в качестве независимой переменной была выбрана температура воды в реке, поскольку именно она существенным образом влияет на процессы протекания химических и биохимических реакций, являясь одним из найболее важных параметров состояния водных экосистем.

В качестве зависимих переменных использовались временные ряды концентраций различных веществ в воде.

При этом особое внимание уделялось проявлениям аномальности в смысле повышенной концентрации этих веществ.

Объектами исследования являлись две крупные равнинные реки Украины.

Анализировались временные ряды каждодневных (среднесуточных) данных за период 1991 … 1999 г.г. для первого водного объекта и, соответственно, за 1991 … 2014 г.г. для второго водного объекта (водохранилище на этой реке).

На рис. 1 приведена диаграмма зависимости концентрации нитрат-йонов *мг* $NO_3^-/дм^3$, от температуры воды для первого водного объекта.

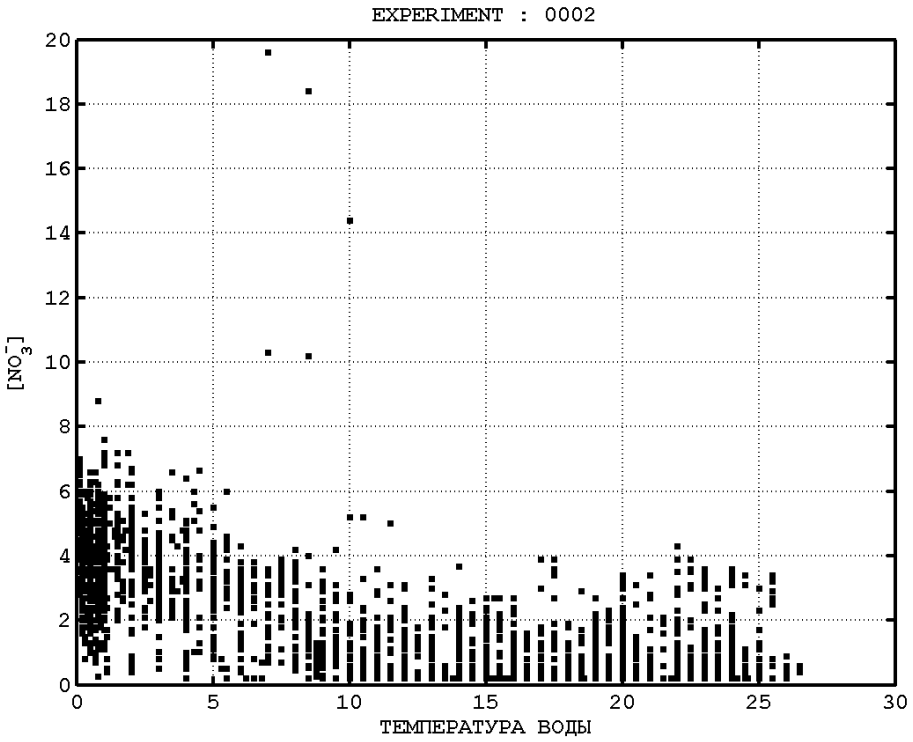


Рисунок 1- Диаграмма зависимости концентрации нитрат-йонов от температуры воды для первого водного объекта

Как видно, аномально высокие концентрации нитрат-йонов наблюдаются только в определённом и довольно узком интервале температур воды 5° … 10°*C* (более точно – при температуре воды от 6,5° до 8,5°*C*).

При последовательном возростании температуры воды в реке до 25° *C* отмечаем в среднем закономерное уменьшение концентрации нитрат-йонов.

Понятно, что результаты получены для конкретного водного объекта, поэтому без проведения дополнительных исследований не следует обобщать полученную зависимость на другие объекты.

Замечание в полной мере относится по всем диаграммам, которые приводятся ниже.

На рис. 2 представлена диаграмма зависимости концентрации аммонийных йонов, *мг* $NH_4^+/дм^3$, от температуры воды для первого водного объекта.

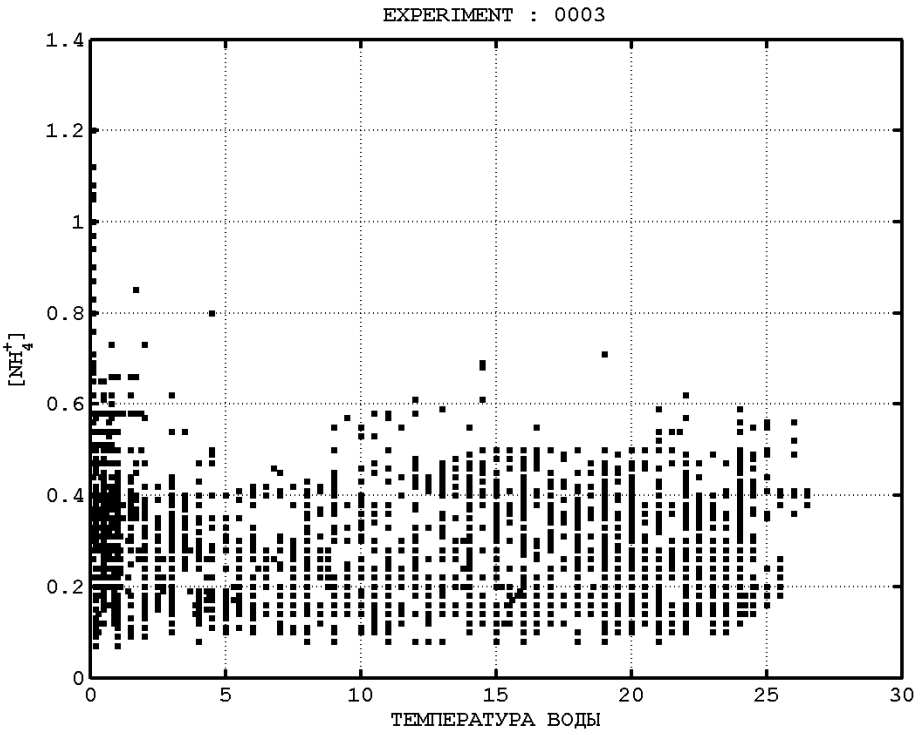


Рисунок 2- Диаграмма зависимости концентрации аммонийных йонов от температуры воды для первого водного объекта

В данном случае максимально высокие концентрации аммонийных йонов достигаются при температуре воды, близкой к 0°*C*.

При этом в интервале температур воды 5° … 10°*C* наблюдается некоторое снижение концентрации аммонийных йонов. Но при дальнейшем росте температуры воды видно возрастание (но не слишком большое) концентрации этих йонов.

Рис. 3 – это диаграмма зависимости концентрации нитрат-йонов от температуры воды для второго водного объекта. В этом случае самые большие концентрации нитрат-йонов наблюдаем при температуре воды, близкой к 0°*C*.

По мере увеличения температуры воды концентрация нитрат-йонов закономерно уменьшается. То есть наблюдаем такой же характер изменения концентрации йонов от температуры, как и для первого водного объекта.

Достаточно большое сходство, если также проводить совместный анализ процесов с качественной стороны, наблюдаем и в поведении концентраций аммонийных йонов для первого и второго водных объектов (см. рис.2 и рис. 4).

Зависимость водородного показателя *pH* (отрицательного логарифма концентрации йонов водорода) от температуры воды приведена на рис. 5.

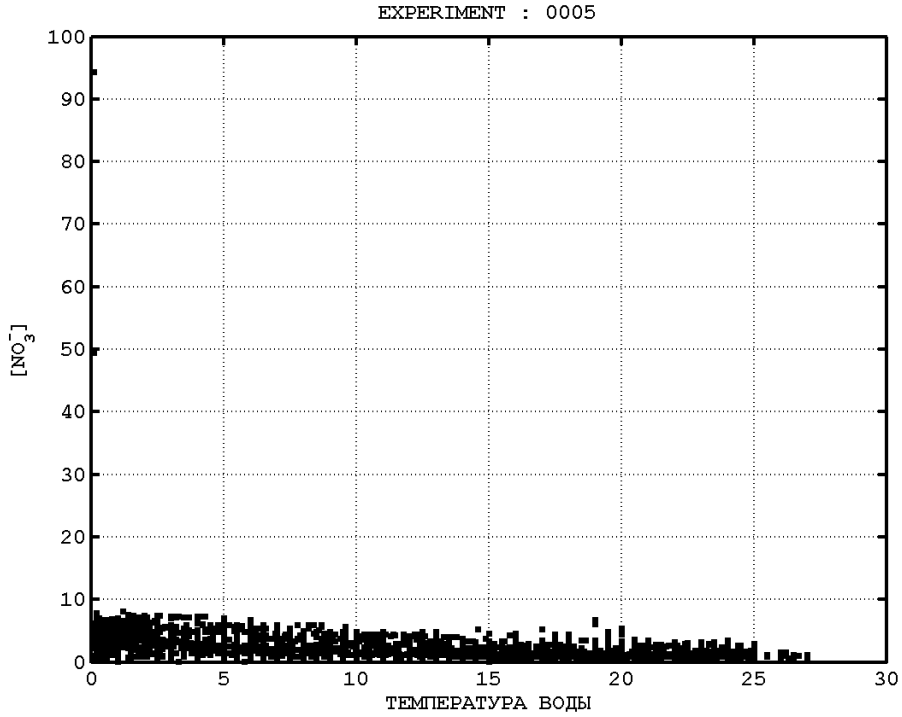


Рисунок 3- Диаграмма зависимости концентрации нитрат-йонов от температуры воды для второго водного объекта

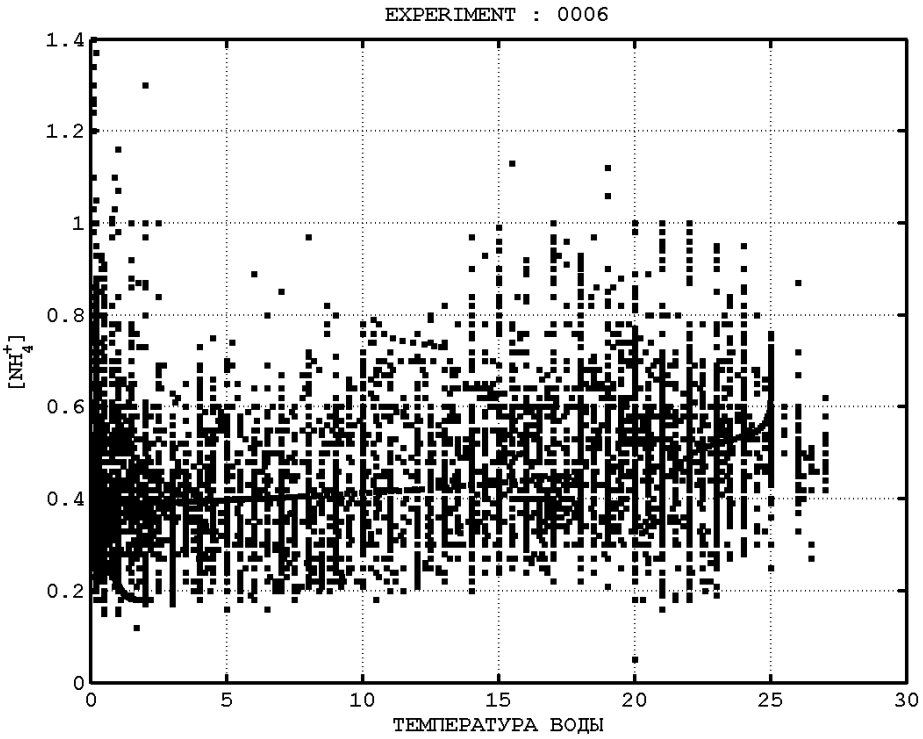


Рисунок 4 - Диаграмма зависимости концентрации аммонийных йонов от температуры воды для второго водного объекта

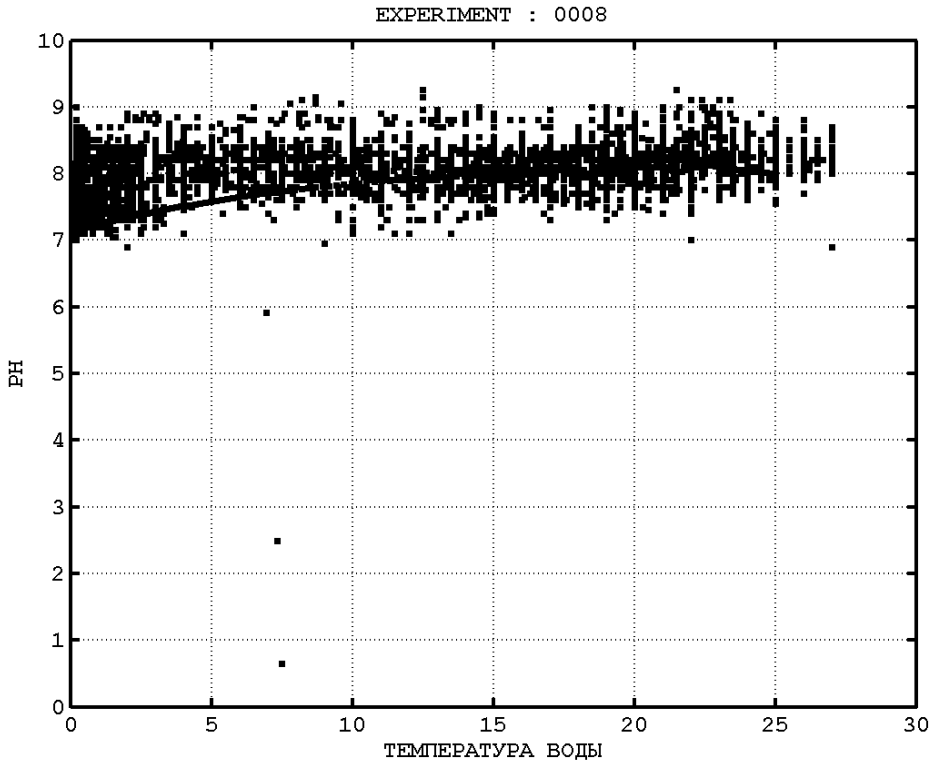


Рисунок 5 - Диаграмма зависимости водородного показателя pH от температуры воды для второго водного объекта

Видно достаточно медленное возрастание величины pH по мере роста температуры воды.

Максимально высокие значения pH наблюдаем в интервале температур воды около 0,5º … 2,5 ºС.

При этом четко фиксируются ошибки в исходных (опытных) данных. Так, например, маловероятно, чтобы значение pH было значительно меньше 6!

На рис. 6 представлена диаграмма зависимости концентрации хлорид-йонов, $мг Cl^{-}/дм^{3}$, от температуры воды: наблюдается снижение концентрации этих йонов по мере роста температуры.

Найболее высокая концентрация хлорид-йонов имеет место только при температуре воды 0,5º … 2,5 ºС.

Отметим, что на первом этапе исследований не ставился вопрос о том, чем вызваны отмеченные аномальности – естественным состоянием водного объекта или непосредственным влиянием антропогенных факторов.

Если имеет место влияние антропогенных факторов, то такие факторы должны быть непосредственно связаны с видами хозяйственной деятельности, которые проявляют себя в данных узких температурных интервалах.

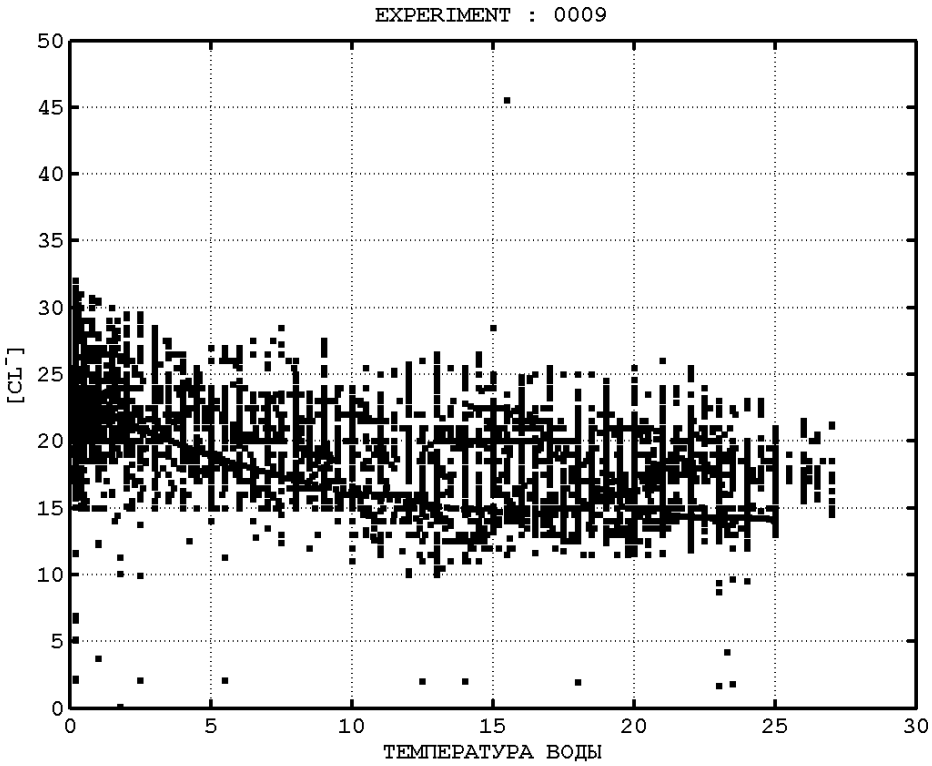


Рисунок 6 - Диаграмма зависимости водородного концентрации хлорид-йонов от температуры воды для второго водного объекта.

Скорее всего, проявление отмеченных аномальностей вызвано естественным состоянием водных объектов.

Выводы

1. Предложен метод графического представления исходных данных (метод квазибифуркационных диаграмм).

Метод позволяет также легко обнаружить взаимосвязи между различными параметрами гидроэкологического процесса, устранить ошибки в некачественных исходных (опытных) данных.

2. Исследовано влияние температуры воды (независимая переменная) на концентрации различных веществ в реках (зависимая переменная).

Как установлено в процессе исследований, наличие аномально высоких концентраций йонов фиксируются только в довольно узких и крайне низких температурных интервалах.

При этом обнаруженные закономерности – это не четкие функциональные зависимости. Скорее всего это зависимости статистического характера с ярко

выраженным свойством: в определенном интервале температур воды аномально высокие концентрации йонов могут либо проявляться, либо не проявляться, но в других температурных интервалах аномально высокие концентрации отсутствуют совершенно.

3. Поскольку аномально высокие концентрации йонов имеют место только в узких интервалах температур воды, наличие таких аномаль ностей связано, скорее всего, с естественным поведением водных объектов, но не с влиянием различных антропогенных факторов.

Литература

1. Кузнецов С.П. Динамический хаос. М.: Физматлит. 2001. -296 с.

2. Розенберг Г.С., Шитиков В.К., Брусиловский П.М. Экологическое прогнозирование (Функциональные предикторы временных рядов). –Тольятти. Ин-т экологии Волжского басейна РАН. – 1994. -182 с.

Рецензенти:
Кузло М.Т., д-р техн. наук, Національний університет водного господарства та природокористування.
Хрутьба В.О., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

Reviewers:
Kuzlo M.T., Dr. Tech. Sci., National University of Water and Environmental Engineering.
Hrutba V.O., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **20.03.2017 р**.

УДК 625.7/.8

Кірічек Ю.О., д-р техн. наук, **Балашова Ю.Б.**, канд. техн. наук,
Дем'яненко В.В., канд. техн. наук, **Лук'яненко В.В.**

БУДІВНИЦТВО ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ПОКРИТТІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. У статті розглянуті екологічні проблеми, що виникають при будівництві асфальтобетонного покриття автомобільних доріг. У якості альтернативи асфальтовому покриттю розглянуто застосування збірних полімерних дорожніх плит. Описано перспективу застосування збірних полімерних покриттів в якості високоефективного і економічно обґрунтованого рішення проблем, пов'язаних з експлуатацією дорожніх покриттів в складних природних умовах з антропогенним забрудненням навколишнього середовища.
Ключові слова: автомобільні дороги, дорожнє покриття, екологічні проблеми, збірне полімерне покриття, полімерні дорожні плити.

УДК 625.7/.8

Киричек Ю.А., д-р техн. наук, **Балашова Ю.Б.,** канд. техн. наук,
Демьяненко В.В., канд. техн. наук, **Лукьяненко В.В.**

СТРОИТЕЛЬСТВО ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Аннотация. В статье рассмотрены экологические проблемы, возникающие при строительстве асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог. В качестве альтернативы асфальтовому покрытию рассмотрено применение сборных полимерных дорожных плит. Описано применение сборных полимерных покрытий - высокоэффективного и экономически обоснованного решения проблем, связанных с эксплуатацией дорожных покрытий в сложных природных условиях с антропогенным загрязнением окружающей среды.
Ключевые слова: автомобильные дороги, дорожное покрытие, экологические проблемы, сборное полимерное покрытие, полимерные дорожные плиты.

UDC 625.7/.8

Kirichek Yu. O., Dr. Tech. Sci., **Balashova Yu. B.,** Cand. Eng. Sci. (Ph.D.),
Demianenko V. V., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), **Lukianenko V. V.**

CONSTRUCTION OF THE ENVIRONMENTALLY FRIENDLY COATING OF THE ROADS

Abstract. The article describes the environmental problems arising from the construction of asphalt pavement roads. Alternatively, the asphalt surface proposed road team's polymeric plate. It was investigated that the use of precast polymer coatings will be highly effective and economically feasible solution to the problems associated with the operation of road surfaces in complex natural conditions and anthropogenic environmental pollution.

Keywords: road, pavement, environmental problems, precast polymer coating, plastic road plates.

Вступ

Постановка проблеми. Основний матеріал, який використовується для покриття автомобільних доріг, це асфальтобетон. Аналіз забруднень навколишнього середовища асфальтобетонними заводами свідчить, що в біосферу надходять речовини, які мають негативний вплив на організм людини. До таких речовин, в першу чергу, відносяться вуглеводні сполучення, діоксид сірки, монооксид вуглецю, оксиди азоту, сажа та ін. Таким чином, асфальтобетонні заводи є джерелом забруднення навколишнього середовища, негативно впливають на здоров'я людини, приводять до розвитку різних захворювань та отруєнь.

Мета досліджень. В таких умовах обумовлена необхідність пошуку нових матеріалів, нових конструктивних рішень для дорожніх конструкцій, які б забезпечили збільшення міжремонтних строків, зручність в експлуатації, а також підвищення екологічної безпеки.

Основна частина

За експертними оцінками внесок дорожньої складової в забруднення навколишнього середовища становить 10-15% від загального. Однак, інтегральна оцінка екологічної значимості різних видів впливів на навколишнє

середовище в процесі дорожнього будівництва, свідчить про те, що внесок у забруднення навколишнього середовища може бути ще більшим.

Аналіз спеціальних досліджень показує, що відносна токсичність викидів забруднюючих речовин при гарячому укладанні асфальтобетону в 3,6 рази вище, ніж при холодному процесі. Порівняння з токсичністю викидів по еталонній гранично-допустимій концентрації ГДК = 0,01 мг/м³ для повітря свідчить про перевищення середньодобових показників забрудненості атмосферного повітря прилеглих районів при гарячому укладанні приблизно в 2 рази, а при холодному в 1,5 рази в порівнянні з еталонною величиною ГДК.

При роботі асфальтобетонного заводу будь-якого типу в атмосферу виділяються: неорганічний пил, з різним вмістом діоксиду кремнію; оксиди вуглецю та азоту; ангідрид сірчистий (сірки діоксид); граничні вуглеводні; поліциклічні вуглеводні: мазутна зола (в перерахунку на ванадій) при застосуванні мазуту в якості палива; бенз (а) пірен та сажа як побічні продукти горіння бітуму; свинець і його неорганічні сполуки - при роботі транспорту на етилованому бензині.

Речовини, що надходять в атмосферу з викидами, погіршують стан повітряного середовища, впливають на стан ґрунту і гідросфери, є джерелами вторинного забруднення навколишнього середовища, порушують нормальне функціонування рослин і живих організмів, а також негативно впливають на органи дихання людини і на здоров'я в цілому. Деякі тверді частинки, що забруднюють повітря, не тільки підвищують число респіраторних захворювань, але і викликають розвиток злоякісних пухлин. Канцерогенами є поліциклічні ароматичні вуглеводні, зокрема, бенз(а) пірен [1].

Альтернативою асфальтобетонному покриттю автомобільних доріг можуть служити збірні полімерні покриття. Голландська дорожня компанія KWS Infra разом з інженерами з VolkerWessels готуються впровадити в Роттердамі перший у світі проект будівництва автомобільних доріг з переробленого пластику Plastic Road [2].

В якості сировини для дорожнього покриття нового покоління виступають перероблені пластикові відходи. Утилізація полімерів, як відомо, являє собою істотну екологічну проблему для всіх країн, однак, використання цього матеріалу у дорожньому будівництві дозволяє утилізувати велику кількість таких відходів. Розробники ноу-хау запевняють, що таке дорожнє покриття не матиме особливих недоліків.

VolkerWessels при будівництві доріг планує використовувати окремі порожнисті блоки, відлиті з перероблених пластикових відходів (рис. 1).



Рисунок 1 – Укладання Plastic Road [3]

Така схема повинна гарантувати практично ідеальну якість покриття, а при необхідності блоки можна з легкістю замінити. Середній термін служби пластикової дороги може складати до 30 років, а коли термін служби модулів закінчується, вони можуть бути перероблені знову. Таку дорогу цілком реально побудувати досить швидко, а слугувати вона буде в три рази довше.

Великою перевагою подібних доріг є їх стабільність в широкому діапазоні температур. За інформацією «Volker Wessels», пластикове дорожнє покриття може витримувати температуру у значно ширшому температурному діапазоні у порівнянні із асфальтобетоном. Крім того, незаперечною перевагою стане невелика вага покриття. Порожнини у полімерній дорозі можуть застосовуватися для прокладки комунікацій та в інших цілях. На таке покриття не впливає вологість, а будівництво та ремонт доріг будуть спрощені. Розглядається навіть варіант виконання полімерного вуличного покриття з підігрівом, що дозволить очищати поверхню доріг та тротуарів від снігу і льоду в холодну пору року. За попередніми розрахунками вартість прокладання

одного кілометра полотна із застосуванням "пластикової технології" буде від 3% до 5% дорожче "класичного" варіанту [3].

В якості полімерних виробів відомі також модульні дорожні покриття (МДП Р-ПЕК) багаторазового використання, які виготовляють у вигляді плит з встановленими на них замковими пристроями, які дозволяють монтувати тимчасові дороги і майданчики будь-яких розмірів [4].

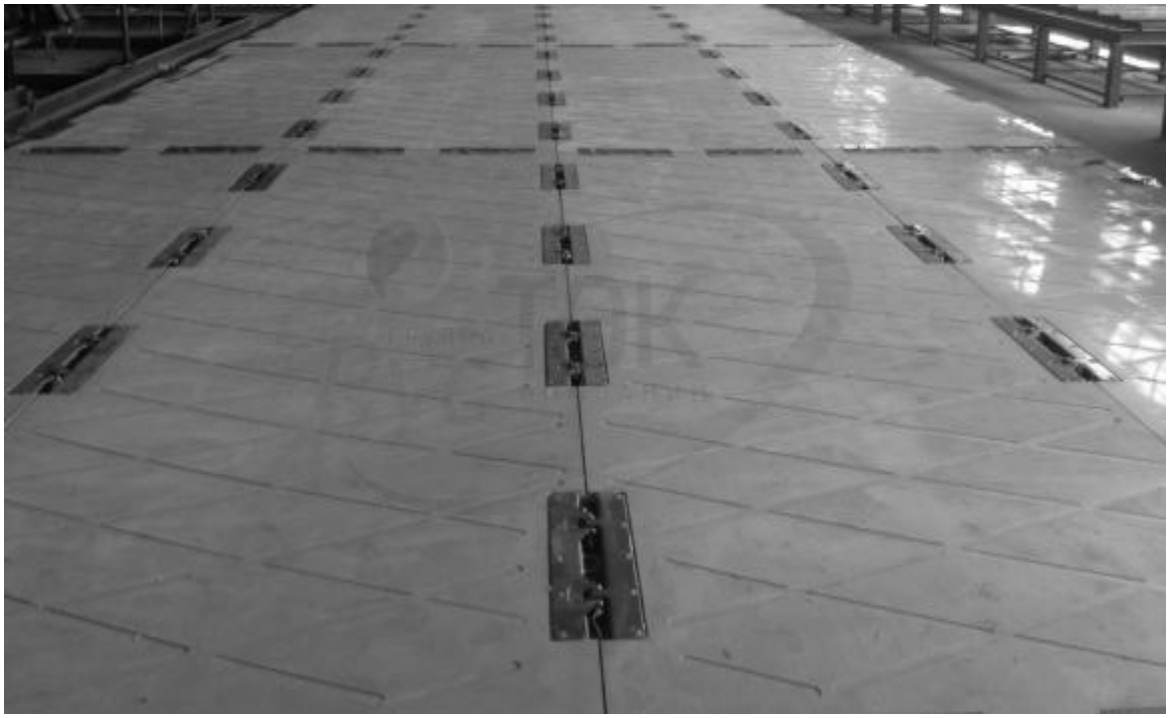


Рисунок 2 – Застосування модульних дорожніх покриттів МДП Р-ПЕК [4]

МДП Р-ПЕК використовуються в якості дорожніх покриттів при будівництві тимчасових проїздів і майданчиків на слабких, обводнених ділянках місцевості і болотах, забезпечують проїзд колісної та гусеничної техніки загальною масою до 100 тонн.

Мобільні дорожні покриття "МОБіСТЕК" представляють собою плити, виготовлені з полімерних композиційних матеріалів, з'єднані в дорожнє полотно спеціальними замковими з'єднаннями і призначені для багаторазового використання. МДП - МОБіСТЕК дозволяють швидко звести тимчасові дороги і будівельні майданчики на ділянках зі складними геологічними умовами [5].

Модульні дорожні покриття МОБіСТЕК мають низку переваг:

- можливість багаторазового використання;
- простота і швидкість монтажу і демонтажу;

- можливість застосування в будь-яких кліматичних районах, висока вогнетривкість і морозостійкість;
- забезпечення безпечного і швидкого доступу до об'єктів;
- високий економічний ефект при організації тимчасових доріг і майданчиків;
- екологічно безпечні, з можливістю вторинної переробки;
- виробництво і експлуатація, що не завдають шкоди навколишньому середовищу.



Рисунок 3 – Мобільне дорожнє покриття "МОБіСТЕК" [5]

Полімерні дорожні плити [6] - застосовують для створення покриття автомобільних доріг різної прохідності з метою забезпечення безпечного руху транспортних засобів протягом тривалого часу. Вони представляють собою елементи функціонально пов'язаних штучних інженерних споруд. Полімерні дорожні плити монолітні або збірні можуть бути різних розмірів і конфігурації. Поверхня плит, яка контактує з колесами транспортних засобів має необхідне зчеплення, пружність та опірність до стирання. Такі дорожні плити є універсальними конструкціями дорожнього одягу та дозволяють в мінімальні терміни створювати дороги, що підходять для руху різних видів транспорту, у тому числі і важкої техніки. Їх можна використовувати у складних кліматичних

умовах, як для створення постійного дорожнього покриття, так й у якості тимчасового покриття багаторазового використання [6].

В якості дорожнього покриття застосовують також мати із утилізованих покришок, такий виріб відрізняється гнучкістю та є екологічно чистим. Одношаровий гумовий мат Eco-Flex® Yukon Mat виготовляють приблизно з 165 відпрацьованих гумових покришок. Виробник здатний задовольнити потребу у 12 000 матів Yukon щорічно.

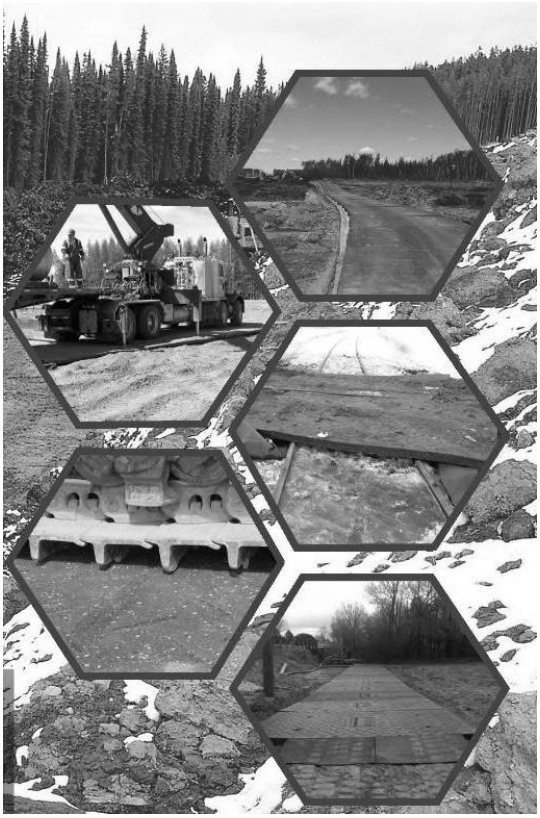


Рисунок 4 – Укладання доріг матами Yukon Mat [7]

Покриття для пішохідних доріжок спеціально призначене для забезпечення тимчасового або постійного проходу. Матеріал проходів виготовлений з гумової крихти, уретану і волокна, отриманих з відпрацьованих покришок. Матеріал забезпечує стабільність, надійність і тривалість терміну експлуатації. Покриття відливають секціями, які з'єднують між собою за допомогою системи накладання, виключаючи шви в переходах між секціями. Поверхня не ковзка, забезпечує необхідну силу зчеплення для транспорту [7].



Рисунок 5 – Пішохідні доріжки з відпрацьованої гуми [7]

Мати OverlapMats призначені для забезпечення тимчасового або постійного покриття. Основна частина мату посилена за допомогою несучого елемента, який забезпечує підвищену міцність. Виріб стійкий до руйнування в нормальному режимі експлуатації під всіма видами транспорту.

Висновок

Застосування збірних полімерних покриттів відкриває нові можливості для високоефективного і економічно обґрунтованого рішення проблем, пов'язаних з експлуатацією дорожніх покриттів в складних природних умовах, із меншим рівнем антропогенного забруднення навколишнього середовища.

Перспектива будівництва довговічних доріг з мінімумом шкоди для навколишнього середовища, із використанням полімерних матеріалів, що підлягають переробці, ще потребує великого обсягу дослідних робіт щодо практичного втілення ідеї використання полімерного покриття. Цей напрямок може відкрити нові можливості у дорожньому будівництві.

Література

1. Джахилов М.Ф. Учет истирающего воздействия колес автомобилей при прогнозировании износа асфальтобетонных покрытий / Дис. канд. техн. наук: Москва, 2004 г.
2. PlasticRoad // VolkerWessels. [Електронний ресурс] – Доступно з: URL:https://en.volkerwessels.com/en/projects/detail/plasticroad
3. Автотрассу из пластика построят в Нидерландах в 2017 году. [Електронний ресурс] – Доступно з: https://en.volkerwessels.com/en/projects/detail/plasticroad
4. Модульные дорожные покрытия МДП Р-ПЕК. [Електронний ресурс] – Доступно з: URL:http://gcrustek.com/modulnye-dorozhnye-pokrytiya
5. Мобильные дорожные покрытия "МОБИСТЕК". [Електронний ресурс] – Доступно з: URL:http://www.ruscompozit.com/catalog/production/mobilnye-dorozhnye-pokrytiya-quot-mobistek-quot/
6. Производство и продажа пластмассовых плит. // Компания МКМ. [Електронний ресурс] – Доступно з: URL:http://vfmspb.ru/extruder1s.htm
7. Композитная дорожная плита Yukon Rig Mat. [Електронний ресурс] – Доступно з:
8. http://koltech-relastic.ru/d/619115/d/komozitnye-plity-eco-flex-new.pdf

Рецензенти:
Савенко В.Я., д-р тех. наук, Національний транспортний університет.
Хрутьба В.О., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

Reviewers:
Savenko V.Ya., Dr. Tech. Sci., National Transport University.
Hrutba V.O., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **12.03.2017 р**.

УДК 625.852

Мозговий В.В., д-р техн. наук

УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ ТЕЦ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ БІТУМОМІНЕРАЛЬНИХ СУМІШЕЙ

Анотація. У статті розглянуто питання утилізації відходів ТЕЦ шляхом використання останніх в якості заповнювача для органо-мінеральних сумішей. Наведені фізико-механічні характеристики ушільненої бітумо-мінеральної суміші різних гранулометричних типів та на різних в'яжучих. Показана можливість направлено регулювати властивості ушільненої бітумо-мінеральної суміші.

Отримані результати свідчать про доцільність застосування ушільненої бітумо-мінеральної суміші сумішей для здійснення ямкового ремонту

Об'єкт дослідження – бітумо-мінеральна суміш.

Мета роботи – Утилізація відходів ТЕЦ при виготовленні бітумомінеральних сумішей.

Методи дослідження – аналітико-експериментальні.

Ключові слова: золошлакові відходи, ТЕЦ, суміші бітумомінеральні гранулометричний склад, фізико-механічні властивості

УДК 625.852

Мозговой В.В., д-р техн. наук

УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ТЭЦ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ БИТУМОМИНЕРАЛЬНЫМ СМЕСЕЙ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы утилизации отходов ТЭЦ путем использования последних в качестве заполнителя для органо-минеральных смесей. Приведенные физико-механические характеристики ушильненои битума-минеральной смеси различных гранулометрических типов и на различных вяжущих. Показана возможность направленно регулировать свойства ушильненои битума-минеральной смеси. Полученные результаты

свидетельствуют о целесообразности применения ушильненои битума-минеральной смеси смесей для осуществления ямочного ремонта.
Объект исследования - битумно-минеральная смесь.
Цель работы - Утилизация отходов ТЭЦ при изготовлении битумоминеральных смесей.
Методы исследования - аналитико-экспериментальные.
Ключевые слова: золошлаковые отходы тэц, смеси органоминеральные гранулометрический состав, физико-механические свойства

UDC 625.852

Mozhovyi V.V., Dr. Tech. Sci.

WASTE DISPOSAL CHP IN THE MANUFACTURE OF BITUMINOUS MINERAL MIXTURES

Abstract. He questions of waste management through the use HPP past as a filler to organo-mineral mixes. These physical and mechanical characteristics ushilnenoyi bitumen-mineral mixture of different particle size and different types of binding. The possibility ushilnenoyi sent adjust the properties of bitumen-mineral mixture. The results indicate the feasibility of ushilnenoyi bitumen-mineral mix blends to make pit repair.
The object of study - bitumen-mineral mixture.
Purpose - Disposal of CHP in the manufacture bitumen-mineral mixtures.
Research methods - analytical and experimental.
Keywords: ash-slag CHP, bitumen-mineral mixture, size distribution, physical and mechanical properties

Постановка проблеми. На даний час в Україні, накопичено біля 1,5 млрд. тон золо-шлакових сумішей у відвалах. Існує великий досвід їх використання в різних сферах народного господарства. Однак рівень утилізації таких матеріалів складає приблизно 10%. Тому використання відходів від спалювання твердого палива не тільки задача економії матеріальних ресурсів, а й проблема зростаючого забруднення навколишнього середовища. Відомо, що одним із найбільших крупнотонажних споживачів золо-шлакових сумішей потенційно є дорожнє будівництво [1-6].

Особливий практичний інтерес являє собою заміна кондиційних матеріалів мінеральної частини бітумо-мінеральних сумішей, які можуть у багатьох випадках успішно заміняти дефіцитні асфальтобетонні суміші. Тому в останні роки на кафедрі дорожньо-будівельних матеріалів і хімії НТУ було проведено ряд досліджень з розробки рецептів органо-мінеральних сумішей з використанням золошлакових відходів ТЕЦ за участі асистентів Барана С.А. та Куцмана О.М.

Для проведення експериментів виготовляли органо-мінеральні суміші із використанням мінеральної частини у вигляді золо шлакових сумішей Дарницької ТЕЦ. Проби золошлакової суміші для експериментальних робіт були відібрані на золозвалищі в м. Києві. Вологість суміші становила (W)=1,64%. В лабораторії було визначено гранулометричний склад, що наведений в таблиці 1

Таблиця 1 - Гранулометричний склад золошлакової суміші Дарницької ТЕЦ

Матеріал	Розмір комірки сита, мм									
	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	<0,071
Склад вихідних матеріалів за вмістом мінерального матеріалу дрібніше даних розмірів										
Золошлак Дарницької ТЕЦ	100,0	97,6	89,5	67,3	52,5	39,3	32,8	24,7	18,8	0,1

Отримані результати визначення зернового складу із середньої проби золошлакової суміші свідчать про те що в ній міститься: 10,5% щебеню фракції 5-10мм, 70,7% піску і 18,8 мінерального порошку.

Для виготовлення сумішей в якості в'яжучого використовувався бітум БНД 60/90 Мозирського НПЗ, що відповідає вимогам ДСТУ 4044, Також використовували рікий бітум марки СГ 710/130 що відповідає вимогам ГОСТ 11955. Рікий бітум марки СГ 710/130 виготовлявся шляхом змішування бітуму БНД 60/90 Мозирського НПЗ та 18% дизельного палива від маси бітуму, умовна в'язкість на пенетрометрі при +60С становила 105с.

Для перевірки можливості застосування золошлакових сумішей, що потенційно можуть використовуватись, розглядали найбільш поширені види і типи органо-мінеральних сумішей, які за зерновим складом та класом (гарячі, холодні) наближаються до найбільш поширених бітумо-мінеральних сумішей згідно з ДСТУ Б В 2.7-119 [7] та ДСТУ Б.В. 2.7-305 [8].

В лабораторії були виготовлені гарячі суміші типу за гранулометрією В і Б з максимальною крупністю зерен заповнювача 10 мм із додаванням гранітного щебеню для створення каркасу. Бітум застосовували в'язкий марки БНД 60/90.

Фізико-механічні властивості ушільненої бітумо-мінеральної суміші наведені в табл. 2

Таблиця 2 - Фізико-механічні властивості ушільненої бітумо-мінеральної суміші типу за гранулометрією В і Б з максимальною крупністю зерен заповнювача 10 мм на бітумі БНД 60/90

Тип гранулометрії	В	Б
Вміст в'яжучого, %	7	6,3
Середня щільність, г/см^3	2,21	2,25
Дійсна щільність, г/см^3	2,28	2,3
Пористість, %	3,1	2,17
Водонасичення, %	2,14	2,99
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20^{0}С	3,9	3,7
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20^{0}С після водонасичення	3,6	3,6
Коефіцієнт водостійкості	0,92	0,97
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20^{0}С післядовготривалого водонасичення	3,87	3,15
Коефіцієнт довготривалої водостійкості	0,99	0,85
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 50^{0}С	1,15	0,98

Також в лабораторії були виготовлені холодні суміші типу В-10 на рідкому бітумі марки СГ 710/130, що виготовлялися шляхом змішування бітуму БНД 60/90 Мозирського НПЗ та 18% дизельного палива від маси бітуму. Фізико-механічні властивості холодної ушільненої бітумо-мінеральної суміші наведені в табл. 3.

Таблиця 3 - Фізико-механічні властивості холодної ушільненої бітумо-мінеральної суміші типу В з максимальною крупністю зерен заповнювача 10 мм на рідкому бітумі марки СГ 71/130

Тип гранулометрії	Тип В
Вміст в'яжучого, %	7 %
Середня щільність, г/см^3	2,22
Водонасичення, %	1,99
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20^{0}С	1,25
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20^{0}С після водонасичення	0,9
Коефіцієнт водостійкості	0,72
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 50^{0}С	0,4

Також в лабораторії були виготовлені холодні суміші та зразки «золо шлакового асфальтобетону» типу В-10 на рідкому бітумі марки СГ 710/130 з гідрофобізатором №1 в різній його кількості. Фізико-механічні властивості зразків приготованих з цих сумішей наведені в табл. 4.

Таблиця 4 - Фізико-механічні властивості холодної ушільненої бітумо-мінеральної суміші типу В з максимальною крупністю зерен заповнювача 10 мм на рідкому бітумі марки СГ 71/130 з гідрофобізатором №1

Тип гранулометрії	Тип В		
Вміст в'яжучого, %	7	7	7
Вміст гідрофобізатора у % від маси мінеральної частини, у перехунку на суху речовину	0,1	0,2	0,3
Середня щільність, г/см^3	2,21	2,22	2,19
Водонасичення, %	2,56	1,37	2,92
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20^{0}С	0,93	1,12	1,1
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20^{0}С після водонасичення	0,8	0,92	0,97
Коефіцієнт водостійкості	0,86	0,82	0,88
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 50^{0}С	0,27	0,35	0,33

Отримані результати свідчать про покращення водостійкості ушільненої бітумо-мінеральної суміші, що свідчить про можливість направленого регулювання такий важливих його властивостей.

Перевірку ефективності такого гідрофобізатора було здійснено на холодних сумішах із зменшеною кількістю в'яжучого. Отримані результати випробувань зразків такої ушільненої бітумо-мінеральної суміші наведені в табл.5.

Таблиця 5 - Фізико-механічні властивості холодної ушільненої бітумо-мінеральної суміші типу В з максимальною крупністю зерен заповнювача 10 мм на рідкому бітумі марки СГ 71/130 з гідрофобізатором №1 із зменшеною кількістю бітума

Тип гранулометрії	Тип В		
Вміст в'яжучого, %	6,5	6,7	7,3
Вміст гідрофобізатора у % від маси мінеральної частини, у перехунку на суху речовину	0,6	0,6	0,6
Середня щільність, г/см^3	2,14	2,21	2,22
Водонасичення, %	5,04	2,96	2,15
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20^{0}С	0,6	0,67	0,63
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20^{0}С після водонасичення	0,58	0,52	0,57
Коефіцієнт водостійкості	0,96	0,78	0,9

Отримані результати підтвердили можливість суттєво покращувати водостійкість ушільненої бітумо-мінеральної суміші за рахунок гідрофобізатора №1.

Зважаючи, що в золошлаковій суміші достатньо великий вміст частинок менше 0,071 мм, які призводять до перевитрат дефіцитного і найдорожчого компоненту в органо-мінеральних сумішах – бітуму, тобули проведені експериментальні дослідження по можливості зменшення вмісту таких дрібно-дисперсних систем для економії бітумного в'яжучого. Для цього ці частки повністю відсіювались і додавались відповідно до експериментальних рецептів у зменшеній кількості. Такі рецепти були виготовлені із гарячих сумішей типу В-10 на бітумі БНД 60/90 зі зменшеною кількістю фракцій мінерального порошку (<0,071 мм). Фізико-механічні властивості зразків приготованих з цих

сумішей наведені в табл. 6. Ці ж самі суміші приготовляли також з гідрофобізатором №2, який вводили безпосередньо в бітум. Фізико-механічні властивості зразків приготованих з цих сумішей наведені в табл. 7.

Таблиця 6 - Фізико-механічні властивості ушільненої бітумо-мінеральної суміші типу за гранулометрією В і Б з максимальною крупністю зерен заповнювача 10 мм на бітумі БНД 60/90 зі зменшеною кількістю пилу

Тип гранулометрії	Тип В		
Вміст в'яжучого, %	6,7	7	7,3
Середня щільність, г/см^3	2,20	2,24	2,21
Водонасичення, %	2,180	0,311	1,448
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20^{0}С	1,93	2,78	3,15
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20^{0}С після водонасичення	1,93	2,7	4,18
Коефіцієнт водостійкості	1,0	0,97	1,0
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 50^{0}С	0,77	1,0	1,7

Таблиця 7 - Фізико-механічні властивості ушільненої бітумо-мінеральної суміші типу за гранулометрією В і Б з максимальною крупністю зерен заповнювача 10 мм на бітумі БНД 60/90 зі зменшеною кількістю пилу з гідрофобізатором №2

Тип гранулометрії	Тип В	
Вміст в'яжучого, %	6,2	6,5
Середня щільність, г/см^3	2,16	2,17
Водонасичення довготривале, %	3,54	3,72
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20^{0}С	1,85	2,68
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20^{0}С після експрес довготривалого водонасичення, МПа	1,86	2,27
Коефіцієнт водостійкості за експрес-методом	1,0	0,85
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 50^{0}С	0,8	0,93

Отримані результати свідчать про можливість зменшення витрат дефіцитного і дорогого бітумного в'яжучого та забезпечення водостійкості ушільненої бітумо-мінеральної суміші відповідно за рахунок направленог регулювання кількості мінерального порошку та застосування гідрофобізатора №2.

Висновки

1. Зерновий склад золошлакової суміші Дарницької ТЕЦ дозволяє проектувати оптимальну гранулометрію органо-мінеральних сумішей та здійснювати їх виробничу апробацію виготовлення та застосування.

2. За основними фізико-механічними характеристиками ушільненої бітумо-мінеральної суміші відповідає, а за окремими показниками перевищує вимоги нормативних документів (ДСТУ Б В 2.7-119.2011 та ТУУ В.2.7-45.2-00018112-239:2005) на асфальтобетон та органо-мінеральні суміші як холодні, так і гарячі.

3. Показана можливість направлено регулювати властивості ушільненої бітумо-мінеральної суміші та зменшувати витрати дефіцитного бітумного в'яжучого.

4. Отримані результати свідчать про доцільність застосування ушільненої бітумо-мінеральної суміші сумішей для здійснення ямкового ремонту як за сприятливих, так і за несприятливих погодних умов на різних категоріях вулиць і доріг, в різних конструктивних шарах конструкцій дорожного одягу (покриття, основа, додаткова основа) згідно з Порядком проведення ремонту та утримання об'єктів благоустрою населених пунктів, Технічних правил ремонту і утримання вулиць та доріг населених пунктів та ВБН В.3.2-218-542:2009 Проведення аварійних робіт з ліквідації ямковості на асфальтобетонному покритті автомобільних доріг у холодний період року за несприятливих умов.

Література

1. Б. С. Радовский, В. П. Володько, Е. Я. Щербакова, Прочность дорожных одежд со слоями из золо-шлаковых смесей // Проблемы механики дорожно-строительных материалов и дорожных одежд. К.: ООО «ПолиграфКонсалтинг», 2003. – 240 с. ил.
2. И.С. Кожуховский, Ю.К. Целыковский Полезные отходы // Автомобильные дороги №5, 2012. С. 66-69.
3. В.В. Сиротюк, Е.В. Иванов Отвалы – в дело // Автомобильные дороги №5, 2012. с.62-65
4. Б.И. Петрянин, М.И. Зур Шире использовать отходы производства // Наука и техника в дорожной отрасли №2, 2009. с.38-39
5. В.С. Прокопец, Л.В. Поморова Золоминеральные смеси для дородных одежд //Автомобильные дороги. 2011, «9, с.154-156.
6. В.Б. Балабанов, В.Л. Николаенко Применение зольных отходов в дорожном строительстве // Вест. ИрГТУ. 2011 №6. с.37-41
7. ДСТУ Б В.2.7-119:2011. Зміна N 1. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови
8. ДСТУ Б В.2.7-305:2015 Суміші бітумомінеральні дорожні. Загальні технічні умови

Рецензенти:
Жданюк В.К., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.
Хрутьба В.О., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

Reviewers:
Zhdaniuk V.K., Dr. Tech. Sci., Kharkiv National Automobile and Highway University.
Hrutba V.O., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **24.03.2017 р.**

УДК 504.05/.06

Мустяца О.Н., канд. хім. наук

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ В БУДІВЕЛЬНІЙ ІНДУСТРІЇ. ПОЛІМЕРНІ БУДМАТЕРІАЛИ

Анотація. В оглядовій статті розглядаються основні екологічні проблеми, які створюються активною діяльністю людини у будівельній галузі, і шляхи їх розв'язування, в тому числі, з застосуванням нової науки – будівельної екології, яка розглядає і дає пропозиції для вирішення багатьох питань, пов'язаних з основними видами техногенних і антропогенних впливів при будівництві і експлуатації будинків і споруд (збереження поверхні землі при будівництві; збереження літосфери і ґрунтових вод; біопозитивні будівельні рішення; природозберігаючі технології будівництва і т.п.). Розглянуто основні полімерні будматеріали матеріали, їх екологічні і фізико-механічні властивості, а також напрямки застосування.

Ключові слова: екологічні проблеми, будіндустрія, полімери, фізико-механічні властивості.

УДК 504.05/.06

Мустяца О.Н., канд. хим. наук

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ. ПОЛИМЕРНЫЕ СТРОЙМАТЕРИАЛЫ

Аннотация. В обзорной статье рассматриваются основные экологические проблемы, которые создаются активной деятельностью человека в строительной отрасли, и пути их решения, в том числе, с применением новой науки – строительной экологии, которая рассматривает и даёт рекомендации для решения многих вопросов, связанных с основними видами техногенных и антропогенных влияний при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений (сохранение поверхности земли при строительстве; сохранение литосферы и грунтовых вод; биоположительные строительные решения;

природосберегающая технология строительства и т.д.). Рассмотрены основные полимерные строителные материалы, их экологические и физико-механические свойства, а также направления их применения.

Ключевые слова: экологические проблемы, стройиндустрия, полимеры, физико-механические свойства.

UDC 504.05/.06

Mustiatsa A. N., Cand. Che. Sci. (Ph.D.)

ENVIRONMENTAL PROBLEMS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY. THE POLYMERIC MATERIALS

Abstract. This survey article examines such themes like main environmental problems created by human activity in the construction industry, also their solutions, particularly with the help of new science called construction ecology. This science makes recommendations for many solutions related to the main types of technogenic and anthropogenic impacts during construction and building exploitation (earth's surface, lithosphere and groundwater’s preservation; bio positive construction solutions, environmentally friendly construction technologies, etc.). Basic polymer construction materials, their ecological, physical and mechanical properties, as well as their application have been examined in this survey article.

Keywords: environmental issues, construction industry, polymers, physical and mechanical properties.

Неосяжна земна куля стає малою для промисловості, що розвивається, для міст, що будуються, для населення, що швидко прибуває. Такими ж швидкими темпами наростають екологічні проблеми. Щороку в світі спалюється 20 млрд. тонн кисню. Його баланс поки зберігається на Землі за рахунок тропічних лісів. Але і їх з кожним роком стає все менше і менше. В цілому на земній кулі зараз використовують більше 100 млрд. тонн різних речовин на рік. Вчені підрахували, що за останні сто років тільки в атмосферу було викинуто близько 1,5 млн. тонн миш'яку, 1 млн. тонн нікелю, 1,35 млн. тонн силіцію, 900 тисяч тонн чадного газу, 600 тисяч тонн цинку. Одна середня ТЕС за добу викидає до 800 тонн золи і 125 тонн сірчистого ангідриду. Це далеко не повний перелік того, що потрапляє

в атмосферу від антропогенної діяльності. Води морів і океанів відчувають сильне екологічне навантаження, що призводить до зниження очисних властивостей морських вод, зменшення їх біологічної продуктивності. Ґрунтовий покрив планети вже не справляється з техногенними відходами, у багатьох випадках природа ще не пристосувалася переробляти чужі їй забруднення. Природа відчуває сильні навантаження, що ведуть до її пригнічення і загибелі. У цій невтішній картині будівельній індустрії належить чимала лепта. Настав час, коли не тільки потрібно голосно говорити про це, але й освоювати нові науки, які б допомагали у вирішенні екологічних проблем. Однією з таких нових наук є будівельна екологія. Які питання вона повинна розглядати? Перелік цих питань значний: - основні види техногенних і антропогенних впливів при будівництві та експлуатації будівель і споруд; - способи збереження поверхні землі при будівництві; - збереження літосфери і ґрунтових вод; - біопозитивні будівельні рішення; - природозберігаючі технології будівництва; - утилізація відходів при будівництві; - використання поновлюваних джерел енергії; - застосування безвідходних технологій в рішеннях будівель; - моніторинг стану середовища і прийняття рішень за його результатами; - архітектурно-будівельні аспекти будівельної екології; - правові питання екології та охорони середовища [1-5].

До техногенних і антропогенних впливів на природу відносять всі види впливів, створюваних технікою і безпосередньо людиною. До них відносяться: - забруднення (внесення в середу нехарактерних для неї нових фізичних, хімічних або біологічних агентів, або перевищення наявного природного рівня цих агентів); - технічні перетворення і руйнування природних систем і ландшафтів (в процесі видобутку природних ресурсів, будівництва та ін.); - вичерпання природних ресурсів (корисні копалини, вода, повітря та ін.); - глобальні кліматичні впливи (зміна клімату в зв'язку з діяльністю людини); - естетичні впливи (зміни природних форм, несприятливих для візуального та іншого сприйняття). В результаті таких всебічних впливів змінюється склад біосфери, круговорот і баланс речовин. Змінюється тепловий баланс земної кулі, структура земної поверхні (забудова, укладання асфальту, будівництво штучних водойм, меліорація і т.д.), винищуються і переміщаються в нові місця проживання деякі види тварин і рослин. Всі техногенні впливи призводять до погіршення якості навколишнього середовища, яке відрізняється консерватизмом, тому що воно вироблялося протягом мільйонів років еволюції. Одним з основних видів

негативних впливів є забруднення. Забруднення діляться залежно від типу джерела, наслідків та заходів контролю. Це стічні води, газоподібні викиди, нечистоти, які поглинають кисень, носії інфекцій, речовини, що представляють поживну цінність для бур'янів, мінерали, неорганічні кислоти, солі, тверді стоки, радіоактивні речовини та ін. Забруднення від джерел (відходи промислових підприємств, будівельних майданчиків, побутові відходи, відходи транспорту, енергетики, сільського господарства, а також хімічні засоби захисту рослин) надходять в атмосферу, гідросферу, літосферу, причому з екотопа (місць проживання біотичного співтовариства) вони передаються всіма складовими біоценозу (рослинам, тваринам, мікроорганізмам). Забруднення можуть бути природними (зазвичай викликані катастрофами - вулканами, селями, торнадо, цунамі, землетрусами та ін.) і антропогенними (від діяльності людини). Антропогенні забруднення ділять на біологічні, механічні, хімічні, фізичні. Можна виділити ще одне специфічне для будівництва забруднення - візуальне і естетичне, що полягає в несприятливій зміні ландшафту. Фізичне забруднення може бути тепловим внаслідок підвищення температури через втрати тепла в промисловості, в житлових будинках, теплотрасах і т.д.; шумовим - через підвищення інтенсивності шуму внаслідок роботи підприємств, будмайданчиків, руху транспорту і ін.; світловим - внаслідок підвищення освітленості через штучні джерела світла; електромагнітним - через дії радіо, телевізорів, промислових установок; радіоактивним - через підвищення природного рівня (фону) вмісту радіоактивних речовин (наприклад, в сировині для виробництва будівельних матеріалів, в кам'яному вугіллі при спалюванні його в котлах ТЕС). Фізичні забруднення можуть привести до розвитку аномалій у тварин, рослин і людини. Хімічне забруднення може бути викликано внесенням будь-яких нових хімічних сполук (наприклад, на основі полімерів) або підвищенням концентрації присутньої в природному середовищі хімічної речовини. Багато з хімічних речовин активні і можуть взаємодіяти з молекулами речовин, що входять до складу живого організму, або активно окиснюються на повітрі, при цьому вони стають отруйними по відношенню до живих організмів. Механічне забруднення, що викликається речовинами, які не впливають на середовище фізичного або хімічного, особливо характерно для будівництва та виробництва будівельних матеріалів. Сюди входять відходи камнепилення і виробництва залізобетону, відходи при ремонті будівель і споруд. Біологічні, а також мікробіологічні забруднення відбуваються під час внесення до довкілля біологічних відходів в

результаті швидкого розмноження мікроорганізмів на антропогенних субстратах (будівельна біологія). Всі види забруднень, що проникають в повітря, ґрунт, воду, надходять в живі організми, знижуючи продуктивність або знищуючи екосистеми. Велику лепту в картину забруднення навколишнього середовища вносить будівельна індустрія. Наприклад, забудова і асфальтування все більших площ поверхні землі, порівнянне в даний час з площею поверхні земної кулі, не тільки виключає з природного відбору певну частину землі, але і змінює режим ґрунтових вод, випаровування і т.д., що в підсумку розриває зв'язки, що склалися в системі біогеоценозу. Однак ніхто ще не рахував, яка частина поверхні земної кулі може бути закрита непроникною оболонкою, щоб біосфері був нанесений непоправний збиток. Майбутніми інженерами-будівельниками повинні бути розглянуті і вивчені всі види впливів на природу при будівництві будівель і споруд, а також запропоновані заходи щодо захисту навколишнього середовища за допомогою будівельних заходів. До складу таких заходів входять: - захист і допомога в раціональному розвитку повітряного, геологічного, гідрогеологічного середовища живої природи (біогеоценоз); - боротьба з забруднювачами: хімічними, біологічними, мінеральними, тепловими, акустичними, візуальними; - економне витрачання невідновлюваних ресурсів Землі (енергоносіїв та ін.); - збереження і відновлення землі для цілей сільського господарства, рекреації, створення парків, садів, заповідників; - утилізація відходів; - охорона геологічних і культурних пам'яток; - створення екологічно чистих будівель при збалансованому стані урбанізованого і природного середовища; - моніторинг з метою прийняття своєчасних рішень.

Починаючи будь-яке будівництво (поселень, міст, об'єктів), необхідно застосовувати раціональне планування (співвідношення урбанізованого і природного середовищ), а також ландшафтну архітектуру (враховуючи рельєф місцевості і геологічне середовище). Необхідно, щоб архітектурно-будівельні аспекти вписували б об'єкт в навколишнє середовище. Основним принциповим напрямком сучасного будівництва є збереження поверхні землі і рельєфу, тобто здійснювати будівництво там, де не можуть бути використані території для сільського господарства або рекреації (схили, балки, горби, яри, прибережні ділянки). Крім того, необхідно розвивати підземне і напівпідземне будівництво, а також будувати будівлі, підняті над поверхнею землі на опорах (стовпах) і будівлі на штучних територіях (наприклад, створювані на шельфі). Інженери-будівельники повинні розвивати біопозитивне будівництво. Під біопозитивними

будівлями і спорудами маються на увазі будівлі, що допомагають розвитку живої природи - флори і фауни. Наприклад, біопзитивні інженерні конструкції: - підпірні стіни, що озеленюються; - шумозахисні екрани, що розміщуються вздовж магістралей і всередині кварталів; - дахи, що озеленяються, тераси, стіни; - біопозитивні підводні конструкції - колектори для розведення різних організмів і отримання морепродуктів та ін. Велику увагу слід приділяти питанням утилізації відходів промисловості і будівництва з метою виробництва дешевих будівельних матеріалів і використання вторинної енергії - тепла енергоносіїв. Для цього використовуються основні види відходів промисловості: - димові гази, що відходять з теплових агрегатів; - пил; - рідини; - шлами; - гірські породи, що невикористані (розкривні); - відходи каменеобробки; - побутові відходи; - відходи самого будівництва (будівельні конструкції і елементи з браком).

Інженери-будівельники повинні знати сучасні способи і методи утилізації відходів при виробництві різних будівельних матеріалів (наприклад, важких, легких, особливо легких бетонів, каменів з шламів - відходів камнепилення і ін.), а також способи утилізації тепла і газів біологічних звалищ (що нині вельми актуально). Інженерам-будівельникам необхідно застосовувати сучасні досягнення в області розробки і створення нетрадиційних (поновлюваних) джерел енергії. Все нетрадиційні джерела енергії розглядаються стосовно до потреб будівництва, тобто забезпечення енергією і теплом з метою створення економічно чистих будівель: - використання сонячної енергії за допомогою різних типів гелеонагрівачив; - використання перетворювачів сонячної енергії в електричну; - використання теплових насосів для утилізації тепла; - використання енергії вітрових і хвильових електростанцій (конструктивні рішення таких станцій можна поєднувати з будівлями різного призначення в акваторії і на територіях з постійними сильними вітрами); - використання енергії підземного тепла. Інженери-будівельники повинні знати способи моніторингу за станом навколишнього середовища з метою прийняття своєчасних рішень про зміни в планах будівництва або експлуатації побудованих об'єктів. Для сфер (повітряної, водної, для землі і живої природи) оцінюють забруднення (мінеральні, хімічні, біологічні, теплові, шумові), а також рівень і рух ґрунтових вод, стан, якісний і кількісний склад рослинності, ерозія ґрунтів, шлейфи викидів в повітря, воду і багато іншого. Інженер-будівельник зобов'язаний знати правові питання охорони навколишнього середовища, свої обов'язки і відповідальність за порушення правових актів (аж до кримінальної).

Полімерні будівельні матеріали і їх основні властивості. Широке застосування знаходять термопластичні пластмаси на основі поліетилену, поліпропілену, полістиролу, полівінілхлориду, фторопластів, поліамідів і інших полімеров.Крім полімерів, одержуваних з одного мономера, синтезують кополімери - продукти, одержувані спільною полімеризацією (кополімеризація) двох і більше мономерів. В такому випадку утворюються матеріали з новим комплексом властивостей. Так, вінілацетат полімеризують спільно з вінілхлоридом для отримання кополімеру міцнішого і водостійкішого, ніж полівінілацетат, але зберігаючого його високі адгезійні властивості. Широкий спектр кополімерів випускають на базі акрилових мономерів. Для підвищення фізико-механічних властивостей полімерів - їх армують. *Поліетілен* $[-CH_2-CH_2-]_n$ - продукт полімеризації етилену - роговидний, жирний на дотик, матеріал, що, злегка просвічується, легко ріжеться ножем; при підпалюванні горить і одночасно плавиться з характерним запахом паленого парафіну. Щільність 920 ... 960 кг/м^3. Поліетилен плавиться при 90...130 °С. При кімнатній температурі поліетилен практично не розчиняється ні в одному з розчинників, але набухає в бензолі і хлорованих вуглеводнях; розчиняється в них при температурі вище 70...80 °С, хімічно стійкий до дії кислот, лугів і розчинників, нетоксичний, технологічний (піддається екструзії, литтю, напилюванню, заливці т. д.), коштує недорого і поєднує високу міцність з пластичністю. Міцність при розтягуванні - 20...45 МПа; але при тривалій дії навантаження, що становить більше 50...60% від граничної, у поліетилену починає проявлятися властивість плинності. Поліетилен зберігає еластичність до - 70 °С, легко переробляється у вироби і добре зварюється. Поліетилен має високі діелектричні властивості, практично не поглинає вологу. Його недоліки - низькі теплостійкість та твердість, горючість та швидке старіння під дією ультрафіолетових променів. Поліетилен захищають від старіння, вводячи в нього наповнювачі (сажу, алюмінієву пудру) і стабілізатори.Поліетілен випускається у вигляді плівок товщиною 0,03-0,30 мм, шириною 1400 мм і довжиною 30 м, а також у вигляді листів товщиною 1-6 мм і шириною до 1400 мм. Поліетилен застосовують для ізоляції електропроводів і кабелів, як пакувальний матеріал для харчових продуктів, для захисту від корозії магістральних нафто- і газопроводів, як замінник скла, для виготовлення предметів домашнього вжитку, для захисту металів від корозії. Поліетиленові труби можуть працювати при температурах до -60 °С, вони не схильні до ґрунтової корозії. З поліетилену виготовляють кришки підшипників,

ущільнювальні прокладки, деталі вентиляторів і насосів, гайки, шайби, порожнисті вироби місткістю до 200 л, тару для зберігання і транспортування кислот і лугів. Практично у всіх сферах виробництва і промисловості знайшов застосування армований поліетилен - унікальний в своєму роді матеріал. Як армуючі матеріали найчастіше застосовують: сітки; металеві нитки; пластини; вуглецеві матеріали; більш щільний поліетилен або поліпропілен; лавсанові матеріали. Величезний плюс армованого поліетилену в його дивовижній схожості за своїми фізичними і механічним властивостями зі сплавами легких металів. Класичний поліетилен, укріплений різними матеріалами, стає настільки міцним, що його використовують навіть при виробництві бронежилетів. *Поліпропілен* $[-CH_2-CH(CH_3)-]_n$ - полімер, за складом близький до поліетилену. У порівнянні з поліетиленом поліпропілен має більш високу механічну міцність і жорсткість, більшу теплостійкість і меншу схильність до старіння. Руйнівна напруга при розтягуванні поліпропілену досягає 25-40 МПа. Недоліком поліпропілену є його невисока морозостійкість (-20 °С). При синтезі поліпропілену утворюється кілька різних за будовою полімерів: ізотактичний, атактический і сіндіотактичний. В основному застосовується ізотактичний поліпропілен. Він відрізняється від поліетилену більшою твердістю, міцністю і теплостійкістю (температура розм'якшення близько 170 °С), але перехід в крихкий стан відбувається вже при мінус 10...20 °С. Щільність поліпропілену 920...930 кг/м^3; міцність при розтягуванні 25...30 МПа; відносне подовження при розриві 200...800 %. Поліпропілен погано проводить тепло - λ = 0,15 Вт/(м·К). Максимальна температура експлуатації для виробів з поліпропілену 120...140 °С, але вироби, що знаходяться в навантаженому стані, наприклад, труби гарячого водопостачання, не рекомендується використовувати при температурі вище 75 °С. Застосовують поліпропілен практично для тих же цілей, що і поліетилен, але вироби з нього більш жорсткі і формостійкі. Атактичний поліпропілен (АПП) виходить при синтезі поліпропілену як неминуча домішка, яка легко відділяється від ізотактичного поліпропілену екстракцією (розчиненням в вуглеводневих розчинниках). АПП - м'який еластичний продукт щільністю 840...845 кг/м^3 з температурою розм'якшення 30...80 °С. Застосовують АПП як модифікатор бітумних композицій в покрівельних матеріалах. Деталі з поліпропілену виготовляють штампуванням, литтям під тиском, пневматичним і вакуумним пресуванням; поліпропілен можна зварювати, напилювати на метал, тканину, картон. Він легко піддається механічній обробці на токарних, фрезерних,

свердлильних станках. Поліпропілен застосовують для виготовлення антикорозійного футерування резервуарів, труб і арматури трубопроводів, електроізоляційних деталей, а також для виготовлення деталей, що застосовуються при роботі в агресивних середовищах. З поліпропілену виготовляють корпусні деталі автомобілів і корпусу акумуляторів, прокладки, труби, фланці, водонапірну арматуру, плівки, плівкові покриття паперу і картону, корпусу повітряних фільтрів, конденсатори, вставки демпфуючих глушників, зубчасті і черв'ячні колеса, ролики, підшипники ковзання, фільтри масляних і повітряних систем, робочі деталі вентиляторів, насосів, ущільнення, деталі приладів і автоматів точної механіки, кулачкові механізми, деталі телевізорів, магнітофонів, холодильників, пральних машин, ізоляцію проводів і кабелів. Відходи при виробництві поліпропілену і відпрацьовані вироби з нього використовують для повторної переробки. *Полістірол* (полівінілбензол) $[-CH_2-CH(C_6H_5)-]_n$ - прозорий жорсткий полімер щільністю 1050...1080 кг/м^3; легко фарбується в різні кольори, при нагріванні до 80...100 °С розм'якшується. Міцність при розтягуванні (при 20 °С) 35...50 МПа. Полістирол добре розчиняється в ароматичних вуглеводнях, складних ефірних і хлорованих вуглеводнях. Полістирол горючий і крихкий. Для зниження крихкості полістирол синтезують з іншими мономерами або поєднують з каучуками (ударостійкий полістирол). Має високу водостійкість, гарну хімічну стійкість в розчинах солей, кислот і лугів. У порівнянні з іншими термопластами більш стійкий до радіації. Інтервал робочих температур від -40 до + 65 °С. Завдяки своїм споживчим і технологічним якостям поліпропілен має дуже широкий спектр застосування і займає друге місце після поліетилену по світовому випуску - 20,5%. Полістірол застосовують для виготовлення теплоізоляційного матеріалу - пінополістиролу (щільністю 10...50 кг/м^3), облицювальних плиток і дрібної фурнітури, для предметів домашнього вжитку, дитячих іграшок, для тари і упаковки, трубок для ізоляції проводів, плівок для ізоляції електричних кабелів і конденсаторів, відкритих ємностей (лотки, тарілки та ін.), прокладок, втулок, світлофільтрів, великогабаритних виробів різного призначення (корпусу транзисторних і радіоприймачів, телефонних апаратів, холодильників та ін.), деталей електропилососів (колодки, щілинні сопла, прокладки, ручки), конструкційних виробів з антистатичними властивостями. Ударостійким полістиролом (механічна суміш полістиролу з каучуком) облицьовують пасажирські вагони, салони автобусів і літаків. Його застосовують для

виготовлення деталей машин і апаратів, які безпосередньо контактують з харчовими продуктами (молоком і молочними продуктами, вином, коньяком, шампанським і ін.). Полістирол розчинений в органічних розчинниках - хороший клей. *Полівінілацетат* $[-CH_2-CH(CH_3COO)-]_n$ - прозорий безбарвний жорсткий при кімнатній температурі полімер щільністю 1190 кг/м^3. Полівінілацетат розчиняється в кетонах (ацетоні), складних ефірах, хлорованих і ароматичних вуглеводнях, набухає у воді; в аліфатичних і терпенових вуглеводнях не розчиняється. Полівінілацетат не стійкий до дії кислот і лугів; при нагріванні вище 130...150 °С - він розкладається з виділенням оцтової кислоти. Позитивна властивість полівінілацетата - висока адгезія до кам'яних матеріалів, скла, деревини. Полівінілацетат застосовують у вигляді полівінілацетатної дисперсії (ПВАД) - сметаноподібної маси білого або світло-кремового кольору, добре змішується з водою. Полівінілацетатную дисперсію отримують полімеризацією рідкого вінілацетату, що знаходиться у вигляді дрібних частинок (менше 5 мкм) в воді. Для стабілізації емульсії вінілацетату використовують полівініловий спирт $[-CH_2-CH(OH)-]_n$. При полімеризації крапельки вінілацетату перетворюються в тверді частинки полівіналацетату, таким чином утворюється полівінілацетатна дисперсія. Вміст полімеру в дисперсії близько 50%. Полівінілацетатна дисперсія випускається середньої (С), низької (Н) і високої (В) в'язкості в пластифікованому і непластифікованому вигляді. Пластифікатором служить дибутилфталат, вміст якого вказується в марці індексом. У грубодисперсній ПВАД, що зазвичай застосовується в будівництві, вміст пластифікатора наступний (% від маси полімеру): 5...10 (індекс 4), 10...15 (індекс 7) і 30...35 (індекс 20). Пластифікована дисперсія неморозостійка і при заморожуванні необоротно руйнується з осадженням полімеру. Тому у зимовий час пластифікатор поставляють в окремій упаковці. На основі полівінілацетату виготовляють клеї, водно-дисперсійні фарби, шпалери, що миються. ПВАД застосовують для влаштування наливних мастичних підлог і для модифікації цементних розчинів. Дисперсією, розведеною до 5...10% -ної концентрації, ґрунтують бетонні поверхні перед приклеюванням облицювання на полімерних мастиках і перед нанесенням полімерцементних розчинів. Недолік матеріалів на основі ПВАД: набухання і поява висолів. Це пояснюється наявністю в дисперсіях помітної кількості водорозчинного стабілізатора і здатністю самого полімеру набухати у воді. Так як дисперсія має слабокислу реакцію (pH 4,5...6,0), при нанесенні на металеві вироби можлива корозія металу. *Полівінілхлорід* $[-CH_2-$

$CHC1-]_n$ - являє собою твердий матеріал без запаху і смаку, безбарвний або жовтуватий. Щільність полівінілхлориду 1400 кг/м^3; межа міцності при розтягуванні 40...60 МПа. Температура текучості полівінілхлориду 180...200 °С, але вже при нагріванні вище 160 °С починає розкладатися з виділенням соляної кислоти. ПВХ вироби добре зварюються і склеюються перхлорвініловим клеєм. Позитивна якість полівінілхлориду - високі хімічна стійкість, атмосферо, водо-, масло- і бензостійкість, низька горючість. Полівінілхлорид застосовують для виготовлення матеріалів для підлог (різні види лінолеуму, плитки), труб, погонажних виробів (поручні, плінтуси і т. п.) і декоративних плівок і пенопластов. Пластмаси, на основі полівінілхлориду мають хороші електроізоляційні властивості. Вони стійкі до впливу хімікатів, не підтримують горіння, атмосферо-, водо-, масло- і бензостійкі. Непластифікований полівінілхлорид називається *вініпластом*. Вініпласти мають високу механічну міцність і пружність, але порівняно малопластічні. Вініпласти стійкі до дії багатьох мінеральних кислот, лугів і розчинів солей. Їх недоліками є схильність до повзучості, низька ударна в'язкість, мала теплостійкість, різка залежність від температури. Вініпласт випускається у вигляді листів, прутків, труб. Вініпластові деталі добре механічно обробляються і добре зварюються. З нього виготовляють труби для транспортування води, агресивних рідин і газів, корозійностійкі ємності, захисні покриття для електропроводки, деталі вентиляційних установок, теплообмінників, шланги вакуум-проводів, захисні покриття для металевих ємностей, ізоляцію проводів і кабелів. Полівінілхлорид використовують для отримання пінопластів, лінолеуму, штучної шкіри, об'ємної тари, товарів побутової хімії, вібропоглинаючих матеріалів в машинобудуванні і на всіх видах транспорту, водо-, бензо- і антифрізостійких трубок, прокладок і т. п. *Перхлорвініл* - продукт хлорування полівінлхлоріда, що містить 60...70 % (по масі) хлору, замість 56 % в полівінілхлориді. Щільність близько 1500 кг/м^3, хімічно стійкий до кислот, лугів, окиснювачів; важкогорючий. Перхлорвініл розчиняється в хлорованих вуглеводнях, ацетоні, етилацетаті, толуолі, ксилолі та інших розчинниках. Поєднання високої адгезії і високої розчинності дозволяє використовувати перхлорвініл в клеях і фарбувальних складах. Перхлорвінілові фарби використовують для оздоблення фасадів будинків. При роботі з цим полімером, необхідно дотримуватися техніки безпеки (ретельно вимивати руки гарячою водою з милом і змащувати їх жирним кремом, вазеліном, ланоліном і т. п.). При сильному забрудненні рук їх попередньо витирають ганчіркою,

змоченою в уайт-спіриті (застосовувати для цієї мети бензол, толуол, етильований бензин забороняється). *Фторопласти* - полімери фторпохідні ряду етилену. Фторопласти мають міцність при розтягуванні 15-35 МПа, при вигині 10-15 МПа; відносне подовження при розриві 250-350 %. Найбільшого поширення отримав фторопласт-4 $[-CH_2-CH_2-]_n$, або політетрафторетилен (тефлон). Характеризується високою щільністю (2,1-2,3 г/см^3), термо- і морозостійкістю. Інтервал робочих температур при експлуатації виробів з фторопласту-4 становить від -269 до +260 °С. Плівка з нього не охрупчується навіть в середовищі рідкого гелію. Фторопласт-4 має хороші діелектричні властивості і високу корозійну стійкість. По хімічній стійкості фторопласт-4 перевершує всі відомі матеріали, включаючи золото і платину, тому його називають "органічною платиною". Він стійкий до впливу всіх мінеральних і органічних лугів, кислот, органічних розчинників, що не набухає у воді, не змочується рідинами і вязкотекучими середовищами харчових виробництв - тістом, патокою, варенням і т. п. При температурі 260 °С вибухобезппечний, негорючий, при безпосередньому контакті не впливає на організм людини, руйнується тільки під дією розплавлених лужних металів і елементарного фтору. Фторопласт-4 має низький коефіцієнт тертя і застосовується для виготовлення підшипників ковзання без мастила. Для зменшення зношування підшипників у фторопласт вводять 15-30 % наповнювача (графіту, дисульфіду молібдену, скляного волокна і ін.). Фторопласти широко застосовуються в електро- та радіотехнічній промисловості, а також для виготовлення хімічно стійких труб, кранів, мембран, насосів, підшипників, деталей медичної техніки, корозійностійких конструкцій, тепло- і морозостійких деталей (втулок, пластин, дисків, прокладок, сальників, клапанів), для облицювання внутрішніх поверхонь різних кріогенних емкостей. *Поліуретани* - (продукти, що містять уретанове угруповання [-O-CO-NH-]) - найбільш цінні термопластичні полімери, що широко виробляються промисловістю. Вони характеризуються високим модулем пружності, зносостійкістю, в'язким коефіцієнтом тертя, стійкістю до вібрацій, атмосферостійкістю, а також стійкістю до дії мастил і бензину. Вироби з поліуретану можна експлуатувати при низьких температурах до -70 °С. Волокна з поліуретану малогігроскопічні і мають високу хімічну стійкість. Їх використовують для виготовлення ізоляції, фільтрувальних і парашутних тканей. *Скло органічне (плексиглас)* $[-CH_2-C(CH_3)(CH_3COO)-]_n$ - отримують полімеризацією складних ефірів метакрилової кислоти. Зазвичай застосовують

поліметилметакрилат. Цей термопласт оптично прозорий (прозорість до 92%), має низьку щільність, високу атмосферостійкість, стійкий до впливу розведених кислот і лугів, вуглеводневого палива і мастил. Скло органічне випускається у вигляді листів товщиною до 25 мм. Його недолік – низька поверхнева твердость. *Полікарбонат* - термопластичний полімер на основі дифенілолпропану і фостену, що випускається під назвою дифлон. Полікарбонат характеризується низькими водопоглинанням і газопроникністю, хорошими діелектричними властивостями, високою жорсткістю, теплостійкістю і хімічною стійкістю, не має запаху і смаку, фізіологічно нешкідливий, безбарвний, прозорий, добре забарвлюється. Стійок до світлового старіння і дії окиснювачів навіть при нагріванні до 120 °С. Це один з найбільш удароміцних термопластів, що дозволяє використовувати його в якості конструкційного матеріалу, що заміняє метали. З полікарбонату виготовляють шестерні, підшипники, корпуси, кришки, клапани та інші деталі, судини для транспортування фруктових соків, молока, вин і т. п. Його можна використовувати в кріогенній техніки для роботи в середовищі рідких газів. Фізіко-механічні властивості полікарбонатів поліпшуються при введенні в них армуючих волокон. Наприклад, при введенні в полікарбонат скловолокна (до 30%) його модуль пружності при розтягуванні збільшується в 3 рази, а твердість по Брінеллю - в 1,5 рази. Теплостійкість матеріалу також збільшується, а термічний коефіцієнт лінійного розширення знижується в 3 рази, усадка матеріалу зменшується в 2 рази. Армовані полікарбонати з назвою «Естеран» знайшли застосування у виробництві відповідальних деталей машин, наприклад, підшипників ковзання, кулачків і т. п. Вони зберігають свої властивості і експлуатаційну надійність в інтервалі температур від -200 до +110 °С, а також в вакуумі. В нашій країні крім склонаповненого полікарбонату добре зарекомендували себе наповнені скловолокном поліпропілен, полістирол і деякі інші термопласти. Термопласти, армовані скловолокном, мають більш високі механічні властивості і забезпечують незмінність форми виробів в умовах підвищених температур. Виробництво таких термопластичних матеріалів з кожним роком зростає на 25 - 30%. Вони застосовуються при виготовленні різноманітних деталей в електронній та електротехнічної промисловості, оптичному і точному приладобудуванні, автомобілебудуванні, текстильному машинобудуванні, будівництві та ін.

Література

1. Алексеева Л.Л. Экологические проблемы в строительной индустрии / Л.Л. Алексеева. - Ангарск: АГТА, 2001. - 68 с.

2. Алексеева Л.Л. Экологические проблемы в строительной индустрии / Л.Л. Алексеева. - Ангарск: АГТА, 2006. – 92 с.

3. Ужов В. Н. Очистка промышленных газов от пыли / В.Н. Ужов, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков, И.К. Решидов. - М.: Химия, 1981. - 391 с.

4. Белов С.В. Охрана окружающей среды / С.В. Белов, Ф.А. Барбинов, А.Ф. Козьяков, Г.П. Павлихин. – М.: Высшая школа, 1983. - 264 с.

5. Мазур И.И. Инженерная экология: Учеб. пособие. В 2-х т. / И.И. Мазур, О.И. Молдаванов, В.Н. Шишов. - М.: Высшая школа, 1996. - 312 с.

Рецензенти:
Андрійко О.О., д-р хім.. наук, Національний технічний університет України "КПІ".
Мудрак К.В., канд. хім. наук, Національний транспортний університет.

Reviewers:
Andriyko A.A., Dr.Che.Sci, National Technical University of Ukraine "KPI".
Mudrak K.V., Cand. Che. Sci. (Ph.D.), National Transport University

Стаття надійшла до редакції: **20.02.2017 р**.

УДК 504.06:519.7

Рутковська І.А., канд. техн. наук, **Федій І.С.**

ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН, ЩО НАДХОДЯТЬ В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ, ВИКОРИСТОВУЮЧИ РІЗНОМАНІТНІ ПІДХОДИ

Анотація. Обсяг забруднюючих речовин у атмосферному повітрі під час руху транспортних засобів зростає зі збільшенням кількості автотранспорту, його категорій, складу потоку відповідно до Євро норм та супутніх коефіцієнтів. У цій статті кількість забруднюючих речовин визначено на основі співставлення двох методик.

Ключові слова: оцінка впливу на навколишнє середовище (ОВНС), розсіювання забруднюючих речовин, гранично допустима концентрація, інгредієнти забруднення.

УДК 504.06:519.7

Рутковская И.А., канд. техн. наук, **Федий И.С.**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ, ПОСТУПАЮЩИХ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ, ИСПОЛЬЗУЯ РАЗЛИЧНЫЕ ПОДХОДЫ

Аннотация. Объем загрязняющих веществ в атмосферном воздухе во время движения транспортных средств растет с увеличением количества автотранспорта, его категорий, состава потока в соответствии с Евро нормами и сопутствующими коэффициентами. В этой статье количество загрязняющих веществ определены на основе сопоставления двух методик.

Ключевые слова: оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС), рассеивания загрязняющих веществ, предельно допустимая концентрация, ингредиенты загрязнения.

UDC 504.06:519.7

Rutkovska I. A., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), **Fedii I. S.**

DETERMINATION OF THE AMOUNT OF POLLUTANTS IN ATMOSPHERIC AIR USING A VARIETY OF APPROACHES

Abstract. The amount of pollutants in the air while driving vehicles increases with the number of vehicles, its categories of flow according to Euro standards and related factors. This article pollutants identified based on comparison of two methods.
Keywords: environmental impact assessment (EIA), dispersion of pollutants, maximum allowable concentration, ingredient s of contamination.

Мета роботи. Забруднення атмосферного повітря провокують фактори, які залежні один від одного. Безліч існуючих коефіцієнтів вкладають певний відсоток у остаточний показник визначення рівня забруднення. Тому постає актуальна задача щодо виявлення даних показників у різних методиках.

Методи дослідження. Розрахунок розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі передбачає врахування обсягу викидів речовин від автотранспорту. Розглянемо ці показники на основі двох методик, за допомогою яких можливо визначити кількість забруднюючих речовин, а саме: «Методики оцінювання інгредієнтного і параметричного забруднення придорожнього середовища системою «транспортний потік – дорога» та «Методики розрахунку викидів забруднюючих речовин і парникових газів у повітря від транспортних засобів».

Відповідно до «Методики розрахунку викидів забруднюючих речовин і парникових газів у повітря від транспортних засобів» (затверджена Державним комітетом статистики України наказом від 13.11.2008 №452) для визначення обсягу ЗР необхідно врахувати наступні показники: витрату палива одним автомобілем, обсяг спаленого палива всіма транспортними засобами, інтенсивність та склад транспортного потоку, коефіцієнти технічного стану автомобіля та усередненого питомого викиду та інші дані [1].

Витрату палива одним автомобілем на розрахунковій ділянці заданої довжини знаходимо за наступною формулою 1:

$$Q_{1aав} = (\frac{Li \times Qij)}{100}) \quad (1)$$

де: Q1авт. – витрата палива одного автомобіля на розрахунковій ділянці заданої довжини, л; Li - довжина заданої ділянки, км; Qij - витрата і-того виду палива j-того типу автомобіля, л/100 км.

Обсяг спаленого палива усіма автомобіля за рік визначаємо за наступною формулою 2:

$$Q_{заг} = Nj \times Q_{1aав} * K_1 * \frac{365}{1000} \quad (2)$$

де: Qijзаг – обсяг спаленого палива всіма автомобілями j-того типу з і-тим видом палива; К1 – коефіцієнти переведення у вагові одиниці і-го виду палива (кг/л, кг/м3); Nj- кількість транспортних засобів j-того типу.

Розрахунок обсягу викидів забруднюючих речовин проводиться за наступною формулою 3:

$$B_{ij} = П_{iпп} \times K_{ji} \times K_{jimi} \quad (3)$$

де: Bij – обсяги викидів j-ї забруднюючої речовини від використання і-го виду палива; Пінп - річне споживання і-го виду палива; Кji -–усереднений питомий викид j-ї забруднюючої речовини, що залежить від споживання і-го виду палива; Кjітс – коефіцієнти впливу технічного стану автотранспорту на викиди j-ї забруднюючої речовини від використання і-го виду палива.

Відповідно до «Методики оцінювання інгредієнтного і параметричного забруднення придорожнього середовища системою «транспортний потік – дорога» під час руху транспортного засобу з постійною швидкістю викид і-ї забруднюючої речовини M_i у мг/с розраховується за формулою 4 [2]:

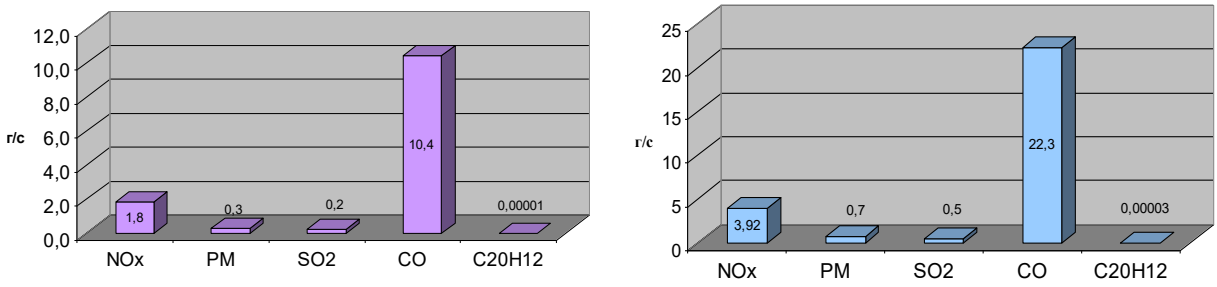
$$M_i = \frac{1}{3600} \cdot I \cdot \sum_{jk} (m_{ikpv} \cdot \gamma_{kpj} \cdot k_j) \quad (4)$$

де I – інтенсивність транспортного потоку, авто/год; m_{ikpv} – питомі викиди і-ї забруднюючої речовини транспортним засобом к-ї категорії екологічного класу Євро-0, який використовує р-й вид палива при v-ій швидкості руху транспортного потоку, мг/км; γ_{kpj} – частка транспортних засобів к-ї категорії р-

го виду палива j-го класу Євро ($\Sigma\gamma_{kpj}=1$); k_j – коефіцієнт приведення до норм j-го класу Євро.

На основі даних методик проведемо розрахунки.

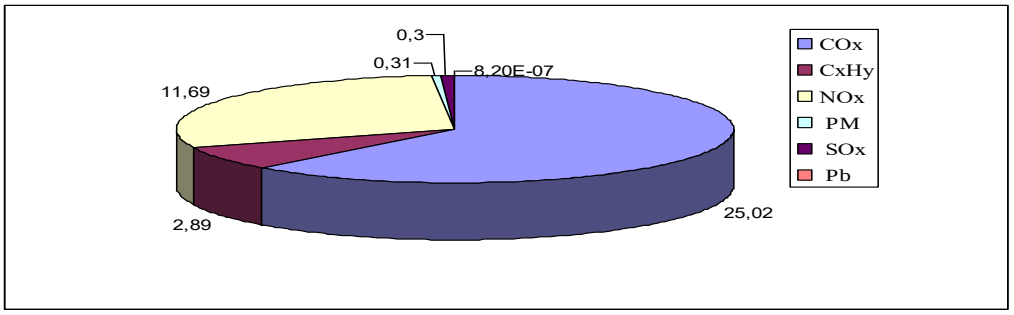
Результати дослідження. Обидві методики спрямовані на визначення обсягу шкідливих сполук, що надходять у атмосферне повітря від транспортних засобів. Дослідження проведемо на основі ділянки автомобільної дороги державного значення Київ – Харків – Довжанський км 197+000 – км 202+000 (Полтавська область), яка згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 2006 р. є міжнародною автомобільною дорогою, протяжністю 845 км. Дорога відіграє важливе значення у транспортному сполучені України, по якій здійснюються транспортні зв'язки Київської, Полтавської та Харківської областей з іншими областями України [3, 4, 5, 6, 7]. Результати розрахунків, відповідно до першої методики, наведено на рисунку 1 [1].



а) б)

Рисунк 1 - Обсяг викиду забруднюючих речовин (а – 2013 р., б – 2030 р.)

Масові викиди шкідливих речовин у межах руху автомобільної дороги включають питомі викиди, інтенсивність транспортного потоку, частку транспортних засобів, а також коефіцієнт приведення до норм Євро класу, який рівний одиниці (рис. 2).



Рисунк 2 - Масові викиди і-тої забруднюючої речовини, мг/с

Так як зазначені методики враховують кількість ЗР від автотранспорту, але у різних вимірювальних значеннях прирівняємо їх:

$$\frac{1000}{3600}\cdot I\cdot\sum_{jk}(m_{ikpv}\cdot\gamma_{kpj}\cdot k_j\ )=(N_j\cdot((L_i\cdot Q_{ij})/100)\ К_1\cdot 365/1000\ )\ К_{ji}\cdot К_{jiтс} \quad (5)$$

$$\frac{10}{36}\cdot I\cdot\sum_{jk}(m_{ikpv}\cdot\gamma_{kpj}\cdot k_j\ )=(N_j\cdot\ ((L\cdot^{*}Q_{ij})/100)\ К_1\cdot 365/1000\ )\cdot К_{ji}\cdot К_{jiтс} \quad (6)$$

$$\frac{1000\cdot I\cdot m_{ikpv}\cdot\gamma_{kpj}\cdot k_j}{3600}\cdot=(N_j\cdot L_i\cdot Q_{ij}\cdot К_1\cdot 365\cdot К_{ji}\cdot К_{jiтс})/100000 \quad (7)$$

$$\frac{10\cdot I\cdot m_{ikpv}\cdot\gamma_{kpj}\cdot k_j}{36}\cdot=(N_j\cdot L_i\cdot Q_{ij}\cdot К_1\cdot К_{ji}\cdot К_{jiтс})\cdot 0{,}00365 \quad (8)$$

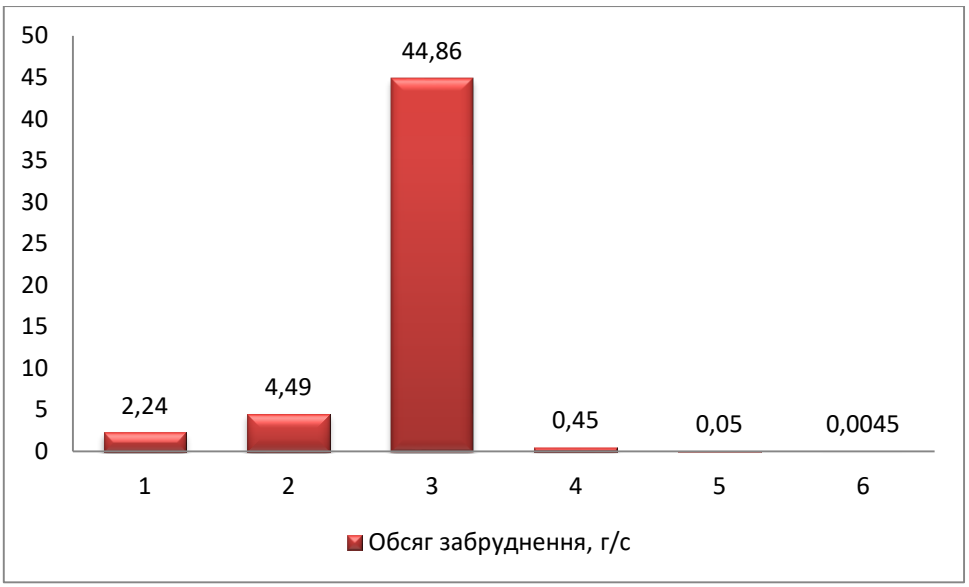
$$10\cdot I\cdot m_{ikpv}\cdot\gamma_{kpj}=(N_j\cdot L_i\cdot Q_{ij}\cdot К_1\cdot К_{ji}\cdot К_{jiтс})\cdot 0{,}1314 \quad (9)$$

Для достовірності інформації необхідно розрахувати обидві частини утвореного рівняння (перша частина якого відповідає методиці визначення парникових газів, друга – НТУ). Дані розрахунки за поданими вище формулами не є рівними, тому зведемо коефіцієнти до середнього значення, які не будуть розподілені за забруднюючими речовинами, типом транспортного засобу та іншими даними (табл. 1).

Таблиця 1 - Зведені значення

№ з/п	Зведені значення	Значення
1	Усереднений питомий викид забруднюючих речовин, Кji	23,8
2	Коефіцієнти впливу технічного стану автотранспорту , Кjітс	1,091
3	Витрата i-того виду палива j-того типу автомобіля, л/100 км	19,725
4	Коефіцієнт переведення у вагові одиниці	0,683

Провівши розрахунки відповідно до «Методики оцінювання інгредієнтного і параметричного забруднення придорожнього середовища системою «транспортний потік – дорога» , було виявлено залежність впливу на рівень забруднення протяжності ділянки автомобільної дороги, збільшення якої призводить до зростання забруднення (рис. 3) [2].



(1– 5 км, 2 – 10 км, 3 – 100 км, 4 – 0,1 км; 5– 0,01 км; 6 – 0,001 км)

Рисунлк 3 - Обсяг викидів забруднюючих речовин залежно від протяжності ділянки автомобільної дороги

Відповідно до методики, розробленої у Національному транспортному університеті (для викидів СО), рівень забруднення атмосферного повітря становить 5,85 мг/с. Провівши порівняння, визначено, що найближчі показники обох методик сходяться на відстані 0,001 км.

Залежність інших показників на ступінь забруднення буде проведено у наступних дослідженнях.

Прирівнявши дані методики, виводимо формулу для розрахунку питомого викиду, оскільки вказаний параметр недосконало вивчений у методиці, розробленій у Національному транспортному університеті і має важливе значення для дослідження.

$$10 \cdot I \cdot m_{ikpv} \cdot \gamma_{kpj} \cdot k_j = (N_j \cdot L_i \cdot Q_{ij} \cdot K_1 \cdot K_{ji}) \cdot 0{,}1314 \quad (10)$$

$$m_{ikpv} = \frac{0{,}314(Nj \cdot Li \cdot Qij \cdot K1 \cdot Kji)}{10 \cdot I \cdot \gamma_{kpj}} \quad (11)$$

$$Nj \approx I$$

$$m_{ikpv} = \frac{0{,}314(Li \cdot Qij \cdot K1 \cdot Kji)}{10 \cdot \gamma_{kpj}} \quad (12)$$

Отже, у даній роботі було визначено кількість забруднюючих речовин, що надходять в атмосферне повітря, на основі «Методики оцінювання

інгредієнтного і параметричного забруднення придорожнього середовища системою «транспортний потік – дорога» та «Методики розрахунку викидів забруднюючих речовин і парникових газів у повітря від транспортних засобів». Розрахунки показали зміну забруднення від усіх показників. Змінюючи показник відстані ділянки автомобільної дороги, виявили залежність зростання викидів від збільшення протяжності дороги. Але найближчі показники для обох методик сходяться на найменшій відстані, оскільки методика Національного транспортного університету не враховує довжину заданої ділянки.

Література

1. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин і парникових газів у повітря від транспортних засобів – К.: Державний комітет статистики України, 2008.

2. Методика оцінювання інгредієнтного і параметричного забруднення придорожнього середовища системою «транспортний потік – дорога – К.: НТУ, 2011 – 40 с.

3. Офіційний сайт Державного агентства автомобільних доріг України (електронна адреса – http://ukravtodor.gov.ua/)

4. Протяжність і характеристика автомобільних доріг загального користування на 1 січня 2010 року. Київ: Державна служба автомобільних доріг України “Укравтодор”, 2010. – 10 с.

5. Офіційний сайт Полтавської обласної державної адміністрації (електронна адреса – http://www.adm-pl.gov.ua)

6. Полтавська область: природа, населення, господарство. Географічний та істерико-економічний нарис. Видання 2-е, доповнене і перероблене. За редакцією К. О. Маца. – Полтава: Полтавський літератор, 1998. –336 с.

7. Національний Атлас України. – К.:ДНВП «Картографія», 2007. – 440 с.

Рецензенти:
Хрутьба В.О., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.
Бондаренко Л.П., канд. техн. наук, Національний транспортний університет.

Reviewers:
Hrutba V.O., Dr. Tech. Sci., National Transport University.
Bondarenko L.P., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **17.03.2017 р**.

Відомості про авторів

Алєксєєнко Олександр Валерійович, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри аеропортів, e-mail: alekseenko_ov@mail.ru, тел. +380442807073, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 344.

Артеменко Владислав Андрійович, Український гідрометеорологічний інститут державної служби України з надзвичайних ситуацій та Національної академії наук України, науковий співробітник відділу системних гідрометеорологічних досліджень, e-mail: artemenko@uhmi.org.ua, тел. +380936011250, Україна, 03028, м. Київ, просп. Науки, 37, к. 34.

Балашова Юлія Борисівна, кандидат технічних наук, доцент, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, доцент кафедри «Землевпорядкування, будівництво автодоріг та геодезія», e-mail: yuliabalashova72@gmail.com, тел. +380507865446; +380983330943; Україна,46010, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24[а], к. 421.

Баран Сергій Анатолійович, асистент кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, Національний транспортний університет, e-mail: baran_serg@ukr.net, тел. +380442859528, +380978806451, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 113.

Батракова Анжеліка Геннадіївна, доктор технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, професор кафедри вишукувань та проектування доріг і аеродромів, e-mail: agbatr1@gmail.com, тел. +380577073732, Україна, 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, к. 362.

Бєліченко Олена Анатоліївна, кандидат технічних наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, старший науковий співробітник кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: Belichenko_khadi@meta.ua, тел.+380577073742, Україна, 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Висоцька Ірина Іванівна, кандидат економічних наук, доцент, Національний авіаційний університет, доцент кафедри організації авіаційних перевезень (ННІЕМ ФМЛ ОАП), e-mail: vysotskaia@gmail.com, тел. 0674243326, Україна, м. Київ, вул. Є. Коновальця, 15/4, кв. 29.

Волліс Олексій Євгенович, ТзОВ «Пролог ТД», завідувач лабораторії, e-mail: vollisaleksey@gmail.com, тел. +380322448265, Україна, 79000, м. Львів, вул. Наукова, 5-А, кім. 340.

Гамеляк Ігор Павлович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри аеропортів, e-mail: gip65n@gmail.com, тел +380442807073, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 344.

Гнєдаш Сергій Вікторович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри опору матеріалів і машинознавства, e-mail: ksm_ntu@ukr.net, тел. +380635231860, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 113.

Грек Марія Олександрівна, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, здобувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, e-mail: grekmariaa@gmail.com, тел.: +380688894532, Україна, 61000, Харків, вул. Маршала Бажанова, 17.

Данилевський Володимир Володимирович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри аеропортів, e-mail: dvi1@inbox.ru, тел. +380442807073, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка,1, к. 344.

Дахоуа Ламрім, інженер, Національний транспортний університет, e-mail: maissem2001@yahoo.fr, тел. 00213555332335, 19 City Mohamed Benbeguag, Sétif,19000, Алжир.

Дем'яненко Віктор Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, доцент кафедри «Землевпорядкування, будівництво автодоріг та геодезія».

Догадайло Олександр Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг, e-mail: san8san8@yandex.ua, тел. +380503039267, Україна, 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Дорожко Євген Вікторович, кандидат технічних наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, асистент кафедри «Вишукувань та проектування доріг і аеродромів», e-mail: evgeniy.dorozhko@mail.ru.

Жданюк Валерій Кузьмович, доктор технічних наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, завідуючий кафедрою будівництва та експлуатації автомобільних доріг, e-mail: vk.zhdanuk@gmail.com, тел. +380660332695, Україна, 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, к. 255.

Закревський Анатолій Іванович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри аеропортів, тел. +380442807073, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 344.

Захаров Денис Сергійович, інженер, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, аспірант кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: Tolmach_serg@mail.ru, тел.+38(057)7073742, Україна, 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Канін Олександр Петрович, кандидат технических наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: kaninap@ukr.net, тел. +380442805212, +380671055963, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 206.

Каськів Володимир Іванович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: vi_kas@ukr.net, тел. +380442807338, +380442803942, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 136.

Київський Віталій Ігоревич, студент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: vitaliy.kievskiy@hotmail.com, тел. +380995000310, Україна, 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Кірічек Юрій Олександрович, доктор технічних наук, професор, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, завідувач кафедри «Землевпорядкування, будівництво автодоріг та геодезія», e-mail: yakirichek@gmail.com, тел. +380562470888, Україна, 46010, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24^{а}, к. 228.

Коваленко Людмила Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри вишукувань та проектування доріг і аеродромів, e-mail: rp@khadi.kharkov.ua, тел. + 380577073732, Україна, 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, к. 362.

Корітчук Сергій Олександрович, Національний транспортний університет, асистент кафедри аеропортів, e-mail: K.S2501@ukr.net, тел. +380442807073, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 344.

Костін Дмитро Юрійович, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, науковий співробітник кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг, e-mail: dmitric2008@ukr.net, тел. +380661111522, Україна, 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, к. 252.

Крюковська Леся Іванівна, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри екології та безпеки життєдіяльності, e-mail: Krjukovska@yandex.ru, тел.+38(097) 519 02 28, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1.

Кузло Микола Трохимович, доктор техничних наук, професор, Національнимй університет водного господарства та природокористування, завідувач кафедри автомобільних доріг, основ та фундаментів, e-mail: kuzlo-@ukr.net, тел. (0362) 63-51-40, Україна, 33028, м. Рівне, вул. Чорновола, 49а, к. 653.

Кузьмінець Микола Петрович, доктор технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, завідувач кафедри комп'ютерної, інженерної графіки та дизайну, e-mail: kuzminecmp@ukr.net, тел. +380442849713, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 705.

Куцман Олександр Михайлович, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, +380442859528, +380672960871, kutsmans@ukr.net, Україна, 10103, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 113.

Лантух-Лященко Альберт Іванович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри мостів та тунелей, e-mail: albert.lantoukh@gmail.com, тел. +380442807978, +380952748025, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 228.

Левківський Сергій Анатолійович, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри дорожніх машин, e-mail: sergey_levkovsky@ukr.net, тел. +380978316547, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226.

Литвиненко Анатолій Семенович, e-mail: asl.weise@gmail.com, тел. +380661325054.

Лук'яненко Владислав Владиславович, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, студент кафедри «Землевпорядкування, будівництво автодоріг та геодезія», e-mail: gestantgloria@gmail.com, тел. +380637865824, Україна, 46010, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24[а], к. 421.

Маковська Юлія Антонівна, Національний транспортний університет, асистент кафедри аеропортів, e-mail: _uliazabarilo@ukr.net, +380442807073, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 344.

Мамонов Костянтин Анатолійович, доктор економічних наук, професор, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, завідувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, e-mail: kostia_mamonov@mail.ru, тел. +380577073104, Україна, 61002, м. Харків, вул. Маршала Бажанова, 17, к. 409.

Марчук Олександр Васильович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри опору матеріалів і машинознавства, e-mail: ksm_ntu@ukr.net, тел. +380994256775, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 113.

Матейчик Василь Петрович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, декан автомеханічного факультету, e-mail: wmate@ukr.net, тел. +380442807940, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1.

Мішутін Андрій Володимирович, доктор технічних наук, професор, Одеська державна академія будівництва та архітектури, завідувач кафедри проектування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг, e-mail: mishutin52@mail.ru, тел. +380487179921, Україна, 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.

Мозговий Володимир Васильович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: mozgoviy@gmail.com, тел. +380442859528, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 109.

Мусієнко Ігор Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри вишукувань та проектування доріг і аеродромів, e-mail: rp@khadi.kharkov.ua, тел. +380577073732, Україна, 610002, Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, к. 362.

Мустяца Олег Никифорович, кандидат хімічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: oleg.mustyatsa@gmail.com, тел. +380442754760, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42.

Онищенко Артур Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: artur_onish@bigmir.net, тел. +380671442355, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 107.

Павленко Надія Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри вишукувань та проектування доріг і аеродромів, e-mail: pavlenko.nadya@gmail.com, тел. +3805727073732, Україна, 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Петрашевський Олег Львович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри аеропортів, e-mail: olp47@mail.ru, +380442807073, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 344.

Петрович Володимир Васильович, кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, старший науковий співробітник, професор кафедри будівництва та експлуатації доріг, e-mail: Petrovichvv60@ukr.net, тел. +380442807338, +380442803942, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 136.

Попелиш Іван Іванович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри аеропортів, e-mail: I_P_P@ukr.net, тел. +380442807073, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 344.

Пронь Світлана Віталіївна, Національний авіаційний університет, старший викладач кафедри організації авіаційних робіт і послуг (ННІЕМ ФМЛ ОАРП), e-mail: pron@ukr.net, тел. +380506914169, Україна, м. Київ, вул. Дружківська, 6а, кв. 6.

Процюк Віталій Олексійович, Луцький національний технічний університет, асистент кафедри автомобільних доріг та аеродромів, e-mail: protsai2@rambler.ru, тел. +380332767996, Україна, 43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75.

Рижук Михайло Васильович, магістер, Національнимй університет водного господарства та природокористування, e-mail: pngshka@gmail.com, Україна, 33028, м. Рівне, вул. Чорновола, 49а.

Рідкозубов Олександр Олексійович, кандидат технічних наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг, e-mail: redckozubov.alexandr@mail.ru, +380972125987, Україна, 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, к. 255.

Руденко Денис Євгенович, Національний транспортний університет, магістрант спеціальності «Екологія та охорона навколишнього середовища», e-mail: kafedra.ecology.ntu@gmail.com, тел.+380442885100, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1.

Рутковська Інесса Анатоліївна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри аеропортів, завідуюча аспірантурою та докторантурою НТУ, e-mail: ria_ntu@ukr.net, тел. +380674431962, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 312.

Савенко Вячеслав Якович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: svi1310@ukr.net, тел. +380442803942, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 218.

Сівко Володимир Йосипович, доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури, професор кафедри машини та обладнання технологічних процесів, e-mail: professor_sivko@mail. ru, тел. +380442433196, Україна, 03037, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31.

Сідун Юрій Володимирович, Національний університет «Львівська полтехніка», асистент кафедри «Автомобільні дороги та мости», e-mail: siduniurii@gmail.com, тел. +380684638840, Україна, 79013 м. Львів, вул. Карпінського, 6, корпус 2, к. 306.

Соколова Наталія Михайлівна, кандидат економічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: nata_ns@ukr.net, тел. +380442807909, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 206.

Соловйова Олена Олександрівна, кандидат економічних наук, доцент, Національний авіаційний університет, доцент кафедри організації авіаційних робіт і послуг (ННІЕМ ФМЛ ОАРП), e-mail: elen_5211@mail.ru, тел. +380679139378, Україна, м. Київ, вул. Борщагівська, 173/187, кв. 102.

Солодкий Сергій Йосифович, доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», завідувач кафедри «Автомобільні дороги та мости», e-mail: s.solodkyy@ukr.net, тел. +380322582517, Україна, 79013, м. Львів, вул. Карпінського,6, корпус 2, к. 306.

Славінська Олена Сергіївна, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, декан факультету транспортного будівництва, e-mail: elenaslavin9@gmail.com, тел. +380442806543, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 213.

Смірнова Наталія Володимирівна, доктор технічних наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, професор кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг, e-mail: NataliaV-Smirnova@yandex.ru, тел. +3805727073780, Україна, 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Снитко Валерій Пилипович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри мостів та тунелів, тел. +380442807978, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 228.

Старинець Людмила Миколаївна, Національний транспортний університет, магістрант спеціальності «Екологія та охорона навколишнього середовища», e-mail: kafedra.ecology.ntu@gmail.com, тел.+380442885100, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1.

Тимченко Ольга Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри вишукувань та проектування доріг і аеродромів, e-mail: olga.tym4enko@yandex.ru, тел. +380958307968, Україна, 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, к. 351.

Ткачук Сергій Григорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри мостів та тунелів, e-mail: tkachuk@ntu.edu.ua, тел. +380442807978, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 229.

Толмачов Сергій Миколайович, доктор технічних наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, професор кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: Tolmach_serg@mail.ru, тел. +380577073742, Україна, 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Ужвієва Олена Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: lena_uzhvieva_72@mail.ru, тел. +380577073732, Україна, 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, к. 351.

Усиченко Олена Юріївна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: fbbk@yandex.ua, тел. +380442803942, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 218.

Федій Інна Станіславівна, Національний транспортний університет, аспірант кафедри аеропортів, e-mail: fediy_is@ukr.net, тел. +380678776762, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Бойчука, 36, к. 210.

Хаджі Ріхаб (Rihab), доктор технічних наук, професор кафедри наук про Землю, Інститут архітектури і наук про Землю, Sétif-1 університет, LESRMHAO лабораторії, Тебесса університет, e-mail: hadjirihab@gmail.com, tel. 00213561474453, Sétif, 19000, Алжир.

Хрутьба Вікторія Олександрівна, доктор технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності, e-mail: Khrutba.Viktoriia@gmail.com, тел.+380992621097, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1.

Цюман Микола Павлович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри двигунів та теплотехніки, e-mail: tsuman@ukr.net, тел. +380442804716, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1.

Шевчук Іван Олександрович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри двигунів та теплотехніки, e-mail: she_vchuk@mail.ru, тел. +380442804716, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1.

Штерндок Ернест Сергійович, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, здобувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, e-mail: shterndok@ukr.net, тел.: +380934289234, Україна, 61000, м. Харків, вул. Маршала Бажанова, 17.

Яценко Ігор Володимирович, кандидат економічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри економіки, тел. +380442803016, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 313.

About the Authors

Alieksieienko Oleksandr V., National Transport University, Senior Lecturer of Airpors Department, e-mail: alekseenko_ov@mail.ru, tel. +380442807073, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 344.

Artemehko Vladislav A., Ukrainian Hydrometeorological Institute, State Service on Emergencies of Ukraine and National Academy of Science of Ukraine, System Hydrometeorological Research, Scientific Enployee, e-mail: artemenko@uhmi.org.ua, tel. 380936011250, Ukraine, 03028, Kyiv, Nauky Avenue, 37.

Balashova Yulia B., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Associate Professor of Department “Land planning, construction of roads and surveying", e-mail: yuliabalashova72@gmail.com, tel. +380507865446; +380983330943; Ukraine, 46010, Dnipro, Chernishevskoho Str., 24ª, of. 421.

Baran Serhii A., Assistant of Road Construction Materials and chemistry Department, National Transport University, +38044285928, +380978806451, e-mail: baran_serg@ukr.net, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boichuka Str., 42, office 113.

Batrakova Anzhelika H., Dr. Tech. Sci., Associate Professor, Kharkiv National Automobile and Highway University, Professor of Department of Researches and Designing Highways and Airports, e-mail: agbatr1@gmail.com, tel. +380577073732, Ukraine, 61002, Kharkiv, Yaroslava Mudroho Str., 25, office 362.

Belichenko Olena A., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Kharkov National Automobile und Highway University, Senior Researcher of Department of the Technology of Road Building Materials and Chemistry, e-mail: Belichenko_khadi@meta.ua, tel. +380577073742, Ukraine, 61002, Kharkiv, Yaroslava Mudroho Str., 25.

Vysotska Iryna I., Cand. Ec. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, National Aviation University, Associate Professor of the Air Transportation Management Department, e-mail: vysotskaia@gmail.com, tel. +380674243326, Ukraine, Kiev, E.Konovalets Str., 15/4, r. 29.

Vollis Oleksii Ye., Ltd. «Prologue TD», Head of the Laboratory, e-mail: vollisaleksey@gmail.com, tel. +380322448265, Ukraine, 79000, Lviv, Naukova Str., 5-A, office 340.

Gameliak Ihor P., Dr. Tech. Sci., Professor, National Transport University, Head of Airports Department, e-mail: gip65n@gmail.com, тел. +380503524124, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 344.

Hnedash Serhii V., National Transport University, postgraduate, department of mechanical engineering and strength of materials, e-mail: ksm_ntu@ukr.net, tel. +3800635231860, Ukraine, 01010, Kiev, M. Omelyanovycha-Pavlenka Str., 1, office 113.

Grek Mariia O., O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, graduate student of Department of Land Administration and GIS, e-mail: grekmariaa@gmail.com, tel.: +380688894532, Ukraine, 61002, Kharkiv, Marshala Bazhanova Str., 17.

Danilevskyi Volodymyr V., National Transport University, Postgraduate of Airpors Department, e-mail: dvi1@inbox.ru, tel. +380442807073, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 344.

Dahoua Lamri, Engineer, National Transport University, e-mail: maissem2001@yahoo.fr, tel. 00213555332335, 19 City Mohamed Benbeguag, Sétif,19000, Algéria.

Demianenko Victor V., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Associate Professor of Department “Land planning, construction of roads and surveying", e-mail: victor_demyan@inbox.ru , тел. +380662108885; +380967283894; Ukraine, 46010, Dnipro, Chernishevskoho Str., 24ª, o office 421.

Dohadailo Oleksandr O., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, National Automobile and Highway University, Associate Professor of Department of Road Building and Maintenance, e-mail: san8san8@yandex.ua, tel. +380503039267, Ukraine, 61002, Kharkiv, Yaroslava Mudroho Str., 25.

Dorozhko Evhen V., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Kharkov National Automobile and Highway University, Assistant of Department of Researches and Designing Roads and Airports, e-mail: evgeniy.dorozhko@mail.ru.

Zhdaniuk Valerii K., Dr. Tech. Sci., Professor, Kharkiv National Automobile and Highway University, Head of the Department of Road Building and Maintenance, e-mail: vk.zhdanuk@gmail.com, tel. +380660332695, Ukraine, 61002, Kharkiv, Yaroslava Mudroho Str., 25, office 255.

Zakrevskyi Anatolii I., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Airports Department, tel. +380442807073, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 344.

Zakharov Denys S., Engineer, Kharkov National Automobile and Highway University, Department of the Technology of Road Building Materials and Chemistry, e-mail: Tolmach_serg@mail.ru, tel.+380577073742, Ukraine, 61002, Kharkiv, Yaroslava Mudroho Str., 25.

Kanin Oleksandr P., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Professor of Department of Transport Construction and Property Management, tel. +380442807909, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 206.

Kaskiv Volodymyr I., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: vi_kas@ukr.net, tel. +380442807338, +380442803942, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 136.

Kyiivskyi Vitalii I**.,** student, Kharkiv National Automobile and Highway University, e-mail: vitaliy.kievskiy@hotmail.com, tel. +380995000310, Ukraine, 61002, Kharkiv, Yaroslava Mudroho Str., 25.

Kirichek Yuriy A., Dr. Tech. Sci., Professor, Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, head of Department “Land planning, construction of roads and surveying", e-mail: yakirichek@gmail.com, tel. +380562470888; Ukraine, 46010, Dnipro, Chernishevskoho str., 24ª, office 228.

Kovalenko Liudmyla O., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, Kharkiv National Automobile and Highway University, Associate Professoe of the Department of Highways and Airports, e-mail: rp@khadi.kharkov.ua, tel. + 380577073732, Ukraine, 61002, Kharkiv, Yaroslsva Mudroho Str., 25, office 362.

Koritchuk Serhii A., National Transport University, Assistant of Airoports Department, e-mail: K.S2501@ukr.net, тел. +380442807073, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 344.

Kostin Dmytro Yu., Kharkiv National Automobile and Highway University, Scientific Researcher of the Department of Road Building and Maintenance, e-mail: dmitric2008@ukr.net, tel. +380661111522, Ukraine, 61002, Kharkiv, Yaroslava Mudroho Str., 25, office 252.

Kriukovska Lesia I., National Transport University, Senior Lecturer of the Department of Ecology and Life Safety, e-mail: Krjukovska@yandex.ru, tel. +380975190228, Ukraine, 01010, Kiev, M. Omelianovycha-Pavlenka, 1.

Kuzlo Mykola T., Dr. Tech. Sci., Professor, National University of Water Management and Environmental Engineering, Head of Department of Automobile Roads, Bases and Foundations, e-mail: kuzlo-@ukr.net, tel. +380362635140, Ukraine, 33028, Rivne, Chornovola Str., 49a, office 653.

Kuzminets Mykola P., Dr. Tech. Sci., Associate Professor, National Transport University, Head of Department of Computer, Engineering Drawing and Design, e-mail: kuzminecmp@ukr.net, tel. +380442849713, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boichuka Str., 42, office 705.

Kutsman Oleksander M., National Transport University, Senior Lecturer of Road Construction Materials and Chemistry Department, +380442859528, +380672960871, kutsmans@ukr.net, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boichuka Str., 42, office 113.

Lantukh-Liashchenko Albert I., Dr. Tech. Sci., Professor, National Transport University, Professor of Bridges and Tunnels Department, e-mail: albert.lantoukh@gmail.com, тел. +380442807978, +380952748025, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 228.

Levkivskyi Serhii A., National Transport University, Road vehicles department senior lecturer, e-mail: sergey_levkovsky@ukr.net, tel. +380978316547, Ukraine, 01010, Kiev, M. Omelyanovycha-Pavlenka Str., 1, office 226.

Lytvynenko Anatolii S., e-mail: asl.weise@gmail.com, tel. +380661325054.

Lukianenko Vladyslav V., Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Master's Degree of Department "Land Planning, Construction of Roads and Surveying", e-mail: gestantgloria@gmail.com, tel. +380637865824, Ukraine, 46010, Dnipro, Chernishevskoho Str., 24ª, office 421.

Makovska Yu. A., Assistant of Airport Department, National Transport University, e-mail: _uliazabarilo@ukr.net, +380442807073, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovicha-Pavlenka Str., 1, office 344.

Mamonov Konstiantyn A., Dr. Econ. Sci., Professor, O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Head of Department of Land Administration and GIS, e-mail: kostia_mamonov@mail.ru, tel. +380577073104, Ukraine, 61002, Kharkiv, Marshala Bazhanova Str., 17, office 409.

Marchuck Oleksandr V., Dr. Tech. Sci., Professor, National Transport University, Head of the Department of Strength of Materials and Engineering Science, e-mail: ksm_ntu@ukr.net, tel. +380994256775, Ukraine, 01010, Kiev, M. Omelyanovycha-Pavlenka Str., 1, office 113.

Mateichyk Vasyl P., Dr. Tech. Sci., Professor, National Transport University, Dean of the Automobile Mechanic Faculty, e-mail: wmate@ukr.net, tel. +380442807940, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1.

Mishutin Andrii V., Dr. Tech. Sci., Professor, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Head of Design, Construction and Operation of Road Department , e-mail: mishutin52@mail.ru, tel. +380487179921, Ukraine, 65029, Odesa, Didrikhsona Str., 4.

Mozhovyi Volodymyr V., Dr. Tech. Sci., Professor, National Transport University, Head of Road Building Materials and Chemistry Department, e-mail: mozgoviy@gmail.com, tel. +380442859528, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Boichuka Str., 42, office 109.

Musiienko Ihor V., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, Kharkiv National Automobile and Highway University, Associate Professor of Department of Survey and Engineering of Highways and Airfields, e-mail: rp@khadi.kharkov.ua, tel. +380577073732, Ukraine, 610002, Kharkiv, Yaroslava Mudroho Str., 25, office 362.

Mustiatsa Oleh N., Cand. Che. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Professor of Department of Road Construction Materials and Chemistry, e-mail: oleg.mustyatsa@gmail.com, tel. +380442754760, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boicuka Str., 42.

Onyshchenko Artur M., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department Road Construction Materials and Chemicals, e-mail: artur_onish@bigmir.net, tel. +380671442355, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boicuka Str., 42, office 107.

Pavlenko Nadiia V., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, Kharkiv National Automobile and Highway University, Assistant Professor of Department of Research and Design of Roads and Airfields, e-mail: pavlenko.nadya@gmail.com, tel. +3805727073732, Ukraine, Kharkiv, Yaroslava Mudroho Str., 25.

Petrashevskyi Oleh L., Dr. Tech. Sci., Professor, National Transport University, Professor of the Airports Department, e-mail: olp47@mail.ru, +380442807073, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 344.

Petrovych Volodymyr V., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Professor, National Transport University, Senior Researcher, Professor of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: Petrovichvv60@ukr.net, tel. +380442807338, +380442803942, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 136.

Popelysh Ivan I., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Airoports Department, e-mail: I_P_P@ukr.net, тел. +380442807073, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 344.

Pron Svitlana V., National Aviation University, Senior Lecturer of the Department of Aviation Works and Services, e-mail: pron@ukr.net, tel. +380506914169, Ukraine, Kiev, Druzhkivska Str., 6a, r. 6 .

Protsiuk Vitalii O., Lutsk National Technical University, Assistant Lecturer of Department of Highways and Airports, e-mail: protsai2@rambler.ru, tel. +380332767996, Ukraine, 43018, Lutsk, Lvivska Str., 75.

Ryzhuk Mykhailo V., Master, National University of Water Management and Environmental Engineering, e-mail: pngshka@gmail.com, Ukraine, 33028, Rivne, Chornovola Str., 49a.

Ridkozubov Oleksandr O., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Kharkiv National Automobile and Highway University, Associate Professor of Road Building and Maintenance Department, redckozubov.alexandr@mail.ru, +380972125987, Ukraine, 61002, Kharkiv, Yaroslava Mudroho Str., 25, office 255.

Rudenko Denys Ye., National Transport University, Magistrant of Ecology and Environmental Protection, e-mail: kafedra.ecology.ntu@gmail.com, tel. +380442885100, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1.

Rutkovska Inessa A., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Professor of Airports Department, e-mail: ria_ntu@ukr.net, tel. +380674431962, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 312.

Savenko Viacheslav Ya., Dr. Tech. Sci., Professor, Head of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: svi1310@ukr.net, tel. +380442803942, Ukraine, 01010, Kiev, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 218.

Sivko Volodymyr I., Dr. Tech. Sci., Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture, Professor of Department of Machinery and Equipment Manufacturing Processes, e-mail: professor_sivko@mail.ru, tel. +380442433196, Ukraine, 03037, Kyiv, Prospect Povitroflotskyi, 31.

Sidun Yurii V., National University «Lviv Polytechnic» , Assistant of the Department "Roads and Bridges", e-mail: siduniurii@gmail.com, tel. 0684638840, Ukraine, 79013, Lviv, Karpinskoho Str., 6, building 2, office 306.

Sokolova Natalia M., Cand. Econ. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: nata_ns@ukr.net, tel. +380442807909, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 206.

Soloviova Olena O., Cand. Econ. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, National Aviation University, Associate Professor of the Department of Aviation Works and Services, e-mail: elen_5211@mail.ru, tel. +380679139378, Ukraine, Kiev, Borshchahivska Str., 173/187, r. 102.

Solodkyi Serhii., Dr. Tech. Sci., Professor, National University «Lviv Polytechnic», Head of the Department «Roads and Bridges», e-mail: s.solodkyy@ukr.net, tel. +380322582517, Ukraine, 79013, Lviv, Karpinskoho Str., 6, building 2, office 306.

Slavinska Olena S., Dr. Tech. Sci., Professor, Dean of Transport Construction Faculty, e-mail: elenaslavin9@gmail.com, tel. +380442806543, Ukraine, 01010, Kiev, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 213.

Smirnova Natalia V., Dr. Tech. Sci., Professor, Kharkiv National Automobile and Highway University, Professor of Department of Construction and Maintenance of Highways, e-mail: NataliaV-Smirnova@yandex.ru, tel. +3805727073780, Ukraine, Kharkiv, Yaroslava Mudroho Str., 25.

Snytko Valerii P., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Professor of Bridges and Tunnels Department, tel. +380442807978, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 228.

Starynets Ludmyla M., National Transport University, Graduate Specialty "Ecology and Environment", e-mail: kafedra.ecology.ntu@gmail.com, tel. +380442885100, Ukraine, 01010, Kiev, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1.

Tymchenko Olha N., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Kharkov National Automobile and Highway University, Associate Professor the Department of Researches and Designing Roads and Airports, e-mail: olga.tym4enko@yandex.ru, tel. +30958307968, Ukraine, 61002, Kharkiv, Ya. Mudroho Str., 25, office 351.

Tkachuk Serhii H., Dr. Tech. Sci., Professor, National transport university, Head of Bridges and Tunnels Department, e-mail: most.ntu@gmail.com, tel. +380442807978, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 229.

Tolmachov Sergiy M., Dr. Tech. Sci., Professor, Kharkov national automobile und highway University, Professor of Department of the Technology of Road Building Materials and Chemistry, e-mail: Tolmach_serg@mail.ru, тел. +380577073742, Ukraine, 61002, Kharkiv, Yaroslava Mydroho Str., 25.

Uzhvieva Olena M., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, Kharkov National Automobile and Highway University, e-mail: lena_uzhvieva_72@mail.ru, tel. +380577073732, Ukraine, 61002, Kharkiv, Yaroslava Mydroho Str., 25, office 351.

Usychenko Olena Yu., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Professor of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: fbbk@yandex.ua, tel. +380442803942, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 218.

Fedii Inna S., National Transport University, Postgraduate Student of Airports Department, e-mail: fediy_is@ukr.net, tel. +380678776762, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Boychuk Str., 36, r. 210.

Hadzhi Rihab, Dr. Tech. Sci., Professor of Department of Earth Sciences, Institute of Architecture and Earth Sciences, Sétif-1 University, LESRMHAO laboratory, University of Tebessa, e-mail: hadjirihab@gmail.com, tel. 00213561474453, Sétif, 19000, Algeria.

Khrutba Viktoriia O., Dr. Tech. Sci., Professor, National Transport University, Head of the Department of Ecology and Life Safety, e-mail: Khrutba.Viktoriia@gmail.com, тел.+38(099) 262 -10-97, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1.

Tsiuman Mykola P., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Engines and Heating Engineering, e-mail: tsuman@ukr.net, tel. +380442804716, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1.

Shevchuk Ivan O., National Transport University, Postgraduate Student, Department of Engines and Heating Engineering, e-mail: she_vchuk@mail.ru, tel. +38044280 4716, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1.

Shterndok Ernest S., O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, graduate student of Department of Land Administration and GIS, e-mail: shterndok@ukr.net, tel.: +380934289234, Ukraine, 61002, Kharkiv, Marshala Bazhanova Str., 17.

Yatsenko Ihor V., Cand. Econ. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Economics Department, tel. +3800442803016, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 313.