

РОЗВІДУВАННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ ДОРІГ ТА ПЕРЕХОДІВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ

УДК625.7

Богаченко М. В., Гончаренко М.В.

ЗАСТОСУВАННЯ ВИТРАТ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ РОЗРАХУНКАХ БУДІВНИЦТВА ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ ДОРІГ

Анотація. В статті автори розглядають питання визначення транспортних витрат, котрі необхідно враховувати при виконанні техніко-економічних розрахунків і пропонують метод їх визначення.

Ключові слова: автомобільна дорога, реконструкція, дорожньо-транспортні витрати, транспортні витрати, «корисність» автомобільної дороги.

Анотация. В статье авторы рассматривают вопрос определения транспортных расходов, которые необходимо учитывать при выполнении технико-экономических расчетов и предлагают метод их определения.

Ключевые слова: автомобильная дорога, реконструкция, дорожно-транспортные расходы, транспортные расходы, «полезность» автомобильной дороги.

Annotation. In this article the authors discuss the determination of transportation costs, which must be considered when performing feasibility calculations and propose a method for their determination.

Key words: highway, reconstruction, road transport costs, transport costs, the "utility" of the road.

Питання реконструкції сьогодні є досить актуальним, ними займалися досить велика кількість вчених, таких як: Бабков В.Ф., Хом'як Я.В., Пальчик А.М., Старовойда В.П., Білятинський О.А., Поліщук В.П. та інші.

Обґрунтування реконструкції автомобільної дороги виконується на основі розгляду багатьох чинників, таких, наприклад, як графіків коефіцієнтів аварійності, графіків коефіцієнтів безпеки руху, графіків пропускної здатності тощо. Як основа для вирішення питання щодо призначення термінів проведення робіт з реконструкції автомобільних доріг розглядається величина існуючої інтенсивності руху транспортних засобів. Останній чинник є основним для вирішення питання щодо зміни технічної категорії автомобільних доріг.

Вирішальним аргументом для призначення реконструкції автомобільної дороги є техніко-економічні розрахунки, на основі яких встановлюють як необхідність проведення робіт з реконструкції так і економічні показники, у тому числі і термін окупності капітальних витрат на реконструкцію ділянки автомобільної дороги або дороги в цілому.

При проведенні техніко-економічних розрахунків прийнято враховувати дорожньо-транспортні витрати - як питомі так і сумарні. На сьогодні не є складним питанням визначення дорожньої складової - необхідних коштів на реконструкцію ділянки автомобільної дороги.

Питання визначення транспортної складової на сьогодні не розглядається і не застосовується в практиці проектних організацій з декількох причин.

По-перше, майже відсутні організації - перевізники з державною формою власності, для яких раніше був сенс визначати постійні та змінні витрати на перевезення одиниці вантажу або пасажирів. З цієї ж причини неможливо встановити обсяги перевезень вантажів та пасажирів сучасними організаціями-перевізниками.

По-друге, за результатами виробничої діяльності великої кількості дрібних перевізників неможливо встановити відрахування до державного та місцевих бюджетів, які можна було б застосувати у техніко-економічних розрахунках.

Безумовно, що наявність автомобільних доріг в районі приносить не лише соціальний ефект а також і економічний. Отже, якщо автомобільна дорога приносить ефект, то можна сказати, що дорога має і певну «корисність».

Підхід до визначення «корисності» автомобільної дороги, але не з таким визначенням, використовується давно та знайшов своє відображення в роботах

професора Хом'яка Я.В. при розрахунках необхідності влаштування додаткових ланок між пунктами при проектуванні оптимальної мережі автомобільних доріг. Але практичне застосування такого підходу на сьогодні стало неможливим з вищезначених причин.

Пропонується визначати корисність автомобільних доріг, а цю корисність ми можемо також визначати при техніко-економічних розрахунках щодо необхідності проведення робіт з реконструкції автомобільних доріг, на підставі розгляду виключення автомобільної дороги з мережі доріг в певному регіоні. Для вирішення таких задач можливо розглядати два варіанти: порівняння відсутньої дороги з ґрунтовою дорогою та порівняння з альтернативним проїздом по іншому маршруті.

Порівняння з ґрунтовою дорогою має певні недоліки. Головний з них полягає в тому, що ґрунтова дорога не дає змоги рухатись автомобілям протягом всього року на відміну від автомобільної дороги з твердим покриття. Тому ми розглядаємо варіант порівняння з іншим (об'їзним) проїздом.

Розглядаються лише такі чинники, які ми можемо розрахувати на підставі існуючих нормативних актів та технічних документів.

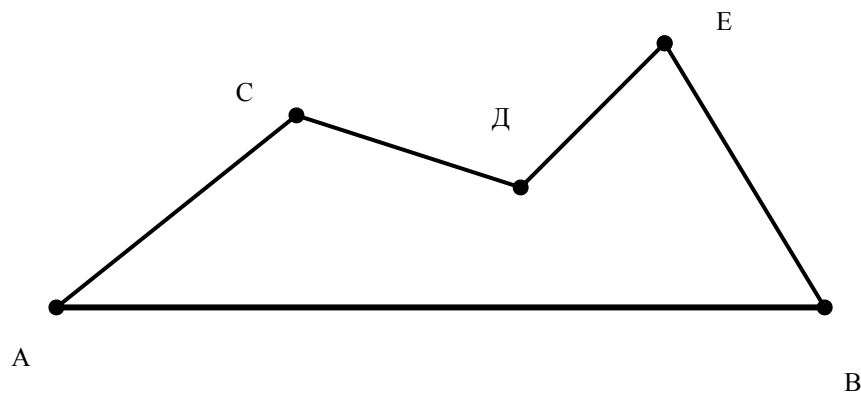


Рисунок 1 – Розрахункова схема об'їзду
дороги

На рис. 1 схематично позначена дорога, яка з'єднує пункти А та В. У разі відсутності такої дороги від пункту А до пункту В можна дістатись за маршрутом А-С, С-Д, Д-Е та Е-В. Довжина такого об'їзного маршруту буде завжди більшою ніж відстань між пунктами А та В.

Час проїзду по маршруту А-В дорівнює, год:

$$t = \frac{l_{A-B}}{v_{AB}}, \quad (1)$$

де l_{A-B} – відстань між пунктами А та В, км;

v_{A-B} – фактична, або дорожня швидкість автомобілів транспортного потоку, км/год.

У разі використання об'їзного маршруту автомобілями, які мають рухатись від пункту А до пункту В, швидкість руху буде меншою, що пояснюється збільшенням інтенсивності руху: до інтенсивності руху на маршруті А-С-Д-У-В додатково додається інтенсивність руху на маршруті А-В. При цьому, сумарна інтенсивність руху не повинна перевищувати величину пропускної здатності.

Залежність між швидкістю руху автомобілів транспортного потоку та інтенсивністю руху має такий вигляд:

$$v = v_t - \alpha N, \quad (2)$$

де v_t - середня технічна швидкість автомобілів певного типу, км/год;

α - коефіцієнт, що дорівнює 0,016, 0,012 та 0,008 відповідно для 20%, 50% та 80% легкових автомобілів в потоці;

N - інтенсивність руху транспортних засобів, авт./год.

Тоді час проїзду по об'їзному маршруту становитиме:

$$t_o = \frac{l_{АСДЕВ}}{v}, \quad (3)$$

Різниця часу проїзду по короткому та довгому маршрутах становитиме:

$$\Delta t = t_o - t, \quad (4)$$

Різниця шляху по короткому та довгому маршрутах становитиме :

$$\Delta l = l_{АСДЕВ} - l, \quad (5)$$

Тоді витрати палива автомобілів транспортного потоку для проїзду різниці шляху за рік становитимуть:

$$B_{nn} = D \cdot \Delta l \cdot N \cdot B_{ПЛАЛ} \cdot \frac{q_{сер}}{100}, \quad (6)$$

де D – кількість днів у році;

N – інтенсивність руху автомобілів, авт./добу;

$B_{ПЛАЛ}$ – середньозважена вартість 1 л палива, грн.;

$q_{сер}$ – середньозважені, з врахуванням складу транспортного потоку, витрати пального автомобілями, л/100 км.

Додаткова вартість від перевезення вантажів та пасажирів на різниці шляху за рік визначається за наступною залежністю:

$$B_{ПЕР} = D \cdot \Delta l (N_B \cdot B_B + N_A \cdot П \cdot B_{П}), \quad (7)$$

де N_B – інтенсивність руху вантажних автомобілів, авт./добу;

B_B – середньозважена вартість перевезення вантажу, грн./км;

N_A – інтенсивність руху автобусів, авт./добу;

$П$ – середньозважена пасажировмісність автобусів, пас;

$B_{П}$ – середньозважена вартість перевезення пасажирів на 1 км шляху, грн./км.

Додаткова вартість від втрат часу водіями та пасажирями на різниці шляху за рік визначається за наступною залежністю:

$$B_{час} = D \cdot \Delta t \cdot B_2 (N + 0,75 N_A \cdot П), \quad (8)$$

де B_2 – середня годинна оплата праці працівника, грн./год.

Необхідність проїзду довшого шляху скорочує час між проведенням чергового технічного обслуговування автомобілів, що викликає необхідність у додаткових коштах:

$$B_{ТО} = \frac{D \cdot \Delta l \cdot N \cdot B_o}{S}, \quad (9)$$

де B_o – середньозважена вартість технічного обслуговування автомобілів, грн.;

S – середньозважений пробіг автомобілів до технічного обслуговування, км.

Сумарні витрати за рік, викликані необхідністю проїзду по довгому маршруту при відсутності короткої автомобільної дороги будуть визначатись:

$$B = B_{nn} + B_{ПЕР} + B_{час} + B_{ТО}, \quad (10)$$

Витрати за розрахунковий час, що дорівнюють вартості автомобільної дороги короткого маршруту, тобто, та дорога, що оцінюється, визначаються:

$$B_{СУМ} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{B_i}{(1+a)^i}, \quad (11)$$

де B_i – витрати за i -й рік, грн.;

a – ставка дисконтування.

Висновок

Використання такого підходу дозволяє враховувати отримані значення в якості транспортних складових перевезень для виконання техніко-економічних розрахунків.

Література

1. ДБН В.2.3 – 4 – 2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги.
2. Хомяк Я.В. Проектирование сетей автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1983. – 207 с.
3. Проектирование и строительство автомобильных дорог: Справочник/ В.И.Заворицкий, В.П. Старовойда, А.А.Белятинский и др. – К.: Техника, 1996. – 382 с.
4. Бабков В.Ф. и др. Реконструкция автомобильных дорог. – М: Транспорт, 1978. – 263 с.
5. Богаченко В.М., Пальчик А.М. Методичні вказівки до практичних та лабораторних робіт з дисципліни «Техніко – економічні аспекти в проектуванні транспортного будівництва». – К.: НТУ, 2011. – 45 с.
6. Пальчик А.М., Старовойда В.П. Критерій визначення необхідності реконструкції автомобільних доріг // Безпека дорожнього руху України. – 2001. – Вип.1. – С. 57 – 60.

Ряпухін В.М., канд. техн. наук, Нечитайло Н.О.

ВИКОРИСТАННЯ КРИТЕРІЮ МІЦНОСТІ ПИСАРЕНКО – ЛЕБЕДЕВА (2) ДЛЯ ОЦІНКИ МІЦНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ НЕЖОРСТКИХ ДОРОЖНИХ ОДЯГІВ

Анотація. У статті проаналізовані граничні стани дорожньої конструкції, розглянутий критерій міцності для розрахунку асфальтобетонних шарів як термопластичного матеріалу і визначені розрахункові характеристики для аналізу асфальтобетону за критерієм міцності Писаренко – Лебедева (2).

Ключові слова: граничні стани дорожніх конструкцій, критерій міцності, асфальтобетон як термопластичний матеріал, міцність на стиск, міцність на розтяг, міцність при випробуванні на крутіння.

Аннотация. В статье проанализированы предельные состояния дорожной конструкции, рассмотрен критерий прочности для расчета асфальтобетонных слоев как термопластичного материала и определены расчетные характеристики для анализа асфальтобетона по критерию прочности Писаренко – Лебедева (2).

Ключевые слова: предельные состояния дорожной конструкции, критерий прочности, асфальтобетон, как термопластичный материал, прочность на сжатие, прочность на растяжение, прочность при испытании на кручение.

Annotation. The ultimate states of road constructions are analyzed in the article, the strength criterion for the asphalt concrete calculation, as thermoplastic material, is considered and calculation descriptions for the asphalt concrete analysis on the strength criterion of Pisarenko – Lebedeva (2) are defined.

Key words: ultimate stress, strength criterion, asphalt concrete as thermoplastic material, tension strength, compression strength, swirl strength test.

Дорожні конструкції розраховують за методикою, яка ґрунтується на розрахунках за граничними станами. Під граничним станом дорожньої

конструкції будемо розуміти такий її стан, в якому вона вже не може спиратися зовнішнім навантаженням чи впливам, або перестає задовольняти необхідним експлуатаційним вимогам.

Основні види граничних станів:

- перший граничний стан – по несучої здатності (міцність, стійкість при зміні напружень);
- другий граничний стан – по розвитку недопустимих деформацій (прогин, перекис та інше);
- третій граничний стан – по утворенню або розкриттю тріщин.

Розрахунок дорожніх одягів засновано на трьох критеріях граничного стану:

- пружному прогині дорожнього одягу під навантаженням;
- опорі згину монолітних шарів;
- опорі зсуву ґрунтів і шарів з малозв'язних матеріалів.

Теорія міцності і метод розрахунку нежорсткого дорожнього одягу, так само як і будь-яких інших інженерних споруд, виявляються достатньо ефективними лише в тому випадку, якщо в належній мірі враховані основні фізичні явища, що виникають в конструкції при дії на неї навантажень і природних чинників. Тільки якщо розрахункова схема і критерії граничного стану, закладені в методику розрахунку, правильно відображають дійсний напружений стан, а також природу і характер деформацій, що мають місце в окремих елементах конструкцій, можна чекати задовільної відповідності між результатами розрахунку і поведінкою дорожнього одягу в експлуатації.

Одяг з покриттями капітального типу на дорогах вищих категорій, до яких пред'являють високі вимоги відносно рівності і довговічності, повинні проектуватися так, щоб на них не виникали залишкові деформації під дією експлуатаційних навантажень.

Тільки за умови, якщо дорожній одяг працює у стадії зворотних деформацій при всіх можливих станах вологості і температурах, може бути гарантовано збереження протягом тривалого терміну високих експлуатаційних якостей. Тому обов'язковим критерієм міцності при розрахунку дорожніх конструкцій слід рахувати досягнення місцевої граничної рівноваги зі зсуву в підстилаючому одяг ґрунті або в малозв'язному матеріалі одного з конструктивних шарів. Але однієї цієї умови ще не досить. Річ у тому, що в монолітних шарах дорожнього одягу – з укріплених цементом матеріалів,

асфальтобетону і ін. – в процесі багатократних прогинань під навантаженням може в певних умовах змінитися структура матеріалу, унаслідок чого порушиться монолітність шарів, і у зв'язку з цим істотно зростуть напруги у нижче розташованих елементах конструкції, що можуть викликати розвиток тут не передбачених розрахунком пластичних зсувів [1]. З цього виходить, що необхідно при проектуванні одягу з вдосконаленими покриттями обов'язково дотримуватися умови, гарантуюче збереження суцільності монолітних шарів одягу.

Метод розрахунку дорожнього одягу ділиться на два самостійні розрахунки.

Перший – призначений для дорожнього одягу, спроектованого на роботу в пружно-пластичній стадії. Граничний стан в даному випадку – накопичення максимально допустимої деформації. При розрахунках тут повинні враховуватися в'язко-пружно-пластичні властивості ґрунту і матеріалів.

Другий – для дорожніх одягів, що працюють у стадії зворотних деформацій. Як розрахункова схема тут використовується модель шаруватого пружного напівпростору. За критерії граничного стану приймають в даному випадку: досягнення місцевої граничної рівноваги зі зсуву в підстилаючому ґрунті або в малозв'язних матеріалах одягу; виникнення гранично допустимих розтягуючих напруг при вигині в монолітних шарах одягу.

Особливий інтерес представляє граничний стан шарів з монолітних матеріалів. Опір руйнуванню є основною характеристикою монолітного матеріалу. Встановлено, що залежно від умов навантаження і властивостей матеріалів одні з них руйнуються миттєво, а руйнування інших починає розвиватися задовго до досягнення максимального навантаження і повністю закінчується лише при зниженні напруги до нуля.

Граничним станом монолітних матеріалів, які повинні працювати у стадії зворотних деформацій, є початкова стадія зміни структури матеріалу, що виражається в порушенні окремих зв'язків під дією розтягуючих напруг.

Опір згину монолітних шарів і опір зсуву ґрунтів і шарів з малозв'язних матеріалів є міцностними характеристиками дорожнього одягу. Граничний прогин дорожнього одягу є комплексною характеристикою деформативної здатності дорожнього одягу і визначає відповідність необхідної монолітності та рівності покриття [1].

При розрахунку на міцність дорожніх одягів з асфальтобетонним покриттям необхідно враховувати особливості поведінки їх під час експлуатації в залежності від температури і вологості всіх шарів. Покриття найбільш напружено працює при низьких позитивних температурах, ґрунт земляного полотна і шари одягу із малозв'язних матеріалів сприймають великі напруження при підвищених весняних температурах, коли модуль пружності асфальтобетону істотно знижується, а вологість ґрунту зростає. Тому при розрахунку власне асфальтобетонного покриття на розтяг при згині характеристики його повинні відповідати низьким весняним температурам. При розрахунку шарів із малозв'язних матеріалів, а також ґрунту на опір зсуву модуль пружності асфальтового бетону покриття повинний відповідати весняним підвищеним температурам.

Асфальтобетон, що працює в широкому діапазоні температур, може знаходитися в різних станах. При низьких негативних температурах він поводить, як крихке тіло, при високих позитивних як термопластичне [2]. Виходячи з цього, відзначаємо, що одному матеріалу властиві різні схеми руйнування. Для крихких матеріалів характерне руйнування відривом, для пластичних – зріз або зсув [3]. Для асфальтобетону в крихкому стані – це розвиток тріщин у розтягнутої зоні, у пластичному стані – це внутрішні мікрозсуви, які накопичуються і призводять до деформації покриття. Крім того, асфальтобетонам, особливо у пластичному стані, характерні різні показники міцності на розтяг і стиск.

Тому розрахунок асфальтобетонних шарів недопустимо вести з врахуванням однієї схеми руйнування. Відомо, методи розрахунку монолітних шарів дорожніх одягів на міцність в більшості країн і на Україні по критерію згину базується на 3 граничному стані (виникнення і розкриття тріщин), передбачають застосування першої або другої теорії міцності на допустимі розтягуючі напруження як для крихкого матеріалу.

Але слід визнати, що для асфальтобетонів у різних умовах слід застосовувати різні схеми руйнування. Оскільки, сьогодні при розрахунку асфальтобетону розглядається єдина схема руйнування і теорія міцності, як для крихкого матеріалу, то виникла необхідність вибрати теорію для розрахунку асфальтобетону, як термопластичного матеріалу. Для асфальтобетону як структурно – неоднорідного матеріалу не підходять класичні і навіть деякі узагальнюючі теорії міцності.

Проаналізував сучасні теорії міцності, прийшли до висновку, що найбільш прийнятною для розрахунків такого типу матеріалів (композитних з коагуляційною структурою, з різними показниками міцності при розтягу і стиску) є теорії міцності, які відносяться до групи енергетичної теорії міцності.

З урахуванням структурно-текстурних особливостей асфальтобетону, як твердого тіла, найбільш придатною буде узагальнююча теорія Писаренко – Лебедева (2), яка базується на енергетичній теорії міцності і враховує: різний опір асфальтобетону стиску і розтягу, направленість девіатора напружень і структурну неоднорідність матеріалу. Розглядається в'язко-пружне деформування [19].

$$\sigma_e = \chi \sigma_{e4} + (1 - \chi) \sigma_1 A^{\left(1 - \frac{3\sigma_{сеп}}{\sigma_{e4}}\right)}, \quad (1)$$

$$\text{де } \chi = \frac{|\sigma_p|}{|\sigma_{cm}|}$$

$|\sigma_p|$ – допустимі напруження на розтяг;

$|\sigma_{cm}|$ – допустимі напруження на стиск;

σ_{e4} – еквівалентне напруження по 4 (енергетичній) теорії міцності.

$$\sigma_{e4} = \sqrt{\frac{1}{2}((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)}, \quad (2)$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – головні напруження;

$$\sigma_{сеп} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3},$$

A – константа, яка залежить від характеру дефектів, що є у матеріалі, тобто відображає статистичну суть структурно-неоднорідного матеріалу.

Якщо прийняти за третє випробування крутіння параметр A буде визначатися наступним чином:

$$A = \frac{|\sigma_p| - \sqrt{3} \chi \tau_\kappa}{(1 - \chi) \tau_\kappa}, \quad (3)$$

де τ_k – граничне значення напруження при крутінні.

Застосування теорії Писаренко – Лебедева (2) не суперечить сучасним теоріям розрахунку на міцність асфальтобетону, відповідає фізиці процесу і в визначених межах НДС асфальтобетону є адекватною [5, 6].

Для оцінки міцності асфальтобетонних шарів покриття при високих експлуатаційних температурах за критерієм міцності Писаренко – Лебедева (2) виділимо дві групи вихідних для відповідних залежностей (1, 2, 3).

До першої групи віднесемо параметри, що мають розрахунково-теоретичний план. До другої – експериментальні показники міцності матеріалу (асфальтобетону). До параметрів першої групи відносяться головні напруження при об'ємному напруженому стані від дії комплексного навантаження ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) та еквівалентні напруження за енергетичною теорією міцності або за Мізесом.

Для аналізу напружено-деформованого стану шарів покриття необхідно визначити теоретичну базу і математичний апарат за допомогою якого вести розрахунки.

Для визначення тензора напружень і головних напружень необхідно застосовувати рішення механіки деформуємого твердого тіла. Це може бути лінійна або нелінійна теорії пружності або рішення для в'язко-пружно-пластичного тіла. Найбільш прийнятним математичним апаратом є метод кінцевих елементів.

Основним параметрами, що необхідні для розрахунків, є тип і характер навантаження, час дії навантаження і розрахункова конструкція покриття.

Друга група параметрів критерію міцності залежить від фізико-механічних характеристик асфальтобетону при розрахунковій температурі. Відповідно до фізичного і геометричного сенсу критерію (теорії) міцності в основі теорії крім головних напружень значне місце посідають міцнісні характеристики асфальтобетону по трьом видам випробувань. Випробування на простий розтяг і стиск і випробування на крутіння асфальтобетону:

- міцність на стиск при розрахунковій температурі (+ 50 °С) – R_{cm}^{50} ;
- міцність на розтяг при розрахунковій температурі (+ 50 °С) – R_{poz}^{50} ;
- міцність при випробуванні на крутіння – $\tau_{кр}^{50}$.

Це основні фізико-механічні характеристики асфальтобетону при оцінці міцності асфальтобетонів на зсув, як термопластичного матеріалу.

Допоміжними характеристиками можуть бути коефіцієнт внутрішнього тертя ($\text{tg}\varphi$), зчеплення (C).

Низка дослідників вивчала поведінку асфальтобетонів при простому стиску [7, 8, 9, 10, 11, і інш.]. Отримані дані, в зв'язку з тим що випробування проводилися по єдиній методиці [12] можуть бути співставлені.

Математична обробка масиву даних свідчить про те, що в діапазоні температур $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ міцність на стиск асфальтобетону лінійно залежить від температури. Була отримана наступна залежність (4):

$$R_{cm}^T = R_{cm}^{50}(2,4996 - 0,03024T_i), \quad (4)$$

де R_{cm}^T - міцність на стиск асфальтобетонного шару при температурі шару T_i ;

R_{cm}^{50} - міцність на стиск при температурі $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Даних про дослідження міцності асфальтобетону на розтяг, особливо при температурах $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$, досить не багато. Пов'язано це зі складністю проведення експерименту. Для дослідження міцності і поведінки асфальтобетону на розтяг при температурах більше $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ стандартні методи випробування балочок на згин не підходить. Та, крім того, це зовсім не простий розтяг. Тому, як правило, досліджують на одновісний розтяг спеціальні балочки. Наведені в літературних джерелах дані про поведінку асфальтобетонів на розтяг [7, 8, 13] свідчать про те, що між міцністю на стиск і міцністю на розтяг існує певна залежність. Узагальнюючи, можна навести по даним вказаних раніше авторів, наступне: за даними Горелишева М.В. при температурі $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ відношення $R_{cm} / R_{роз} = 3,4 - 5,2$ в середньому 4,4.

Іноземцев А.О. – відношення $R_{cm} / R_{роз} = 2,6 - 2,9$, середнє 2,75.

При температурі $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ $R_{cm} / R_{роз} = 8,4 - 9,1$, в середньому 8,7.

Випробування зразків асфальтобетону на розтяг більш чітко ніж при стиску виявляє індивідуальні особливості асфальтобетонних сумішей як по зерновому складу, так і по вмісту і якості бітуму.

Так при одній і тій же міцності на стиск міцність на розтяг може відрізнятись до 20 %.

Пов'язано це з тим, що міцність на розтяг не залежить від поведінки мінерального каркасу асфальтобетону, а цілком залежить від адгезійно-когезійних зв'язків у плівках в'язучого і на поверхні мінеральних часток.

Тому, мабуть, стандартизувати і нормувати міцність на розтяг складніше ніж на стиск.

Таким же чином реагує на склад асфальтобетонної суміші і марку бітуму випробування на крутіння. Випробування на крутіння активно застосовується для оцінки міцності асфальтобетону на кафедрі технології дорожно-будівельних матеріалів під науковим керівництвом проф. Золотарьова В.О. [9, 10, 11, 14]. Багаточисельні дані випробування на крутіння приводить Іноземцев А.О. [8].

Випробування асфальтобетону на крутіння є дещо специфічним. По-перше – це моделювання випробування на зсув, з другого боку крутіння називають “випробуванням на розрив”. Методики випробування на крутіння відпрацьована на кафедрі ТДБМ ХНАДУ [9, 10, 11]. Аналізуючи механізм взаємодії зовнішніх і внутрішніх сил на поверхню зсуву у середині асфальтобетону проф. Золотарьов В.О. відмічає, що як би між окремими площинами не існувало сили зчеплення, то при відсутності вертикального (нормального) тиску, сила, що опирається зсуву дорівнювала б нулю.

Т.я. у асфальтобетоні діють сили зчеплення, по аналогії, розглядають їх дію, як фіктивну нормальну силу, що зчіплює (стискає) між собою поверхні зсуву. В цьому випадку, при відсутності фактичного вертикального навантаження сила, що потрібна для зсуву площин дорівнює:

$$F = \mu N_0, \quad (5)$$

де μ – коефіцієнт внутрішнього тертя;

N_0 – фіктивна нормальна сила або сила необхідна для розриву тіла.

Або в напруженнях можна записати наступним чином:

$$\tau_0 = \mu P_0, \quad (6)$$

де τ_0 – міцність асфальтобетону на зсув (всі позначення дані по першоджерелу [10]) при відсутності вертикального тиску.

P_0 – міцність асфальтобетону на розрив, зчеплення.

При наявності зовнішнього нормального до площини тиску P_e опір зсуву визначається наступним чином:

$$\tau = P_e \mu + P_0 \mu \quad (7)$$

Аналогічну залежність у 60-і роки минулого століття наводить проф. Іванов М.М.

$$\sigma_{zc} = P \operatorname{tg} \varphi + C_1 + \Sigma \quad (8)$$

Всі наведені вирази відповідають біноміальному закону Б.В. Дерягіна. Слід звернути увагу на наступне:

1. P_0 – міцність на розрив, як сила, що обумовлена силами зчеплення, зчіплює, зв'язує, притискає одну поверхню сковзання до іншої;
2. при зсуві P_0 викликає у тілі сили внутрішнього тертя (μP_0), що опираються зсуву;
3. зчеплення діє в середині асфальтобетону по всіх напрямках в тому числі і паралельно зсуваючій силі або напруженням. Але напрямом його протилежній зсувній силі, тобто це буде сила опору. В такому випадку треба вважати, що крім сил внутрішнього тертя $[\operatorname{tg} \varphi (P_e + P_0)]$ буде діяти також додаткова сила опору, що дорівнює зчепленню в асфальтобетоні (міцність на розрив) (P_0)

$$\tau = [\operatorname{tg} \varphi (P_e + P_0) + P_0] \quad (9)$$

При відсутності зовнішнього нормального тиску (P_e):

$$\tau_0 = \operatorname{tg} \varphi P_0 + P_0 = P_0 (1 + \operatorname{tg} \varphi) \quad (10)$$

і міцність на розрив P_0 , що з достатньою точністю дорівнює міцності на простий розтяг буде:

$$P_0 = \frac{\tau_0}{1 + \operatorname{tg} \varphi} \quad (11)$$

Крім того, якщо провести випробування без вертикального навантаження для визначення τ_0 (10) і з вертикальним навантаженням P_e (11) то за різницею (10) і (11) можна знайти коефіцієнт внутрішнього тертя:

$$\tau = \operatorname{tg} \varphi P_g + \operatorname{tg} \varphi P_0 + P_0$$

–

$$\tau_0 = \operatorname{tg} \varphi P_0 + P_0$$

$$\tau - \tau_0 = \operatorname{tg} \varphi P_g$$

звідки $\operatorname{tg} \varphi = \frac{\tau - \tau_0}{P_g}$ (12)

Таким чином, якщо провести випробування на крутіння з вертикальним навантаженням P_g і без нього можна визначити коефіцієнт внутрішнього тертя і міцність на розрив (на розтяг). Для перевірки цього припущення зробимо обробку і розрахунки за даними А.О. Іноземцева, В.О. Золотарьова, Г.Р. Фоменко та інших [8, 10, 11].

За А.О. Іноземцевим суміш №1 дрібнозернистий асфальтобетон, вміст бітуму 6,5 – 7 %, при + 50 °С, міцність на стиск $R_{cm} = 1,65$ МПа, $R_{роз} = 0,195$ МПа, $\sigma_{кр} = 0,29; 0,3; 0,45; 0,35$ МПа (на бітумах з penetрацією 60...90), $\sigma_{кр.серед} = 0,374$ МПа.

За даними Іноземцева А. О. [8] при + 50 °С міцність на крутіння дрібнозернистого асфальтобетону з пінтрацією бітуму 60 – 65 ставить $\sigma_{кр} = 0,3...0,35$ ($\sigma_{кр.серед} = 0,325$), а по Цихлеру міцність на розтяг $R_{роз} = 0,23...0,24$ МПа.

За даними В.О. Золотарьова [10] для дрібнозернистого асфальтобетону з вмістом щебеню фракції 10-15 мм – до 40 % коефіцієнт внутрішнього тертя складає 0,46 – 0,5.

Зробимо перевірочні розрахунки.

$$\sigma_{кр} = 0,29...0,45 \quad (\sigma_{кр.серед} = 0,347 \text{ МПа})$$

$$\mu = 0,46 - 0,5$$

$$P_0 = R_{роз} = \frac{\sigma_{кр}}{1 + \mu}$$

$$\mu = 0,46; \quad \sigma_{кр} = 0,29 \quad P_0 = 0,198 \text{ МПа} \quad \mu = 0,5 \quad P_0 = 0,19$$

$$\sigma_{кр} = 0,45 \quad P_0 = 0,308 \text{ МПа} \quad P_0 = 0,3$$

$$\sigma_{кр} = 0,347 \quad P_0 = 0,24 \text{ МПа} \quad P_0 = 0,23$$

По Іноземцеву А.О. $R_{роз} \approx 0,2$ МПа тобто в середньому відхилення складає 15 %. Для асфальтобетонів на бітумі з penetрацією 60 – 65

$$\frac{\sigma_{кр}}{1 + \mu} = \frac{0,325}{1 + 0,40} = 0,223 \text{ МПа}$$

За даними Цихлера $R_{роз} = 0,23 - 0,24$ (середня 0,235), відхилення 5 %.

Таким чином, визначити міцність на розрив (розтяг) можна за результатами випробування на крутіння.

Література

1. Дорожній одяг нежорсткого типу : ВБН В.2.3-218-186 2004 – Офіц. вид – К. : Державна служба автомобільних доріг України «Укравтодор», 2004 – 176 с. – (Національний стандарт України).
2. Писаренко Г.С. Сопротивление материалов / Писаренко Г.С. – К.: Вища школа, 1979. – 696с.
3. Каминский А.А. Механика разрушения в'язко-упругих тел. / Каминский А.А. – К.: Наукова думка, 1980. – 160 с.
4. Писаренко Г.С. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. / Писаренко Г.С., Лебедев А.А. – К.: Наукова думка, 1976. – 415 с.
5. Смирнов А.В. Прикладная механика дорожных и аэродромных конструкций: учеб. пособие. / Смирнов А.В. – Омск: Издательство ОмГТУ, 1993.- 182 с.
6. Ряпухін В.М. Вибір оптимальної теорії міцності для асфальтобетону як термопластичного матеріалу / В.М.Ряпухін, Н.О. Нечитайло // Сб. науч. трудов ДонГТУ. – Алчевск: ДонГТУ, 2011. – Вып.33. – с.284–290.
7. Веренько В.А. Дорожные композитные материалы. Структура и механические свойства / Веренько В.А. под ред. Леоновича И.Н. – Минск : Наука и техника, 1993 – 245 с.
8. Иноземцев О.А. Бітумно-мінеральні матеріали./ Иноземцев О.А. - . Ленинград : Стройиздат, 1972 – 151 с.
9. Золотарев В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов./ Золотарев В.А – М. : изд. Высшая школа, 1972 – 114 с.
10. Золотарев В.А. Исследование свойств асфальтобетонов различной макроструктуры.: диссертация на соискание ученой степени к.т.н./ Золотарев Виктор Александрович. – Харьков (ХАДИ), 1967 – 250 с.
11. Фоменко Г.Р. Исследование текстурно-механических свойств асфальтобетонов на битумах различной вязкости.: диссертация на соискание ученой степени к.т.н. / Фоменко Галина Романовна. – Харьков(ХАДИ), 1980. – 217 с.
12. Матеріали на основі органічних в'язучих для дорожнього і аеродромного будівництва. Методи випробувань: ДСТУ Б.В.2.7-89-99 – Офіц.вид. – К.: Держбуд України, 2000. – 48 с. - (Національний стандарт України).
13. Горельшев Н.В. О пластичности дорожного асфальтобетона / Горельшев Н.В., Пантелеев Ф.И. // Труды МАДИ – М.: Дориздат, 1953. – Вып.15. – с. 138–152.
14. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови: ДСТУ Б.В.2.7-119-2003 – Офіц.вид. – К.: Держбуд України, 2003. – 45 с. – (Національний стандарт України).

Хом'як А.Я., канд. техн. наук, Лісовол Ю.А.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. У статті дана оглядова характеристика існуючої мережі автомобільних доріг. Розглянуто існуючі методи проектування оптимальної мережі, висвітлено проблеми та перспективи розвитку мережі автомобільних доріг.

Ключові слова: оптимальна мережа, приведена довжина, вантажонапруженість, транспортний потік, частість, кумулятивна крива.

Аннотация. В статье дана обзорная характеристика существующей сети автомобильных дорог. Рассмотрены существующие методы проектирования оптимальной сети, отражены проблемы и перспективы развития сети автомобильных дорог.

Ключевые слова: оптимальная сеть, приведенная длина, грузонапряженность, транспортный поток, частость, кумулятивная кривая.

Annotation. Survey description of existent network of highways is given in the article. The existent methods of planning of optimum network are considered, problems and prospects of development of network of highways are reflected.

Key words: optimum network, resulted length, freight tension, transport stream, frequentness, cumulative curve.

Вступ

Дорожні мережа є найбільш капіталоемкою складовою транспортної системи, яка виконує функцію своєрідної кровоносної системи в складному організмі країни. Вона не лише допомагає забезпечувати потреби господарства і населення в перевезеннях, але разом з тим є важливою ланкою загальної транспортної системи країни, без якої неможливе функціонування жодної галузі народного господарства окремих регіонів і країни в цілому. Світовий досвід показує, що без розвинутої автомобільної мережі не можна створити

ефективну ринкову економіку. Рівень розвитку та технічний стан мережі автомобільних доріг впливає на розвиток країни в цілому та її окремих регіонів, характеризує економічний стан країни та соціальне становище населення, визначає майбутнє країни та її життєздатність в умовах ринкових відносин, оскільки надійні транспортні мережі сприяють підвищенню ефективності використання усіх видів ресурсів, зменшенню затрат часу на здійснення перевезень пасажирів та вантажів, а отже, підвищенню продуктивності праці. Дорожню мережу потрібно удосконалювати, збільшувати та ефективно використовувати. Транспортна система є однією з визначальних систем, яка забезпечує вантажні та пасажирські перевезення територією України, до якої в ринкових умовах ставляться високі вимоги щодо якості, регулярності і надійності транспортних зв'язків, збереження вантажів і безпеки перевезень пасажирів, швидкості і вартості доставки. При здійсненні перевезень основне завдання полягає в прискоренні доставки вантажів і пасажирів на основі істотного зниження собівартості та підвищення продуктивності праці. Навіть при вдосконаленні землекористування необхідно в першу чергу вирішити питання оптимізації дорожньої мережі, так як зміна дорожніх умов, які призводять до відхилення рівномірного руху, істотно впливає на кількість викидів.[10]

На сьогодні дорожня мережа країни є, практично, сформованою, тож актуальним є питання її раціонального розвитку в умовах підвищення швидкостей руху, постійної зміни складу руху транспортних потоків.

Питання раціонального проектування мережі автомобільних доріг набуло актуальності з розвитком автомобільного транспорту. В залежності від вимог, які ставляться до дорожньої мережі, визначався критерій оптимізації мережі автомобільних доріг - чи то мінімальна протяжність автомобільних доріг, чи забезпечення мінімальної транспортної роботи. Визначальним поставало питання мінімуму витрат на будівництво мережі. Вивченням питання проектування мереж автомобільних доріг займалися вчені: Паршиков В.О., Полякова Г.О., Романенко, І.О., Кучинський В.І., Волков Б.О., Піндус Б.І. та інші вчені [1; 3; 5-7; 9;11]. В якості критерія був прийнятий показник – приведені дорожньо транспортні витрати. Цим критерієм в своїй роботі керувався Паршиков В.О. [5], а згодом Полякова Г.О. [7]. Паршиков В.О. розробив комбінаторний метод направленої відбору варіантів, з деяким внесенням коректив його роботу продовжила Полякова Г.О.. Вплив фактору

часу і зміни вантажних перевезень враховано в іншому критерії – сумарних приведених затратах. Зазвичай у сумарні приведені затрати включають тільки затрати, пов'язані з будівництвом, утриманням доріг і переміщенням по них транспортних засобів. Цим критерієм користується Волков Б.О. [1] і пропонує метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло), який дозволяє знайти найбільш вигідний варіант з наперед заданою вірогідністю шляхом аналізу статистичних варіантів дорожньої мережі. Романенко І.О. [9] в якості критерія пропонує приймати затрати робочого часу на перевезення. Згодом на основі роботи Романенко І.О., Кучинським В.І. [3] було створено метод нормативної мережі. Хом'як Я.В.[11] за критерій оптимальності пропонує приймати мінімум питомих дорожньо-транспортних витрат. Був розроблений метод найкоротшої зв'язної мережі з використанням теорії графів, коли кореспондентні пункти приймаються в якості вершин графів. У своїй роботі за критерій оптимізації мережі автомобільних доріг Піндус Б.І. [6] взяв сумарні приведені затрати але з поправками на урахуванням цінності займаних земель.

Для спрощення розрахунків при відборі ланок до оптимальної мережі користуються показником мінімальної приведеної довжини, км/тис.т:

$$L = \frac{l}{Q} \text{ або } L = \frac{l \min}{\sum Q}, \quad (1)$$

де l_{\min} – мінімальна довжина ланки;

$\sum Q$ – сумарна вантажонапруженість на ланці, тис.т/рік

Найбільш інтенсивними темпами дороги будувались у 60-70 роки ХХ століття, і на момент розпаду Радянського Союзу існуюча на даний час в Україні мережа автомобільних доріг була, фактично, збудована. Наявність розгалуженої мережі автомобільних доріг та їх технічний стан суттєво впливають на:

- темпи розвитку економіки;
- рівень витрат з перевезення вантажів і пасажирів;
- швидкість перевезень;
- якість і ціну перевезеної продукції;
- мобільність, зайнятість і рівень доходів населення;
- транспортну доступність населених пунктів та соціальних об'єктів;

- екологічний стан навколишнього середовища.

Автомобільні дороги загального користування забезпечують внутрішньодержавні та міжнародні перевезення вантажів і пасажирів, враховують адміністративно територіальний поділ країни, з'єднують населені пункти і є складовою частиною єдиної транспортної системи держави. Територія України, особливо в її західній частині, знаходиться на перехресті транспортних коридорів, які з'єднують країни Південно-Східної і Північно-Західної Європи, тому з подальшим розвитком ринкових відносин, із становленням численних підприємницьких структур треба очікувати значного підвищення ролі автотранспорту. Постановою Кабінету Міністрів України [8] була затверджена класифікація автомобільних доріг загального користування, в якій визначено, що, в залежності від народногосподарського та адміністративного значення, автомобільні дороги поділяються на дороги державного та місцевого значення. У свою чергу дороги державного значення поділялися на магістральні та регіональні. Автомобільні дороги місцевого значення, які складають левову частку автодорожньої мережі (87,9% загальної довжини), поділялися на територіальні, районні та сільські. За технічними даними автомобільні дороги розподіляються на 5 категорій. Категорія дороги визначається під час її проектування, в залежності від розрахункової інтенсивності або найбільшої перспективної годинної інтенсивності дорожнього руху. Інтенсивність руху визначають сумарно в обох напрямках за даними досліджень. За розрахунковий перспективний період для визначення категорії дороги приймають 20 років з часу завершення розробки проекту [2].

У теперішній час автомобільним транспортном щорічно перевозиться вантажів і пасажирів у де кілька раз більше, ніж іншими видами транспорту разом узятими. Враховуючи значні темпи зростання інтенсивності руху автотранспортних засобів на окремих ділянках доріг протягом останніх років, а також фактичний стан українських доріг, можна з впевненістю говорити про те, що мережа автомобільних доріг України потребує реконструкції і розширення відповідно до сучасних вимог. При цьому на нових ділянках мусять бути забезпечені транспортно-експлуатаційні якості, що відповідають високому рівню безпеки руху.

Оскільки на сьогодні маємо, практично, сформовану дорожню мережу, доцільно говорити про приєднання нових ланок до вже існуючої мережі. Нові ланки мережі мусять забезпечувати потребу в транспортних перевезеннях.

Транспортно-експлуатаційні якості нових ланок мусять бути подібними до відповідних показників основної дороги при одночасному вирішенні техніко-економічної задачі вибору оптимального варіанту поєднання нової дороги з існуючою мережею.

Постає питання встановлення критерію, який би як максимально враховував перелік вимог, висунутих до дорожньої мережі, так і відображав транспортно-експлуатаційні якості дороги, що впливають на характеристики руху транспортних потоків. Умови руху транспортних потоків знаходять своє відображення у швидкості, яку можуть розвивати на даній дорозі транспортні засоби. Тож видається доцільним, щоб критерій оцінки оптимальності розширення мережі доріг залежав від швидкості руху і мав вигляд:

$$L = \frac{l \min}{\sum Q \times v} . \quad (2)$$

Визначення швидкості руху в залежності як від дорожніх умов, так і від режимів руху транспортних потоків, дозволить враховувати існуючі на вже створеній мережі доріг умови руху, які постійно змінюються в часі, оскільки змінюються та удосконалюються динамічні якості транспортних засобів, склад руху, відповідно, іншими стають і швидкості руху.

Для того, щоб проаналізувати структуру транспортних потоків, були проведені спостереження на автомагістралях, які можна вважати основою мережі доріг, що вже склалася, та навколо яких мережа розвиватиметься у майбутньому. Зокрема, натурні спостереження за транспортними потоками проводилися на автомобільній магістралі Київ-Бориспіль у середні дні тижня літньо-осіннього періоду 2011 року та порівнювалися з даними відповідних спостережень, які проводилися на цій же дорозі у середні дні тижня літньо-осіннього періоду 1985 року [4], тобто 25 років тому. Порівняння отриманих результатів дає можливість простежити, як змінилися завантаженість дороги, склад та швидкості руху (табл.1) .

На рис. 1 показана кумулятивна крива, побудована на основі спостережень за швидкостями руху на автомагістралі Київ - Бориспіль у середні дні тижня літньо-осіннього періоду 1985 року .

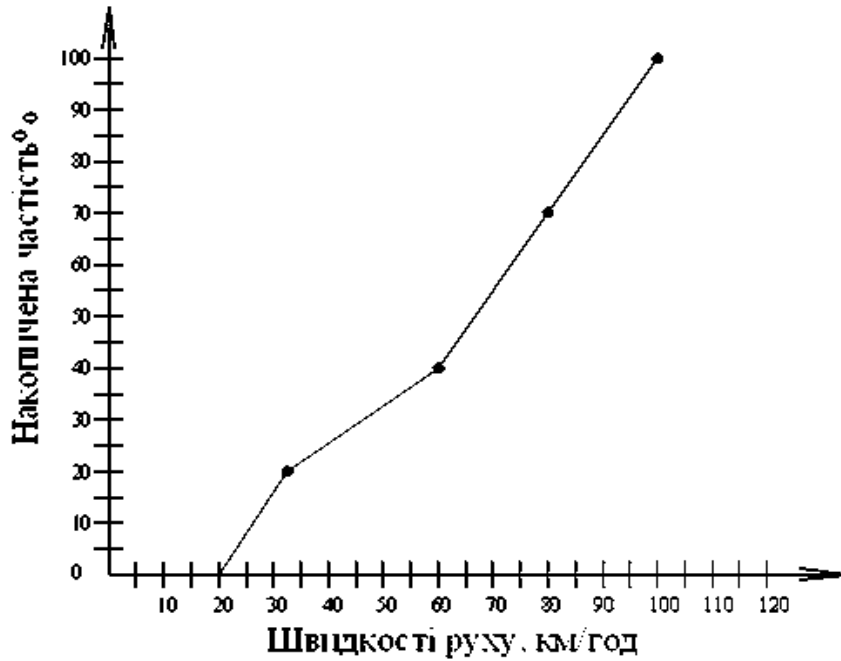


Рисунок 1 - Кумулятивна крива розподілу швидкостей руху на 6-смуговій ділянці автомобільної дороги Київ – Бориспіль

На рис. 2 наведена кумулятивна крива швидкостей руху для транспортного потоку інтенсивністю 3700 авт/год на ділянці автомобільної дороги Київ – Бориспіль у середні дні тижня літньо-осіннього періоду 2011 року.

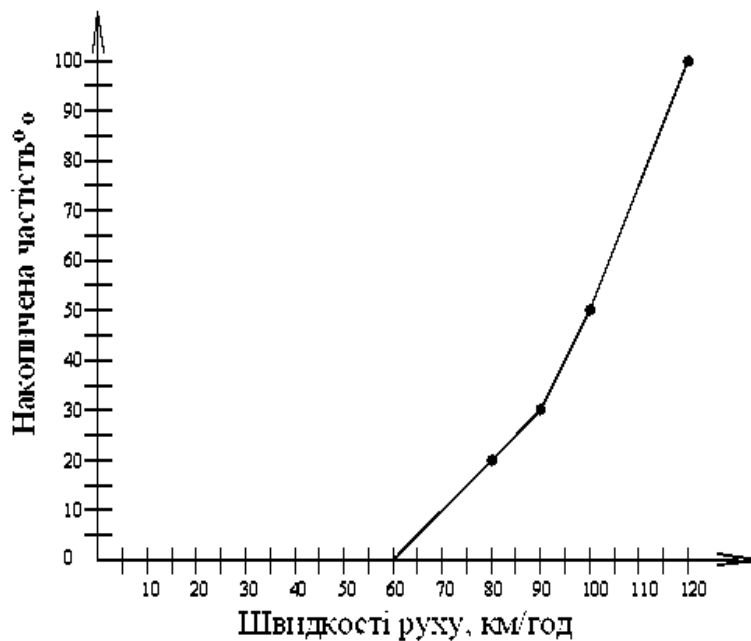


Рисунок 2 - Кумулятивна крива розподілу швидкостей руху на 8-смуговій ділянці автомобільної дороги Київ – Бориспіль

Порівняння отриманих результатів дає можливість простежити, як змінилися завантаженість дороги, склад та швидкості руху (табл.1).

Таблиця 1 - Порівняння транспортно - експлуатаційних показників

Транспортно - експлуатаційні показники			Рік досліджень 1985	Рік досліджень 2011
1. Інтенсивність		авт/год	800	3700
2. Склад руху	легкові автомобілі	%	30-40	40-44
	легкі вантажні	%	12-25	15-31
	важкі вантажні	%	13-30	10-30
	автопоїзди	%	5-20	1-5
	автобуси	%	5-15	6-18
	мотоцикли	%	1-5	0
3. Середня швидкість		км/год	67	100
4. Швидкість 85% забезпеченості		км/год	85	112
5. Діапазон швидкостей руху транспортного потоку		км/год	35-100	80-120

Отже, бачимо, що за 25 років значно зросла інтенсивність руху, дещо змінився склад руху, іншою стала транспортна структура - середні швидкості зросли з 67 км/год до 100 км/год, діапазон швидкостей руху транспортних потоків, який знаходиться в межах 15% та 85% забезпеченості – з 35-100 км/год до 80-120 км/год.

Таке значне підвищення швидкостей руху на дорожній мережі протягом останніх років, яке має стійку тенденцію і до подальшого зростання, підтверджує висловлену вище думку про доцільність враховувати швидкість руху при обґрунтуванні розвитку мережі доріг.

Висновки

Розвиток мережі автомобільних доріг мусить відбуватися на основі врахування як економічності, так і безпеки руху. Економічність визначається дальністю поїздок та вантажообігом. Необхідні транспортно-експлуатаційні якості окремих ділянок можуть визначатися на основі швидкості руху, яка

залежить як від дорожніх умов (радіуси кривих у плані та поздовжньому профілі, похили тощо), так і від характеристик транспортних потоків (інтенсивність, щільність, склад руху тощо).

Література

1. Волков Б.А. Рекомендации по проектированию сети автомобильных дорог областного и местного значения. - М.: СоюздорНИИ, 1970г – 39 с.
2. ДБН В.2.3-4-2007 / Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. - К., 2007. – 82 с.
3. Кучинский В.И. Об одном методе оптимизации сетей автомобильных дорог. Известия ВУЗов: Строительство и архитектура , 1973, №3, 156-160 с.
4. Отчет о научно исследовательской работе исследовать характеристики движения транспортных потоков /интенсивность, состав, скорость, временные интервалы, распределение по полосам/ 1985г. – 111 с.
5. Паршиков В.А. О построении местной дорожной сети. – В кн.: Развитие сети автомобильных дорог. М., 1971. – 71-100 с.
6. Пиндус Б.И. Обоснование требований и разработка метода оптимизации сетей автомобильных дорог местного значения. Дис. канд. техн. наук. - Киев, 1984г. – 236с.
7. Полякова Г.А. Экономические вопросы развития сети автомобильных дорог. М.: Высшая школа, 1976. -86с.
8. Постанова Кабінету Міністрів України № 865 від 24.06.2006 р.
9. Романенко И.А. «Технико-экономические основы проектирования сетей автомобильных дорог». Учеб. Пособие для вузов. Изд. 2-е. М.,1975 – 267с.
- 10.Рязанов Н.А. Учет воздействия на окружающую природную среду внутривладельческой дорожной сети – Єско – Линия –<http://www.agro/eco/ru>
- 11.Хомяк Я.В. Проектирование оптимальных сетей автомобильных дорог. М.,1969 – 144 с.

ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

УДК 667.494.7

Березіна Н.О., канд. хім. наук

ДЕЯКІ ВЛАСТИВОСТІ КОПОЛІМЕРІВ НА ОСНОВІ 9-ВІНІЛКАРБАЗОЛУ

Анотація. На серії синтезованих кополімерів 9-вінілкарбазолу з алкілметакрилатами виявлена пластифікуюча дія останніх. Показано, що в таких системах спостерігається ефект “внутрішньої” пластифікації ПВК ланками комономерів. За допомогою діелектричного та калориметричного методів визначено параметри: тангенс кута діелектричних втрат ($\text{tg}\delta$), діелектрична проникність (ϵ'). Встановлено певні закономірності змін релаксаційних процесів у кополімерах залежно від довжини алкільного радикалу у метакрилатній складовій.

Ключові слова: 9-вінілкарбазол, алкілметакрилати, діелектричні втрати, діелектрична проникність, релаксація.

Аннотация. На серии синтезированных сополимеров 9-винилкарбазола с алкилметакрилатами выявлено пластифицирующее действие последних. Показано, что в таких системах наблюдается эффект “внутринней” пластификации ПВК звеньями сомономера. С помощью диэлектрического и калориметрического методов определены параметры: тангенс угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$), диэлектрическая проницаемость (ϵ'). Установлены определенные закономерности изменений релаксационных процессов в сополимерах в зависимости от длины алкильного радикала в метакрилатной составляющей.

Ключевые слова: 9-винилкарбазол, алкилметакрилаты, диэлектрические потери, диэлектрическая проницаемость, релаксация.

Annotation. Using synthesized copolymers of 9-vinylcarbazole with alkylmethacrylates the plastifying action of their units was found. The effect of “internal” plastifying of poly(vinylcarbazole) by monomer’s units can be observed in such systems. The values of tangent angle dielectric loss ($\text{tg}\delta$), permittivity (ϵ') were estimated from dielectric and calorimetry methods. It was found that length of alkyl radical in the acrylate component of copolymers influences on the parameters of dielectric relaxation .

Key words: vinylcarbazole, alkylmethacrylates, dielectric loss, permittivity, dielectric relaxation.

Органічні напівпровідники, особливо полімерні, протягом багатьох років привертають увагу дослідників, відіграючи важливу роль в науці і техніці. Це обумовлено рядом властивостей полімерних матеріалів, які цікаві як з технологічної точки зору, так і з точки зору використання органічних фотофункціональних матеріалів як енергозберігаючих матеріалів для фотоімітуючих, фоторефрактивних, фотоелектролюмінесцентних пристроїв, а також фотореєструючих шарів для голографічного, електрофотографічного та інших способів запису інформації.

На базі таких фотонапівпровідникових матеріалів отримують органічні фотодіоди, електролюмінесцентні середовища, що використовуються при створенні гнучких дисплеїв, пластичних сонячних елементів, як сенсорні системи та інше.

Для обґрунтованого вибору складу кополімерів, які використовують в різних процесах запису, необхідно знати їх фізичні параметри: діелектричні, поляризаційні, теплофізичні та інші.

Багато робіт, у тому числі і автора [1 - 5], було присвячено проблемі пластифікації полівінілкарбазолу (ПВК). Основний молекулярний ефект пластифікатора полягає у взаємодії з сегментами полімера, що сприяє прискоренню в'язкопружного відгуку полімерної системи на зовнішню дію. Єдиний шлях, який дає можливість встановити певні закономірності релаксаційних процесів, проаналізувати зміни внутрішньої та міжмолекулярної взаємодії — це вивчення діелектричних та теплофізичних характеристик у широкому температурно-частотному діапазоні.

Для вивчення цих закономірностей методом радикальної полімеризації були отримані кополімери 9-вінілкарбазолу (ВК) з вищими естерами метакрилової кислоти алкілметакрилатами (AlkMA) у мольних співвідношеннях ВК : AlkMA = 1:1, 1:2, 2:1, 3:1. В якості алкільного мономеру були використані метилметакрилат (ММА), бутилметакрилат (БМА), гексилметакрилат (ГМА), октилметакрилат (ОМА), нонилметакрилат (НМА), лаурилметакрилат (ЛМА).

Синтезовані кополімери 9-ВК з алкілметакрилатами мають два типи структурних одиниць – основний ланцюг і бічний, що дає можливість реалізації деякої впорядкованості. Відомо, що бічні ланцюги розташовуються перпендикулярно до основного ланцюга і при певній довжині утворюють гексагональну ґратку в площині, перпендикулярній їх осі. При короткій довжині розгалуджень іде рівномірний спад температури розм'якшення з ростом числа вуглецевих атомів у ланцюгу. Однак, починаючи з C_8 складаються сприятливі умови для кристалізації за рахунок взаємодії бічних

ланцюгів. Введення сторонніх ланок в гребінчасті полімери шляхом кополімеризації (до 50-60%) дозволяє не порушувати кристалічної структури гексагонального типу і зберегти шарову упаковку макромолекул.

В попередніх роботах автора [1, 3] вивчалась кореляція між параметром $3C_p$ і числом “гнучких” (що допускають внутрішнє обертання) зв'язків в елементі ланцюга n_f , що повторюється, яке можна визначити виходячи з аналізу внесків у величину стрибка теплоємності ΔC_p при температурі склування полімеру (T_g). Для всіх досліджених систем (крім кополімерів ВК/ОМА, ВК/НМА, ВК/ЛМА) спостерігається задовільна кореляція між значенням $3C_p$ і n_f (табл.1). Виходячи з закономірного зниження T_g (Рис.1), ланки алкілметакрилатів відіграють роль “внутрішніх пластифікаторів” ВК, причому ефективність пластифікації різко зростає при переході від ГМА до ОМА, НМА та ЛМА. На кривих теплоємності зразків ВК/ОМА і ВК/НМА в інтервалі склування спостерігаються зломи, які вказують на ступінчастий характер розморожування рухомості макромолекул при переході кополімеру у високоеластичний стан. На користь уявлення про ступінчастий характер виявлення теплової рухомості ВК/ОМА, ВК/НМА і ВК/ЛМА свідчать також аномалії на кривих температурної залежності питомого об'єму V_0 і константи В в рівнянні Тейта. На початковій стадії склування (первинний стрибок ΔC_p) набувають рухомості гнучкі зв'язки бічних радикалів алкілметакрилатних

фрагментів, тоді як обертальна рухомість основного ланцюга досягається лише на заключній стадії склування в області 360 — 380 К (Рис.1).

Таблиця 1 - Складові стрибка теплоємності при склуванні

Кополімер	T_g, K	C_p, g	$10^4 \Delta\alpha, K^{-1}$	ΔC_p	$\Delta C_{p,b}$	$\Delta C_{p,v}$	$\Delta C_{p,f}$	$n_f(\pm 15\%)$
ВК-ММА	412	1,55	$2,1 \pm 0,303$	0,360	0,126	0,100	0,180	4,2
ВК-БМА	364	1,60	$3,3 \pm 0,05$	0,290	0,114	0,090	0,086	2,3
ВК-ГМА	352	1,45	$2,0 \pm 0,03$	0,270	0,099	0,052	0,120	3,6
ВК-ОМА	308	1,40	-	0,240	0,126	0,024	0,070	2,2
ВК-НМА	295	1,50	-	0,210	0,126	0,024	0,060	2,0
ВК-ЛМА	285	1,60	-	0,210	0,126	0,024	0,060	2,1

На користь цього припущення свідчить аномальний характер зміни стисливості розплаву цих зразків у вказаній області температур, типовий для рідкофазних переходів.

Було показано, що число зовнішніх ступенів свободи елементу ланцюга, що повторюється, збігається з числом “гнучких” зв’язків, що припускають внутрішнє обертання.

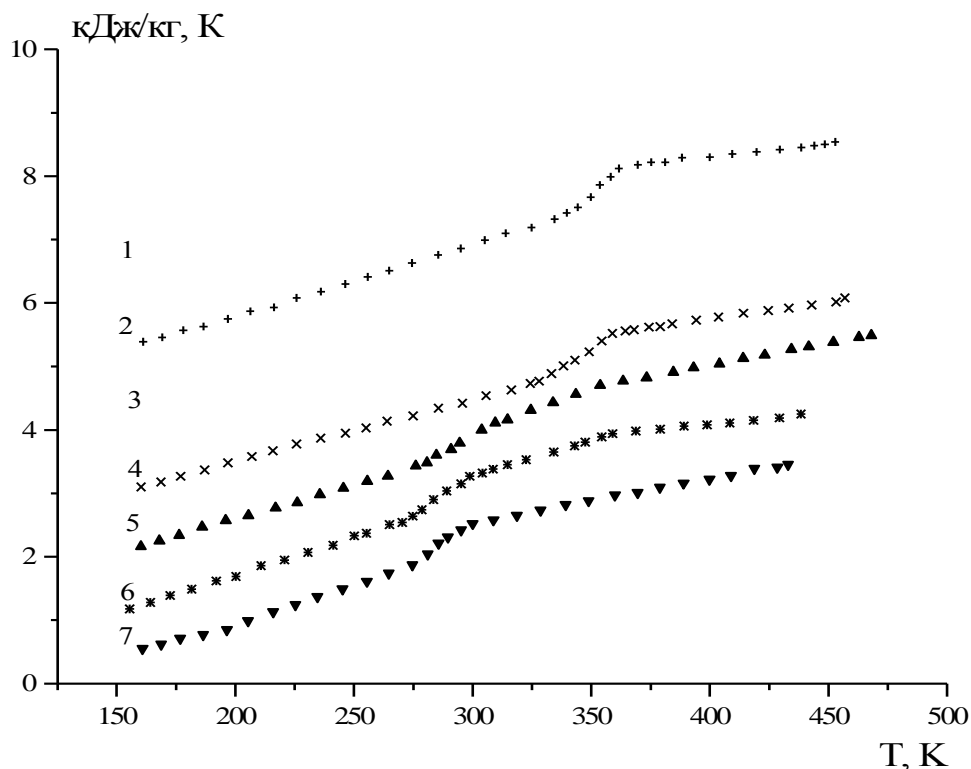


Рисунок 1 – Температурні залежності теплоємності кополімерів ВК/ММА(1), ВК/БМА(2), ВК/і-БМА(3), ВК/ГМА(4), ВК/ОМА(5), ВК/НМА(6), ВК/ЛМА(7)

Характер хімічної пластифікації полівінілкарбазолу (ПВК) для вищих і нижчих членів ряду кополімерів ВК/АлкМА різко вудрізняється і більш ефективний для останніх. Починаючи з кополімеру ВК/ГМА, температурна область високоеластичного стану значно ширша, що дозволяє легко підібрати температурні режими роботи в процесі експлуатації цих матеріалів.

Зразки для діелектричних досліджень отримували шляхом поливу розчину на електропровідну підкладку. Товщина плівок становила $1-2 \cdot 10^{-4}$ м. Для калориметричних досліджень використовували таблетки кополімерів, які пресувались при температурі плавлення полімерів. Діелектричні вимірювання тангенса кута діелектричних втрат ($\text{tg}\delta$) та діелектричної проникності (ϵ') проводили згідно з методиками, описаними в [6] у широкому температурному та частотному діапазонах. Встановлено, що тангенс кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta$ також дійсна частина діелектричної проникності при температурі 300 К в діапазоні частот $20-10^8$ Гц не залежить від частоти. Залежно від хімічної будови модельних кополімерів дипольно-сегментальна релаксація, яка спостерігається в усіх зразках, розвивається в різних температурних областях. Спостерігається зміщення приблизно на 70 К області дипольно-сегментальної релаксації в бік низьких температур при збільшенні довжини алкільного радикала від C_3H_7 - до C_8H_{17} -. При подальшому збільшенні алкільного радикалу до $\text{C}_{12}\text{H}_{25}$ - це зміщення стає незначним до 20 К.

Проведені нами дослідження температурних переходів в кополімерах 9-ВК з алкілметакрилатами, їх електронної чутливості, діелектричних досліджень та теплової рухомості макромолекул підтвердили пластифікуючу дію вищих алкілметакрилатів, починаючи з ГМА, у кополімеризації з 9-ВК, а також дали можливість визначити, що кополімер 9-ВК:ОМА (2:1) є одним з найкращих із досліджуваної серії для використання в реєструючих шарах для електрофотографічного і нанолітографічного запису інформації, для дисплеїв, сонячних елементів та ін.

Подальші дослідження проводились на кополімері 9-ВК/ОМА. Температурні залежності

$\text{tg}\delta = f(T)$ і $\epsilon' = f(T)$ мають яскраво виражені максимуми, причому зі збільшенням частоти температурний максимум, як $\text{tg}\delta$ так і ϵ' зміщуються в область більш високих температур:

$$\text{при } \nu = 80 \text{ Гц } T_{\text{max}\text{tg}\delta} = 360 \text{ К}, T_{\text{max}\epsilon'} = 374 \text{ К}, \epsilon'_{\text{max}} = 7, 25;$$

$$\text{при } \nu = 10^3 \text{ Гц } T_{\text{max}\text{tg}\delta} = 400 \text{ К}, T_{\text{max}\epsilon'} = 404 \text{ К}, \epsilon'_{\text{max}} = 5, 8.$$

Залежність температури пікового значення $\text{tg } \delta$ від частоти вказує на дипольно-релаксаційний механізм діелектричних втрат. Діелектрична проникність ϵ_∞ , яка обумовлена електронною поляризацією, розрахована за формулою Мосса, при $T = 300$ К співпадає з чисельним значенням дійсної частини ϵ' комплексної діелектричної проникності і дорівнює 4,67.

З метою визначення часу релаксації була побудована діаграма Коула-Коула (рис.2, крива 1).

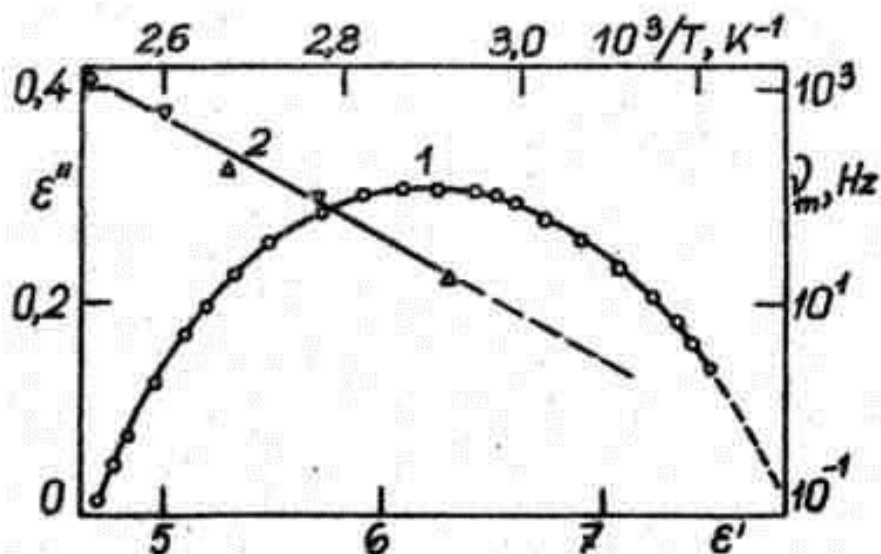


Рисунок 2 – Діаграма Коула-Коула : залежність $\epsilon'' = f(\epsilon')$ шарів ВК/ОМА при $T=400$ К (1) і залежність частоти максимального значення $\text{tg } \delta = f(\nu)$ від температури (2), (права і верхня шкала)

Для цього уявна частина ϵ'' комплексної діелектричної проникності розраховується згідно $\epsilon'' = \epsilon' \text{tg} \delta$. Чітко виражене півколо в залежності $\epsilon'' = f(\epsilon')$ вказує на те, що в шарах ВК/ОМА при $T = 400$ К має місце один час діелектричної релаксації. Статистична діелектрична проникність шарів кополімеру, яка визначена по діаграмі Коула-Коула, $\epsilon_c = 7,84$, а діелектрична проникність ϵ_∞ , обумовлена електронною поляризацією, відповідає значенню ϵ' в області високих частот. Припускається, що ϵ_c кополімера ВК/ОМА, як і ПВК [1], визначається поляризацією карбазольних груп. Так як частина діелектричної проникності, $\Delta\epsilon$ яка зумовлена релаксацією карбазольних груп, дорівнює

$$\Delta\epsilon = \epsilon_c - \epsilon_\infty,$$

то релаксаційна частка поляризації при $T = 400$ К, відповідно до формули

$$P_p = \varepsilon_\infty \Delta \varepsilon v E,$$

не перевищує $2,8 \cdot 10^{-6} \text{ см}^{-2}$. Час діелектричної релаксації, який розрахований за формулою

$$\tau = \sqrt{\varepsilon/\varepsilon_\infty}/\omega_m,$$

де $\omega_m = 2\pi\nu_m$ — частота, яка відповідає максимальному значенню $\text{tg } \delta = f(\nu)$, при $T = 400 \text{ К}$ складає

$2,06 \cdot 10^{-4} \text{ с}$. Зі зменшенням температури частота максимуму $\text{tg } \delta = f(\nu)$ експоненціально знижується (рис.2, крива 2) з енергією активації $0,8 \text{ еВ}$. Якщо ці залежності дійсні і в області температур нижче 350 К . Тоді можливо визначити час релаксації карбазольних груп в кополімері в широкому діапазоні температур, так як він являється експоненціальною функцією температури.

В шарах кополімеру ВК/ОМА виявлена стійка поляризація, яка досягається на нульовій частоті. В зарядженому шарі під дією електричного поля відбувається його поляризація. Потенціал поляризації виявляється після розрядки шару до нуля освітленням або перезарядки зарядами протилежної полярності. Час деполяризації в залежності від температури змінюється від декількох секунд до декількох хвилин. Максимальне значення потенціалу деполяризації визначається трьома факторами: часом поляризації, напруженістю електричного поля і температурою. Найбільш ефективно поляризація відбувається на початковому моменті поляризації, хоча її повільне зростання особливо при більш низьких температурах продовжується десятками хвилин. Зі збільшенням напруженості електричного поля потенціал деполяризації зростає лінійно (рис.3, криві 1-3), причому нахил цих лінійних залежностей в значній мірі залежить від часу поляризації і особливо від температури. Слід зазначити, що густина заряду поляризації, тобто ефективна густина поверхневого зв'язаного заряду при величині потенціала деполяризації, яка дорівнює 100 В , оцінена по геометричній ємності зразка, складає $\sigma' = 3,95 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/м}^2$ (згідно рис.3).

Встановлено, що при температурі нижче 310 К шари кополімеру не поляризуються при будь-яких напруженостях електричного поля, однак з підвищенням температури поляризації вище 310 К потенціал деполяризації росте лінійно (рис.3, крива 4). Відповідно, стійка поляризація, як і релаксаційна поляризація в області великих частот проявляється при підвищених температурах, але поки що важко стверджувати, що стійка поляризація обумовлена релаксацією карбазольних груп.

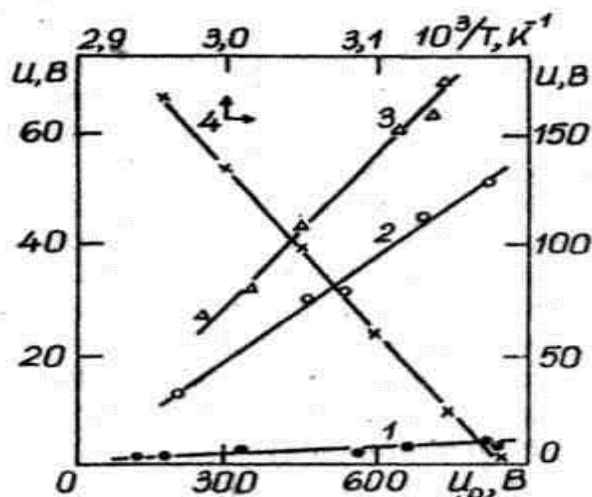


Рисунок 3 – Залежність потенціала деполаризації від поляризуючої напруги (1-3, $T = 323$ К) і температури (4, $U_0 = 800$ В). Час поляризації: 1 — 0,5 хв., 2 — 10 хв., 3,4 — 40 хв., $L = 10,5$ мкм

Маючи на увазі, що час релаксації стійкої поляризації навіть при відносно високих температурах значно перевищує час релаксації карбазольних груп, а також той факт, що густина поляризаційного заряду майже на два порядки більша у випадку стійкої поляризації можна припустити, що остання пов'язана з релаксацією окремих структурних утворень, концентрація яких може збільшуватися зі зростанням температури.

Література

1. Березіна Н.А., Гребенюк-Морозова К.В., Лисова І.В., Сиром'ятніков В.Г. Внутрішньо пластифіковані кополімери N-вінілкарбазолу з алкілметакрилатами / Вісн.Київ.ун-ту. Хімія. – 2006. - № 43. – С. 44-46
2. Berezina N., Syromyatnikov V., Ishchenko A., Verbitsky A., Vertsimakha Ya. Effect of polymer matrix on photosensitivity of Meso-Cl polymethine dye based composites / Functional materials 13, № 4 (2006) p.676-680.
3. Привалко В.П., Арбузова А.П., Пасько С.П., Березіна Н.О., Ліпатов Ю.С. Теплова рухомість макромолекул статистичних сополімерів N-вінілкарбазолу та алкілметакрилатів у розплаві / Доп. АН УРСР. Сер. Б. Геол., хім. та біол. науки.- 1985.- № 3.- С. 48-51.
4. Шевляков Ю.А., Чичирко В.И., Кузьмин Р.Н., Березина Н.А. Влияние рентгеновских фотонов на зарядное состояние полимерных диэлектриков / Изв. высш. уч. завед. Физика.- 1984.- № 11.- С.116-117.
5. Березіна Н.О., Сиром'ятніков В.Г., Гребенюк-Морозова К.В., Лисова І.В. Синтез і інформаційні властивості деяких кополімерів вінілкарбазолу і похідних антрацену / 7 Всеукр. наук.конф."Сучасні проблеми хімії".- Київ - 2006. – С.275.
6. Борисова М.Э., Койков С.Н. Физика диэлектриков. - Л., 1979.- С.158.

Мустяца О.Н., канд. хім. наук, Ковтун Ю.В.

ПЕРЕРОБКА ПРОМИСЛОВОЇ СУЛЬФІДНО-ОКСИДНОЇ СТИБІЄВОЇ СИРОВИНИ З ПОДАЛЬШИМ ОТРИМАННЯМ В'ЯЖУЧИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА

Анотація. У статті наведено дані про практичне застосування піроелектрохімічної технології для переробки промислової сульфідно-оксидної стибієвої сировини з подальшим отриманням із шлаків, як відвалів виробництва, в'язучих матеріалів для будівництва.

Ключові слова: промислова сировини, переробка, шлаки, модифікування, в'язучі матеріали.

Аннотация. В статье приведены данные о практическом применении пироэлектрохимической технологии для переработки промышленного сульфидно-оксидного сурьмяного сырья с последующим получением из отвальных шлаков вяжущих материалов для строительных целей.

Ключевые слова: промышленное сырьё, переработка, шлаки, модификация, вяжущие материалы.

Annotation: In the article there were given the facts about practical use of pyroelectrochemical technology for the processing of industrial sulfide-oxide antimonial raw materials with the following acquisition of binding materials from waste slag for building.

Key words: industrial raw materials, processing, slag, modification, binding materials.

Вступ

Основною сировиною для одержання стибію (Су-0, Су-00, Су-2) й його сполук (триоксиду, п'ятисірчистої, солі Шліппе й крудуму) служать сульфідні, сульфідно-оксидні й оксидні сурм'яні концентрати, що істотно відрізняються за хімічним складом [1-6].

Якщо з початку заснування (1936) і по п'ятдесяті роки минулого століття Кадамджайський завод працював винятково на сульфідній сировині Кадамджайського й Терексайського рудників, то у 60-70-ті роки минулого століття сировинна база КСК значно змінилася; почалося застосування, поряд з іншими формами сировини, оксидних концентратів. З урахуванням власних оборотних матеріалів відсоток, що припадає на оксидну сировину, виріс до 25 - 35 % від загальної кількості сировини. Зростання переробки оксидних концентратів у порівнянні з сульфідною сировиною буде тривати й надалі й, зокрема, за рахунок відходів виробництв. Впровадження в дію печі киплячого шару (КШ), трубчастих печей і т.д. дозволить переробляти оксидну руду, «хвости» збагачувальної фабрики, шлаки осаджувально-відновлювальних плавок, кеки вищолочення сурм'яних концентратів й одержувати кондиційні оксидні концентрати.

Переробка сировини відновлювально-окиснювальним випалом у зазначених апаратах є найбільш простим і технологічним у порівнянні з іншими відомими на цей час процесами. Бідні сульфідні концентрати, за досвідом Югославії, також можуть піддаватися окисному випалу з одержанням багатих за вмістом стибія субліматів. Таким чином, у стибієвому виробництві намітилася чітка тенденція до збільшення частки сировини, що припадає на оксидні матеріали.

Оксидна стибієва сировина (антимонат натрію й сублімати пилоуловлюючих систем) переробляється в цей час за двома технологічними схемами – пірометалургійною і гідрометалургійною (антимонат натрію й сурмувмісний пил). Існуючі технологічні схеми не забезпечують повного вилучення металу із сировини в готову продукцію і вимагають великої витрати коштовних реагентів, флюсів, електроенергії й палива. Отже, актуальність проблеми вдосконалювання існуючих технологій переробки, у тому числі, оксидної стибієвої сировини й розробка нових не викликає сумнівів [1, 2, 5, 6].

Завданням роботи є дослідження й розробка нової, економічно більш ефективної промислової технології переробки як сульфідної, сульфідно-оксидної, так і оксидної стибієвої сировини (антимонату натрію й стибійвмісного пилу різних процесів), яка забезпечувала б більш високе вилучення металу у порівнянні з існуючими схемами, а також дозволяла отримувати відвальні за стибієм шлаки з суттєвим вмістом в'язучих матеріалів для будівельних цілей. Із цією метою вивчено відновлювальні плавки

антимонатау натрію й стибійвмісного пилю відбивних і руднотермічних печей у штейнових розплавах з наступним доведенням металу методом електролітичного рафінування у калій-лужних розчинах до стибію вищих марок.

Промислові випробування нової технології переробки оксидної сировини показали її переваги перед існуючими схемами.

Результати дослідження та їх обговорення. Кінетика процесів відновлення антимонату і пилю ШПУ у штейнових розплавах. Попередньо досліджено кінетику відновлювальної плавки оксидної сурм'яної сировини (антимонат натрію і стибійвмісний пил) у штейнових розплавах. Необхідність такого дослідження викликана тим, що названа сировина за хімічним складом відрізняється від індивідуальних оксигенвмісних сполук стибію. Досліди проводилися з пробами сировини, що містили 45-50% стибію, решта припадала на домішки інших металів і силікатну групу. Вивчена залежність вилучення стибію з антимонату натрію від часу проведення відновлювальної плавки в розплаві штейну за температур 800, 900, 1000⁰С. Шихта мала склад (мас. %): антимонат – 69,0; штейн – 20,7; вугілля – 10,3 (шихта № 1).

Плавка велася в шамотних тиглях, у лабораторній силітовій електропечі, обладнаній контрольно-вимірювальними приладами, у **повітряному газовому середовищі**. При тих самих умовах проводилося по три паралельних досліди. Відновлення стибію за температури 800⁰ починається після 15 хвилин від початку завантаження шихти у нагрітий тигель. За 18 хвилин плавки відновлюється 10 % стибію. Інтенсивно процес йде в інтервалі 18-25 хвилин після початку плавки. У цей відрізок часу відновлюється до 85 % металу, через 33 хвилини, при 92-95 % вилучення, відновлення стибію практично припиняється. Витримка розплавів у печі до 40-50 хвилин приводить до деякого зменшення (на 2-3 %) виходу металу. Це може бути пояснено переходом металу у шлак, окиснюванням і частковою втратою з газами.

Відновлення за температури 900⁰ йде більш інтенсивно, чим при 800⁰. Після 15 хвилин від початку завантаження відновлюється до 40-43 % сурми, за наступних п'ять хвилин досягається максимальний вихід металу – 92-93 %. Після 20 хвилин плавки спостерігається деяке зниження вилучення за рахунок сублимації металевого стибію. За 1000⁰С процес відновлення починається після витримки шихти у печі протягом 7-8 хвилин, при цьому досягається вихід стибію 50%. За 13-15 хвилин від початку плавки вилучається 83-84 % стибія,

подальше збільшення тривалості плавки приводить до падіння вилучення металу за рахунок його випаровування. При 40 хвилинній плавці вилучення складає 75%.

На підставі отриманих даних можна зробити наступні висновки:

1. Оптимальними для проведення процесу відновлення Sb з антимонату натрію є температури 800-900⁰С.
2. Відновлення йде інтенсивно і закінчується в основному через 5-8 хвилин після початку процесу.
3. Збільшення тривалості плавки понад оптимальний час приводить до деякого зниження вилучення стибію у чорновий метал.

Досліджено вилучення стибію з антимонату натрію від температури **при плавці у газовому середовищі азоту над розплавом**. Досліджувалися два розплави шихт: № 1 – аналогічний попередньому і № 2 – у якому вуглецю було на 1/3 частину менше, ніж у першому, при тому ж співвідношенні двох інших компонентів. Цією серією дослідів встановлено:

1. Оптимальним інтервалом температури, у якому вилучення металу складає 98-99 %, є 800-900⁰С.
2. Відсутність контакту шихти і розплаву з киснем повітря до мінімуму знижує втрати стибію у газову фазу.
3. Збільшення температури до 1000⁰С приводить до зниження вилучення стибію у чорновий метал.

Визначено вміст стибію в оборотних штейнах, отриманих при плавці антимонату натрію у газовому середовищі азоту над розплавом. Результати фазового аналізу приведені в таблиці 1.

Виходячи з табличних даних, можна зробити висновок, що в процесі плавки відбувається збідніння штейну по металевому стибію у 2-2,5 рази, по сульфідній фазі – 2-3 рази, по оксидних формах – 2-3 рази. Наприклад, при вмісті 15 % вугілля у шихті і підвищенні температури плавки від 800 до 1000 ⁰С відсоток стибію в штейні знижується з 6,36 до 3,37, в основному за рахунок металевого стибію. Очевидно, це може бути пояснено зменшенням в'язкості розплаву зі збільшенням температури, що і створює сприятливі умови для осадження металу, який знаходиться у розплаві. При плавці ж шихти з 10 % вугілля підвищення температури від 800 до 1000 ⁰С веде до збільшення

кількості стибія в оборотному штейні від 2,42 до 4,13% за рахунок інтенсивного перемішування всієї маси розплаву, і тим самим погіршення ліквідації.

Таблиця 1 – Фазовий аналіз сполук стибію у вихідному штейні і штейні, що утворився після плавки із антимонатом натрію у газовому середовищі азоту

№ п/п	Найменування №№ проб	Умови плавки			Одержано			
		Т, °С	Витрата вугілл	Sb заг.	Сполуки стибію, %			
					Мет.	Sb ₂ O ₃	Sb ₂ O ₄ Sb ₂ O ₅	Sb ₂ S ₃
1.	Вихідний штейн	-	-	6,36	5,06	0,03	0,33	0,94
2.	Штейн після плавки:							
	1	800	15	4,44	3,65	0,015	0,18	0,60
	2	900	15	4,38	3,8	0,03	0,12	0,43
	3	1000	15	3,37	2,92	н/о	0,12	0,33
	4	1000	10	4,13	3,31	0,03	0,12	0,67
	5	900	10	2,60	2,00	н/о	0,24	0,36
	6	800	10	2,42	1,97	0,03	0,06	0,36

Для з'ясування залежності вмісту стибія в оборотних штейнах від температури плавки і витрати відновника використовувався вихідний штейн із вмістом стибія 6,8 %.

Залежність вмісту заліза у чорновому металі від часу відновлювальної плавки антимонату натрію в розплаві штейну за температур 800, 900, 1000 °С свідчить про те, що з підвищенням температури збільшується вміст заліза у чорновому металі. При одночасному підвищенні температури і збільшенні тривалості плавки вміст заліза у чорновому металі може перевищити 10%. Проведення процесу в оптимальних умовах (800-900 °С) знижує вміст заліза в металі до 1 – 2%. Одночасно з цим досягається високий ступінь вилучення стибію, який дорівнює 92-93 %.

Досліджено залежність вмісту миш'яку, свинцю й олова у чорновому металі від часу проведення відновлювальної плавки антимонату натрію в розплаві штейну за температур 800-900 °С.

Аналіз даних показує, що вміст As, Pb, Sn у чорновому металі залежить від тривалості плавки. Домішки, як ми вважаємо, відновлюються вуглецем одночасно із стибієм. Цікаво що при 800⁰ спостерігається більше забруднення

металу домішками (As, Pb, Sn), чим при 900⁰С, що слід зв'язувати зі збільшенням леткості названих оксидів і швидкості їхнього відновлення.

Залежність вилучення стибію від часу відновлювальної плавки пилів ШПУ у штейнових розплавах визначалась для температур: 800, 1000, 1200 ⁰С і складу шихти (№ 3): пил ШПУ – 200 г, штейн – 60 г, вугілля 25 г /40 г для температури - 1200 ⁰С. Шихта плавилася у повітряному газовому середовищі над розплавом. За 800 ⁰С на протязі перших 15 хвилин відновлюються 10% стибія, при збільшенні тривалості плавки до 50 хвилин досягається максимальне вилучення 78-79 %. Подальше збільшення часу плавки приводить до деякого зниження прямого виходу металу. За температурі 1000⁰С максимальний вихід стибію 74-75 % досягається через 5 хвилин після початку плавки. Відносно низьке вилучення металу за 800 і 1000⁰С, очевидно, може бути пояснено недостатчею відновника у плавках, що веде до переходу значної частини стибія у шлак у вигляді оксигенвмісних сполук. Збільшення ж кількості відновника за цих температур робить розплав в'язким і не забезпечує повного вилучення стибію. Підвищення температури плавки до 1200⁰С дозволяє збільшити витрату відновника до 40 г і підвищити прямий вихід металу до 92-95 %. Установлено пряму залежність між виходом стибію у чорновий метал з пилу ШПУ, температурою і кількістю відновника. За 1200⁰С розплав відрізняється високою рухомістю, що сприяє чіткому розшаруванню продуктів плавки. Вміст стибію в оборотному штейні при цьому отримано 1,3 %, у відвальному шлаку 0,6%.

З метою співставлення результатів відновлювальних плавок у залежності від вмісту стибію у вихідній сировині проведений ряд плавок з пилами, що містять 68% Sb. При цьому кількість відновника у процентному співвідношенні до завантаженого металу залишалася такою ж, як і у випадку плавки більш бідних за стибієм пилів ШПУ. Плавки проводилися за температури 1200⁰С. При цьому за перші 10 хвилин відновилося приблизно 30, за 15 хвилин – порядку 40, за 20 хвилин – 85, за 30 хвилин – у середньому 96% стибію від загальної кількості металу у завантаженій шихті. Вміст стибію у продуктах плавки наступний (мас.%): у шлаку – 0,4, у штейні 0,8, що у два рази менше ніж у вихідному штейні. Як видно з приведених середніх результатів (див. таблицю 2) плавка багатого за стибієм пилу ШПУ у штейнових розплавах приводить до збільшення вилучення стибію у чорновий метал.

При відновлювальній плавці пилу чорновий стибій, як правило, забруднений залізом, свинцем, миш'яком й іншими домішками. Вміст заліза коливається від 0,1 до 1 %; вміст свинцю, миш'яку залежить від вмісту їх у вихідному пилу. Вилучення стибію у чорновий метал при плавці багатого на стибій пилу становить 80-90 %. Вміст стибію у шлаках, при роботі на чистий метал з нестачею відновника, досягає 20-25%; звичайно шлаки відновлювальної плавки містять 5-20 % стибію. Вихід шлаків залежить від вмісту стибію у вихідній сировині й коливається від 15 до 100 % до маси завантаженої стибієвої сировини.

Таблиця 2 - Співставлення даних плавок пилуШПУ, різних завмістом стибію

№ плавки	Завантажено					Отримано		
	Пил ШПУ		Штейн		Вугілля, г	ВмістSbу шлаку, %	ВмістSbу штейні, %	Вилучення Sb, %
	Фіз. маса, г	ВмістSb, %	Фіз. маса, г	ВмістSb, %				
1	100	50,0	30	1,6	12,5	0,5	1,1	95,0
2	100	50,0	30	1,6	12,5	0,6	1,3	92,0
3	100	50,0	30	1,6	12,5	0,8	1,5	93,0
1	100	68	30	1,6	17	0,4	0,8	95,0
2	100	68	30	1,6	17	0,6	0,7	96,0
3	100	68	30	1,6	17	0,5	0,9	97,0

Шлаки відновлювальної плавки не є відвальними. Залежно від прийнятої технологічної схеми останні направляють для довилучення з них стибію на відновлювальну плавку у шахтній печі або на повторну відновлювальну плавку у тих же відбивних печах, або їх додають у шихту осаджувальної плавки. Виніс стибію з газами становить 10-15%; при порушеннях режиму плавки він зростає до 40 %, тому печі відновлювальної плавки обов'язково обладнані пиловловлюючою системою.

На деяких заводах пил, що вміщує стибій, разом з рудою переробляється у шахтних печах. Оскільки у шахтній печі можна переробляти тільки шматковий матеріал (15-200 мм), то дрібний (у тому числі й пил) перед плавкою брикетується, тобто укрупнюється з добавкою в'язкої речовини –

вапна, глини й будівельних матеріалів. Паливом і відновником при шахтній плавці служить кокс. Як флюс для плавки застосовують вапняк, піритні недогарки або багату залізну руду. Плавку ведуть на одержання кислих шлаків із вмістом – 45 – 46 % кремнезему, 31 – 35 % оксиду кальцію й 15 – 20 % закису заліза. Витрата коксу на плавку 13 – 15 % від ваги шихти. Вихід стибію у чорновий метал коливається від 50 до 85 %. Шлаки містять менш одного відсотка стибію. Продуктивність печі 19 – 25 т шихти на 1 м² площі перетину у фурм.

Відновлювальна плавка антимонату натрію і стибійвмісного пилу у штейнових розплавах. Сировиною для досліджень служили: стибійвмісний пил відбивних печей, уловлений швидкісним пиловловлювачем (ШПУ), пил руднотермічної печі (РТП), уловлений у рукавному фільтрі, і антимонат натрію. Хімічний і фазовий склади оксидної сировини, що переробляється на металургійному заводі, представлені у таблицях 3 і 4.

Таблиця 3 – Хімічний склад оксидних стибієвих техногенних матеріалів

Речовини	Вміст, мас.%			
	В антимонаті натрію	В пилу швидкісного уловлювача (ШПУ)	В пилу руднотермічної печі	У возгонах трубчатої печі
1	2	3	4	5
Sb, заг.	45,4	54,0	55,0	72,7
Sb ₂ O ₃	–	–	–	3,0
Sb ₂ O ₄	44,9	–	–	14,7
Sb ₂ O ₅	0,3	–	–	8,6
Sb ₂ O ₃	0,2	–	–	0,1
As	0,70	0,80	0,63	1,53
Pb	0,35	0,70	0,32	–
Sn	0,30	0,13	0,15	–
Cu	0,03	–	–	–
Hg	–	–	0,09	–
SiO ₂	0,60	8,62	3,3	1,9
Fe ₂ O ₃	0,25	3,14	1,28	1,45
Al ₂ O ₃	–	4,8	4,3	–
CaO	1,10	10,55	5,94	0,67

Кінець табл. 3

1	2	3	4	5
MgO	0,50	2,36	1,12	1,52
Na ₂ O	11,35	5,02	15,11	–
S, заг.	0,35	–	–	1,0
Au, г/т	1,6	–	–	–
Ag, г/т	14,4	–	–	–
C	–	–	–	3,44
та ін.	–	–	–	4,37

Вміст стибію і домішок інших металів в антимонаті натрію, у пилах ШПУ і РТП, у сублиматах «КШ» стабільний, у сублиматах же обертової печі він коливається в залежності від складу руди, що переробляється, у межах 25-45 % Sb, 2-10 % As, 2-8 % Pb.

Таблиця 4 - Фазовий аналіз сполук стибію в оксидній стибійвмісній сировині (мас.%)

Найменування проб	Sb _{заг.} , %	Сполуки сурми							
		Sb ₂ O ₃		Sb ₂ O ₄		Sb ₂ O ₅		Sb ₂ S ₃	
		%	У % до заг.	%	У % до заг.	%	У % до заг.	%	У % до заг.
Пил ШПУ	68,52	50,0	72,95	9,96	14,53	7,38	10,77	1,18	2,25
Возгони «КШ»	33,9	30,0	88,49	1,0	2,96	2,0	5,90	0,9	2,65
Антимонат	45,6	0,3	0,88	0,3	0,88	45,0	98,34	-	-
Пил РТП	42,42	34,0	80,15	2,0	4,71	6,42	15,14	-	-

Проби антимонату натрію і пилу ШПУ перед приготуванням шихти висушувалися до вмісту вологи менш 3 %, а потім подрібнювалися до порошкоподібного стану. У якості відновника застосовувалося Кизил-Кійське кам'яне вугілля з вмістом вуглецю 79 % і крупністю 1 мм.

Для досліджень застосовувався умовно відвальний штейн руднотермічної печі наступного складу, (мас.%): 1-3 сурми, 0,2-0,5 миш'яку, 12-16 натрію, 30-45 заліза, 0,8-1,6 кремнію, 32-37 сірки.

Фазовий аналіз штейну Кадамджайського металургійного заводу показав, що стибій знаходиться у вигляді Sb_2S_3 , Sb_2O_3 , Sb_2O_4 , Sb_2O_5 , а також у вільному стані. Наявність оксидів стибію в штейні зв'язується з тривалим збереженням матеріалу на повітрі, у результаті чого значна кількість сульфїду стибія (III) окиснюється. Штейн складається з наступних мінералів: триолїту - FeS , піротину – $Fe_{n-1}S_n$, металевого стибія - Sb , антимонїту - Sb_2S_3 , кермезиту - $2Sb_2S_3Sb_2O_3$, халькопіриту, борніту, кавелїну, магнетиту, скла й інших нерудних матеріалів [4]. Переважними мінералами є триолїт і піротин, що займають 70-80 % площі шліфа. Вміст сірки в першому дорівнює 36,4 %, у другому 39-40 %.

Плавки проводилися в лабораторній електропечі типу ШП-1 і в укрупнено - лабораторній силтотвій електропечі. Температура в печах контролювалася платино - платинородїєвою термопарою. Плавки здїйснювалися як у відкритих так і в закритих шамотних, кварцових тиглях у газовому середовищі повітря й азоту. Плавки в середовищі азоту проводилися в лабораторній шахтній печі типу ШП-1. Азот подавався в пїч з балона через отвір у дні шахти, під розподільний ковпачок, виготовлений із шамоту. Через отвори діаметром 3 мм, розташовані по колу ковпачка, забезпечувався рївномірний струм азоту по всїй шахтї печі. Витрата азоту контролювалася реометром і дорівнювала 2 л/хв. При наважках пилу до 200 г плавки проводилися у шамотних тиглях ємністю 0,5 л, при наважках 600-1000 г – у кварцових тиглях ємністю 2 л.

Порядок приготування шихти. Сировина і вугїлля в заданих пропорціях ретельно перемїшувалися і переносилися у кульок з папера. Зверху шихти мїстився грудковий штейн крупністю до 40 мм, пїсля чого кульок завантажувався у тигель, розгрітий до 800-900 °С.

Кїнцем плавки вважався час припинення кипїння розплаву. Для кращого розподїлу металу штейну і шлаку розплав витримувався при заданїй температурї протягом 3-5 хвилин. Потїм вїн виливався з тигля у сталеву посудину. Пїсля остигання продукти плавки роздїлялися, зважувалися і вїдбиралися для аналізу.

У пошукових дослїдах знайдений розчинник антимоната натрію і субліматів (пил ШПУ і РТП) – умовно вїдвальний металургїйний штейн РТП.

Ранїше дослїджувалися варїанти утилізації вїдвальних металургїйних штейнїв: використання їх як електроліти для одержання металевого стибія з

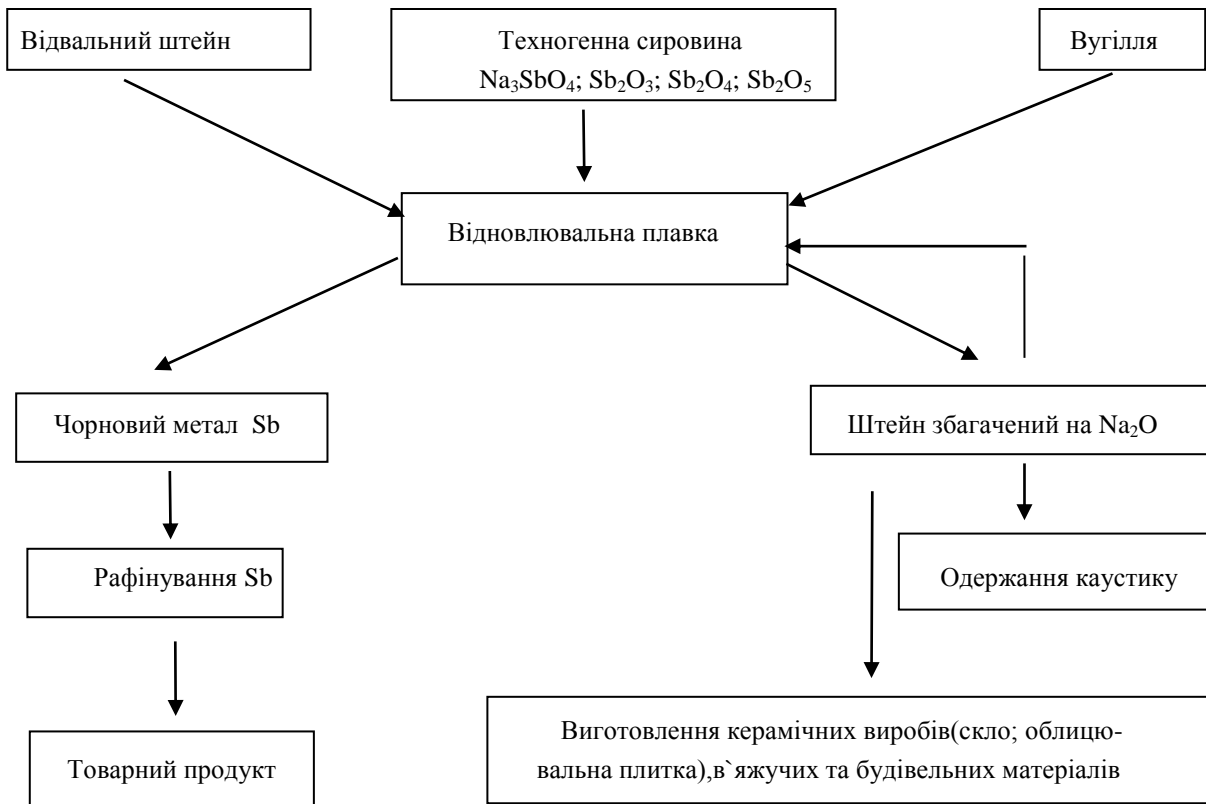
розплаву, застосування в якості флюсуючих добавок у різних електрохімічних процесах переробки оксидної стибієвої сировини. Ці дослідження обумовили постановку серії пошукових дослідів по осадженню стибію зі штейно-антимонатних розплавів чисто хімічним способом.

Штейни вихідний й отриманий після плавки мало відрізняються за складом. Маються лише незначні відхилення у бік зменшення процентного вмісту заліза, кремнезему, сірки у кінцевому продукті. Так, якщо у вихідному штейні заліза було 37,1% (середня проба), то після плавки кількість його зменшилася на 4%. Як видно, частина заліза зі штейну пішла на утворення шлаків. Вміст натрію залишився на рівні 12-16%. Цікаво відзначити те, що в окремих плавках штейн збіднюється по Sb на 30-50%. Суттєвим фактом є те, що відвальні шлаки, отримані після відновлювальної плавки пилу ШПУ у штейнових розплавах, різко відрізняються за вмістом шлакоутворюючих компонентів від звичайно прийнятих у стибієвому виробництві. Так, якщо осаджувальну плавку сульфідних стибієвих концентратів ведуть з розрахунком на одержання кислих шлаків із вмістом (мас. %): 40-45 кремнезему; 25-30 закису заліза, 15-20 оксиду натрію і 10-15 інших, тобто зі співвідношенням штейнових продуктів рівним 1:0,61:0,4, то при плавці пилу за новою технологією отримано більш кислі шлаки з іншим співвідношенням компонентів (мас. %): 41-45 кремнезему, 10-13 закису заліза, 3-5 оксиду натрію. У них відношення SiO_2 до суми основ у три-чотири разів вище, чим у плавках сульфідної стибієвої сировини. Шлаки за своїм складом і фізико-хімічними властивостями принципово відмінні від шлакоутворюючих компонентів, що застосовуються при осаджувальній плавці, і ніде раніше не описані. Це аргументується тим, що дотепер окрема переробка багаті на стибій оксигенвмісної сировини здійснювалася з орієнтуванням на одержання основних шлаків із вмістом сурми до 5-20 %, що є оборотними. Проведені дослідження дозволили розробити нову технологію відновлювальної плавки стибійвмісного пилу у штейнових розплавах з одержанням бідних на стибій кислих шлаків, які у подальшому, за вимогами, модифікуванням у електропечах доводяться за складом до необхідних кондицій.

Висновки

Технологічна схема переробки оксигенвмісної стибієвої сировини з одержанням додаткового товарного продукту у вигляді будівельних і в'язучих матеріалів за нашими дослідженнями має наступний вигляд:

Схема переробки техногенної оксидної стибієвої сировини



Література

1. Сурьма. /Под ред.С.М.Мельникова. – М.: Металлургия.- 1977. – 536 с.
2. Сажин Н.П. Сурьма. / Сажин Н.П. – М.: Металлургиздат. – 1941. – 152 с.
3. Копылов Н.И. Диаграммы состояния двойных и тройных тиосистем /Копылов Н.И., Лата В.А., Польшанский И.Р., Хегай Л.Д. – Алматы: Ин-т МиО. – 1997. – 178 с.
4. Ишанходжаев С. Химия сурьмы и свинца /Ишанходжаев С. – Ташкент: Фан. – 1984. – 152 с.
5. Шиянов А.Г. Производство сурьмы /Шиянов А.Г. – М.: Металлургиздат. – 1961. - 176 с.
6. Гудима Н.В. Краткий справочник по металлургии цветных металлов /Гудима Н.В., Шейн Я.П. - М.: Металлургия. – 1975. – 536 с.

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

ЦЕМЕНТОБЕТОНИ ДЛЯ ПОКРИТТЯ ДОРІГ

Анотація. В статті показано один із шляхів покращення властивостей цементобетону для покриття доріг – модифікація цементобетонної суміші комплексною добавкою поліфункціональної дії. Досліджувався її вплив на показники міцності, морозостійкості, водонепроникливості цементобетону, а також на особливості процесів твердіння модифікованої цементно-водної дисперсії.

Ключові слова: цементний бетон, покриття доріг, хімічна добавка поліфункціональної дії, цементно-водна дисперсія, міцність, твердіння.

Аннотация. В статье показан один из путей улучшения свойств цементобетона для покрытия дорог – модификация цементобетонной смеси комплексной добавкой полифункционального действия. Исследовался ее влияние на показатели прочности, морозостойкости, водонепроникливости цементобетона, а также особенности процессов затвердевания модифицированной цементно-водной дисперсии.

Ключевые слова: цементный бетон, покрытия дорог, химическая добавка полифункционального действия, цементно-водная дисперсия, прочность, твердение.

Annotation. The article shows a way to improve the properties of cement-concrete for roads-modified cement-concrete complex addition of polyfunctional action. Explored its effects on parameters of durability, resistance, vodonepronyklyvosti cement-concrete, and also features Cure modified cement-water dispersion.

Key words: cement concrete pavements, the chemical additive polyfunctional action, cement and water dispersion, strength, hardening.

Вітчизняний і зарубіжний досвід будівництва доріг з одягом жорсткого типу підтверджує перспективність широкого впровадження цементних бетонів для забезпечення надійної та безвідмовної їх експлуатації протягом тривалого періоду при незначних витратах на утримання. Закордоном розрахунковий період експлуатації покриттів жорсткого типу становить 35-50, в Україні - 25-40 років. Протяжність доріг з цементобетонним покриттям в Україні становить близько 3 тис. км, що відповідає частці в 6 % для доріг з удосконаленим покриттям. Це значно нижче європейських показників, і є підставою для розвитку дорожньої інфраструктури в цьому напрямку. До переваг жорстких дорожніх одягів можна віднести: значно довший термін нормативної експлуатації до капітального ремонту (реконструкції) в порівнянні з нежорсткими дорожніми одягами; кращі можливості для проїзду транспортних засобів з наднормативними навантаженнями на вісь; стабільність фізико-механічних властивостей від природно-кліматичних факторів і, в першу чергу, від температурно-вологісних умов експлуатації; зростання міцності цементобетону з часом; високі показники довговічності - морозо- і водостійкості, корозійної стійкості і т.д.; мінімальні експлуатаційні витрати[1].

Основними факторами, що викликають руйнування дорожніх цементних бетонів є: вилуговування вимивання поверхневого шару цементобетону, вплив розчинів солей, важкі температурні умови в зимовий час і постійні механічні дії на поверхню бетону. Як правило, ці фактори впливають на бетон комплексно.

Одним із існуючих способів покращення властивостей цементних бетонів для покриття доріг є їх модифікація хімічними добавками. В Україні хімічні добавки застосовують майже у всіх сферах виробництва бетону, що сприяє появі нових технологій, реалізувати які без добавок було б просто не можливо. Сучасний цементобетону перетворюється завдяки новим хімічним добавкам у більш складний композиційний матеріал, властивості якого перевершують традиційні склади [2]. Проте для отримання цементних бетонів з підвищеною міцністю, морозостійкістю, водонепроникливістю, корозійною стійкістю найбільш ефективно застосовувати не окрему хімічну добавку, а спеціально підібраний комплекс добавок поліфункціональної дії в залежності від призначення цементобетону і вимог до нього.

До складу комплексної хімічної добавки повинен входити ефективний суперпластифікатор, а також можуть входити добавки, які впливають на кінетику твердіння, повітрявтягуючі добавки (аеранти) і тонкодисперсні

мінеральні наповнювачі [3]. У Мостозагоні - 112 м. Бровари, авторами даної статті проводились дослідження з підбору складів бетонів модифікованих комплексними добавками поліфункціональної дії. Метою роботи було отримання цементного бетону з легкоукладальністю П1-П2, «життєздатністю» суміші не менше 2 годин, з вимогами по морозостійкості не менше F 200 та класом бетону B25-B50.

При проведенні досліджень використовували такі матеріали:

Портландцемент - ПЦ І - 500-Н (ДСТУ Б В.2.7.-46-96)

Заповнювачі:

пісок кварцевий, дніпровський, $M_{кр} = 1,72$; насипна щільність – 1570 г/м^3 ;
щебінь гранітний (ДСТУ Б В.2,7-75-98)

фракції 5-10 мм, насипна щільність 1280 кг/м^3 ;

фракції 10-20 мм, насипна щільність 1335 кг/м^3 .

У результаті виконаної роботи була розроблена комплексна добавка поліфункціональної дії на основі компонентів вітчизняного виробництва - ШАГ-2 – модифікована комплексна добавка (патент України № 37100). До складу комплексної добавки ШАГ-2 входить: суперпластифікатор, пластифікатор, гідрофобізатор, піногасник і аерант. Застосування аеранта обумовлено тим, що обсяг залученого повітря в бетонній суміші для одношарових та верхнього шару двошарових покриттів повинен забезпечуватися на рівні 5-7%, для нижнього шару двошарових покриттів 3-5% [4]. Завдяки направленому підбору компонентів і їх співвідношенню комплексна добавка забезпечує підвищення життєздатності цементобетонної суміші (240 хвилин), а також суттєве зростання показників міцності, водонепроникливості та морозостійкості (табл. 1).

З отриманих результатів видно, що при використанні цементу в кількості $325, 350 \text{ кг/м}^3$ і оптимальної кількості комплексної добавки 1% від маси цементу можна отримати цементні бетони класу B45-B50. Застосування комплексної добавки ШАГ-2 дозволяє зменшити кількість води замішування (на 40-50 л), при збереженні легкоукладальності і вмісту залученого повітря в бетонних сумішах. Доцільно зазначити, що при коригуванні складу добавки (збільшенні кількості аеранта) і зменшенні кількості дрібного заповнювача можна збільшити міцнісні показники ще на 3-5 %. Крім цього застосування фракції щебеню 20-40 дозволяє підвищити міцність на 8-12 %.

Таблиця 1 - Склади і характеристики цементних бетонів

№ складу ц/б	Ц, кг/м ³	П, кг/м ³	Щ ₅₋₁₀ , кг/м ³	Щ ₁₀₋₂₀ , кг/м ³	В, л/м ³	Добавка %від маси цементу, %	Осадка конуса, см через хв.		В/Ц	Об'єм залученого повітря, % (через 30 мин.)	Границя міцності при стиску, МПа, при нормальних умовах твердіння у віці, діб			
							5	30			3	7	28	56
1	350	737	342	796	161	-	3	2,5	0,441	4,33	19,41	21,98	35,27	44,07
2	325	696	397	940	120	0,8	2,0	1,0	0,366	4,59	21,75	46,50	59,43	61,83
2 а	350	584	417	965	121		1,5	1,0	0,343	4,98	24,29	56,21	66,24	70,95
3	325	618	417	965	115	1,0	3,5	1,5	0,354	5,85	35,15	48,51	60,03	63,15
3 а	350	598	417	965	114		1,5	1,0	0,328	5,04	22,44	50,80	68,83	71,00
4	325	627	417	965	110	1,1	1,0	1,0	0,341	5,32	30,11	51,52	60,66	61,17
4 а	350	598	417	965	110		2,0	1,5	0,331	5,18	22,84	54,55	63,80	67,95

Границя міцності на стиск у віці 28 діб у порівнянні з контрольним складом підвищується на 68 – 95%.

Бетонні зразки-куби (10 × 10 × 10см) були випробувані на морозостійкість в ДерждорНДІ ім. Шульгіна. Випробування проводилися згідно прискореного методу [5]. В результаті було встановлено, що марка по морозостійкості випробовуваних складів з комплексною добавкою поліфункціонального дії ШАГ-2 склала не менше F300, що в 3 рази більше в порівнянні з контрольним складом - ≤ F100. Марка бетону по водонепроникності визначалася відповідно до [6], і становить W 8.

Механізм дії запропонованої комплексної добавки досліджувався з використанням спеціальних методів: АРДС (акустичний резонанс дисперсних структур) [7], калориметричних методів [11] та диференційно – термічного аналізу – ДТА.

Для дослідження особливостей процесів твердіння цементу і бетону застосовувався метод акустичного резонансу дисперсних структур (АРДС), розроблений І.Г. Гранковським [7]. Даний метод дозволяє отримати кількісні характеристики зміни пружних властивостей цементно-водної дисперсії (зміна пластичної міцності). Ця характеристика визначається за результатами вимірювань частоти резонансу $\omega_{рез}$ (рис.1). [7]. Амплітуда резонансу $A_{рез}$ (рис.1) дає можливість фіксувати диспергаційні або агрегаційні процеси твердіючої системи [7-10].

У модифікованого складу одразу після замішування цементу на протязі 20 хв. фіксується суттєве підвищення амплітуди резонансу $A_{рез}$, що свідчить про більшу інтенсивність диспергаційних процесів похідних частинок цементу в порівнянні з контрольним складом.

Надалі в цементній системі фіксуються агрегаційні (конденсаційні) процеси – зменшення $A_{рез}$. При досягненні мінімального значення $A_{рез}$ на кривій $\omega_{рез}$ фіксується незначний спад пружних властивостей. Це обумовлено вивільненням частини (5- 15 %) раніше звільненої гідратними новоутвореннями води [7-9]. Цей період відповідає першій стадії структуроутворення.

Наведені вище процеси відбуваються до початку тужавлення цементно – водної дисперсії. На цьому етапі формується матриця майбутньої конденсаційно- кристалізаційної структури – носія міцності цементного каменю і бетону.

Проте у контрольного складу інтенсивність диспергаційних процесів на початкових стадіях тверднення поступається модифікованому складу. В той час як $\omega_{рез}$ (пружні властивості) контрольного складу спочатку незначно перевищує модифікований склад, але через 4 години ця різниця досить значна, що вказує на втрату легкоукладальності бетонної суміші.

В ХНУБА, в лабораторії професора Ушєрова-Маршака Олександра Володимировича були проведені дослідження впливу добавки на тепловиділення портландцементу. Експеримент проводився на напівдіабатичному (термосному) калориметрі УСК.

Екзо- або ендофакти, що виникають на ранніх стадіях взаємодії компонентів цементної системи, прямо пов'язані із кінетикою гідратації, яка, в свою чергу, обумовлює швидкість твердіння та набір міцності цементу і бетону. Дослідження термокінетичних закономірностей гідратації — один зі способів

одержання об'єктивної кількісної інформації для оцінки фізико-хімічного впливу добавок, а також прогнозування їх ефективності [11].

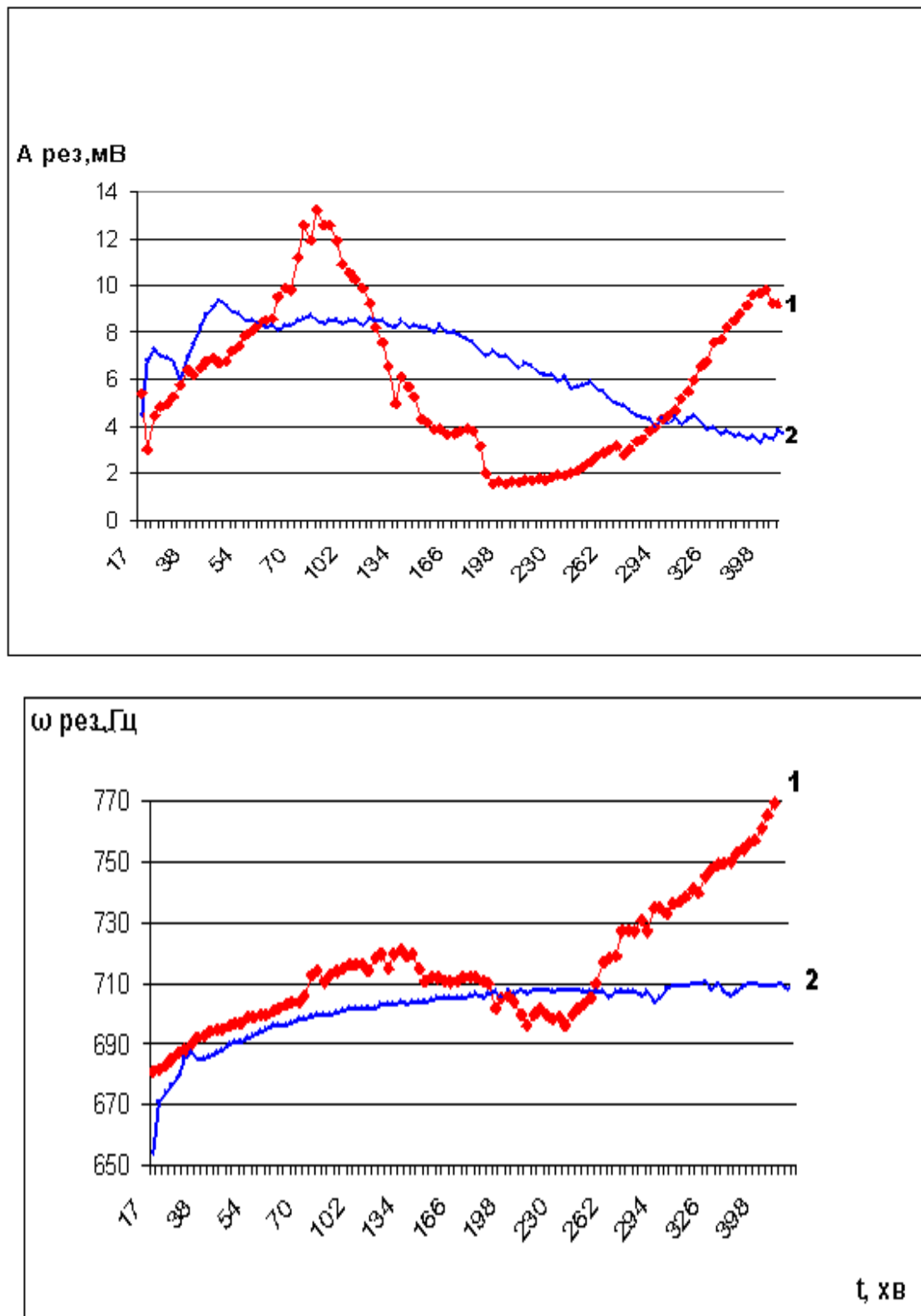


Рисунок 1 – Кінетичні криві структуроутворення цементно-водної дисперсії
1 – без добавки, В/Ц=0,3; 2 – з комплексною добавкою ШАГ-2, В/Ц=0,216

Встановлення взаємозв'язків термодинамічних показників з характеристиками твердіння цементів та бетонів, властивостями цементобетонної суміші представляється складовою частиною проблеми підвищення ефективності добавок в бетони.

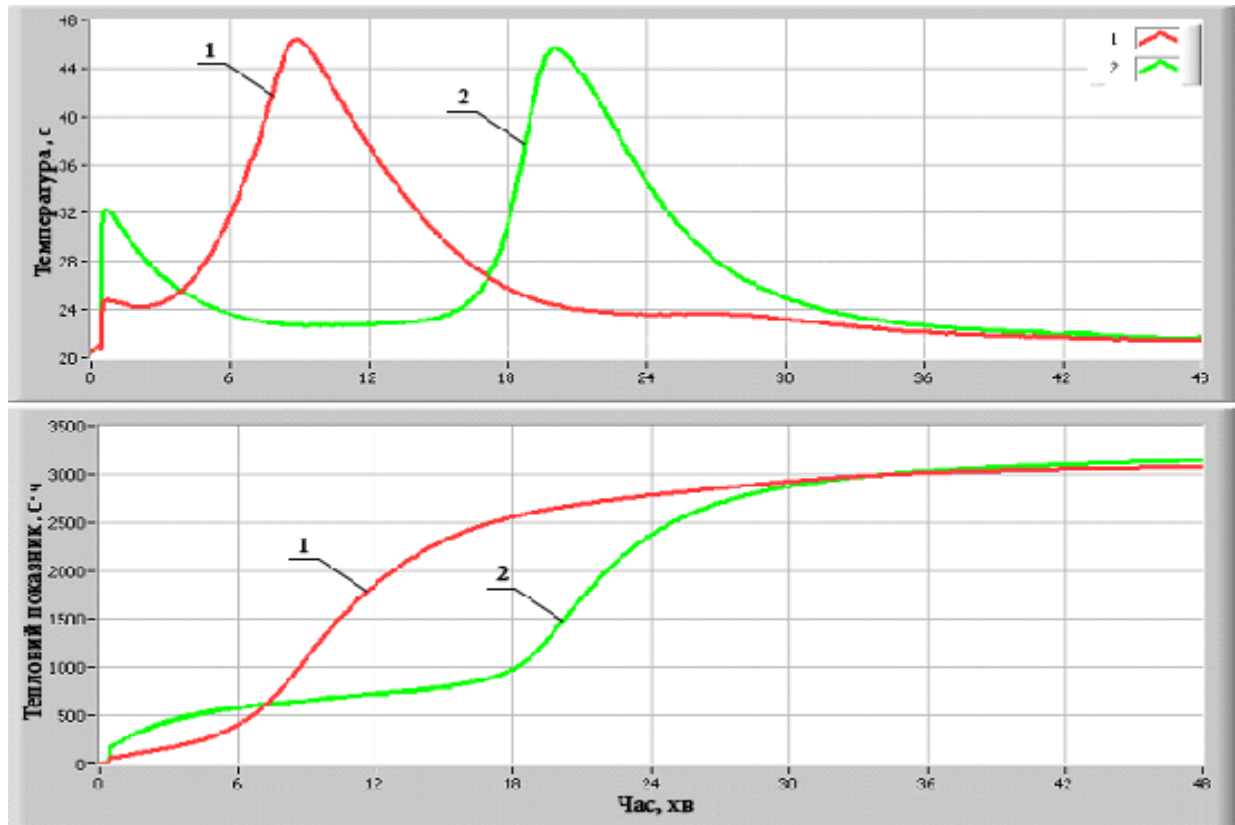


Рисунок 2 – Вплив добавки ШАГ-2 на тепловиділення портландцементу
1 – контрольний склад; 2– з добавкою ШАГ-2

Термодинамічні залежності (рис. 2) свідчать про більшу інтенсивність процесів гідратації цементно-водної дисперсії одразу після замішування (перші 10 хв.). Цей ефект обумовлений збільшеною реакційно-спроможною поверхнею цементу в модифікованому складі, за рахунок більш інтенсивних процесів диспергації похідних частинок цементу (крива $A_{рез}$, рис.1). Але надалі тепловиділення цементно-водної дисперсії бетону поступається контрольному складу. Теплота гідратації з добавкою ШАГ-2 через 24 години знижена на 15 %, але надалі поступово підвищується і через 48 годин ці показники вирівнюються.

Зменшене тепловиділення на протязі 24 годин позитивно відображується на початкових процесах тріщиноутворення бетону, тобто зменшення екзотермії зменшує температурні напруження в цементобетоні, що в результаті суттєво зменшує процеси тріщиноутворення на початкових стадіях твердіння.

Таблиця 2 - Основні термокінетичні параметри

№	Закінчення індукційного періоду, год	Час досягнення T_{max} ,	ΔT_{max} , $^{\circ}C$	Тепловий показник 24 год, $^{\circ}C \cdot год$	Тепловий показник 48 год, $^{\circ}C \cdot год$
1	2,2	8,9	25,6	2780 (1)	3075 (1)
2	11	20	24,7	2365 (0,85)	3140 (1,02)

У зразка з добавкою ШАГ – 2 спостерігається значне збільшення індукційного періоду і як наслідок сповільнення процесів тужавлення.

Таким чином у результаті проведеної роботи була розроблена і досліджена комплексна добавка поліфункціональної дії ШАГ – 2, її застосування дозволяє не лише впливати на технологічні та міцнісні характеристики цементобетонну для покриття доріг, а й на його структуру, підвищуючи при цьому його морозостійкість, водонепроникність і довговічність.

Література

1. Солодкий С.Й., Русин Р.М. Модифіковані бетони на композиційних цементах для влаштування жорстких дорожніх одягів.//Автомобільні дороги і дорожнє будівництво.Наук.-техн.зб.- К.,2004.- Вип.72.- С.89-94.
2. Ушеров-Маршак А.В., Циак М. Химические и минеральные добавки в технологии цемента и бетона. Труды международной научно-практической конференции: Современные бетоны, компоненты, технология и качество, Хортица,2003.
3. Петрова Т.М., Джаши Н.А., Смирнова О.М., Чистяков Э.Ю. Современные подходы к проектированию составов высокопрочных бетонов. Журнал «Строительный Тендер №42», 2009.
4. ВБН В.2.3-218-008–97. Проектування і будівництво жорстких та с жорсткими прошарками дорожніх одягів. – К.: - Укравтодор. – 1998.–218 с.
5. ГОСТ 10060-95 Бетоны. Методы определения морозостойкости.
6. ГОСТ 12730.5-84 Бетоны. Методы определения водонепроницаемости.
7. Гранковский И.Г. Структурообразование в минеральных вяжущих системах.- Киев: Наукова думка, 1984, 299 с.
8. Чистяков В.В., Дорошенко Ю.М., Гранковский И.Г. Интенсификация твердения бетона.- Киев: Будівельник, 1988. – 118 с.
9. Гранковский И.Г., Чистяков В.В. Особенности гидратации и структурообразования портландцемента на ранних стадиях. // Журн. прикл. химии, - 1991. – Т. 54 № 1, с.15-20.
- 10.Чистяков В.В., Гранковский И.Г., Гоц В.Н.Формирование структуры твердения шлакощелочного вяжущего. // Журн. прикл. химии. – 1986. - Т. 59 № 3, с.590-595.
- 11.Ушеров-Маршак А.В. Калориметрия цемента и бетона.–Х.:Факт,2002.– 184с.
- 12.Патент України № 37100.

БУДІВНИЦТВО ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ДОРІГ

УДК 625.7/.8

Аленіч М.Д., канд. техн. наук

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ТЕХНОЛОГІЇ ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛІНГУ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ПОКРИТТІВ

Анотація. Розглядається хімічна і фізична взаємодія бітуму з мінеральним матеріалом. Аналізуються хімічні процеси, що відбуваються в плівці бітуму при ущільненні суміші, і їх вплив на структуроутворення асфальтогранулобетону.

Ключові слова: регенована суміш, фізична адсорбція, хемосорбція, дифузія бітуму, вільний бітум, структурований бітум.

Аннотация. Рассматривается химическое и физическое взаимодействие битума с минеральным материалом. Анализируются химические процессы, происходящие в пленке битума при уплотнении смеси, и их влияние на структурообразование асфальтогранулобетона.

Ключевые слова: регенерированная смесь, физическая адсорбция, хемосорбция, диффузия битума, свободный битум, структурированный битум.

Annotation. We consider the chemical and physical interaction of bitumen with mineral materialom. Analizuyutsya chemical processes that occur in the film during compaction of bitumen mixtures, and their impact on the structure asfaltotranulobetonu.

Key words: regenerated mixture, physical adsorption, chemical adsorption, diffusion of bitumen, bitumen free, structured bitumen.

Технологічні параметри будівництва і експлуатації дорожніх одягів з регенованих сумішей повинні забезпечувати високі фізико-механічні властивості матеріали, отриманого з використанням повільнотвердіючого мінерального в'язучого і розрідженого бітуму.

Фізична взаємодія бітуму з мінеральним матеріалом обумовлена здатність в'язучого адсорбуватись на поверхні мінеральних зерен під впливом сил тяжіння і утворювати на цій поверхні шари товщиною в кілька молекул. В міру віддалення від мінерального зерна міцність зв'язку падає і бітуми здобуває властивості об'ємного в орієнтовний стан.

Хімічна взаємодія (хемосорбція) спостерігається при об'єднанні певних мінеральних матеріалів (карбонатних і основних гірських порід) з бітумом, що містить природні аніон активні і основних гірських порід характеризується високим позитивним потенціалом і більшою кількістю сорбційних центрів у вигляді катіонів кальцію на поверхні часток.

Кислі гірські породи при об'єднанні з бітумом не утворюють хемосорбційних з'єднань. Міцність зчеплення мінеральних часток з бітумом зниження, особливо в присутності води.

При об'єднанні мінеральних матеріалів з бітумом, поряд із сорбційними процесами відбувається фільтрація компонентів бітуму. Масла деградують більш інтенсивно ніж смоли і асфальтобетони, у результаті вміст останніх у плівках бітуму збільшується, а когезія і в'язкість підвищується.

В сумішах з подрібненого старого асфальтобетону(асфальтогрануляту) з в'язучими, що перемішують і ущільнюють в холодному стані, доцільне застосування бітумів, розріджених порівняно легкими вуглеводневими розріджувачами (часом, лігроїном).

Особливість взаємодії бітуму з поверхнею гранул і зерен асфальтогранулята полягає в тому, що частина гранул уже покрита бітумом.

При ущільненні суміші відбувається фізичні процеси в плівці бітуму, що приводить до її вижимання із зон підвищеної напруги. Вільний бітум заповнює між зерновий простір, а на зернах залишається плівка структурованого бітуму. При цьому коагуляційні зв'язки змінюються, що приводить до підвищення міцності всієї системи.

Таким чином, розріджений бітум, використаний як компонент комплексного в'язучого, утворюють на зернах асфальтогранулята тонкі плівки структурованого бітуму, які мають підвищену міцність.

Частина розріджувача, введеного в бітум, буде витратитися на дифузійні процеси – пластифікацію старого бітуму і фільтрацію в пори мінеральних зерен. Ці процеси приведуть до підвищення швидкості густіння розрідженого бітуму, прискоренню процесів формування коагуляційних бітумних зв'язків .

При проведенні холодної регенерації можливі різний порядок введення компонентів комплексного в'язучого в суміш.

Макроструктура асфальтогранулобетону формується після ущільнення суміші. При малому вмісті мінерального в'язучого (менше 5 %) розсунення гранул в асфальтогранулобетоні може бути незначним. В цьому випадку оброблені розрідження бітумом зерна асфальтогранулята.

Збільшуються і склеюються, збільшуючи частку коагуляційних контактів. При зближенні зерен асфальтогранулята можливе вижимання бітумної плівки із зон підвищених напруг. Об'ємний бітум заповнює міжзернові пустоти. На частках асфальтогранулята залишається плівка орієнтованого розрідженого бітуму з більшою в'язкістю, ніж у вільного бітуму.

Коагуляційний зв'язок підсилюється, міцність всієї системи зростає. Тісто з в'язучого, що включає крапельки і плівки розрідженого бітуму, а також дрібні зерна асфальтогранулята розташовуються в між гранулярних пустотах. Коагуляційна структура у в'язучого зберігається тривалий час. Хоча добавка бітуму і сповільнює первісний процес гідролізу і гідратації мінерального в'язучого. Вона не заважає подальшому твердінню суміші.

Завдяки наявності розрідженого бітуму підвищується ущільнюваність асфальтогранулобетонної суміші.

Позитивна роль бітуму в структурі асфальтогранулобетона полягає також у модифікації пористої структури за рахунок гідрофобізації стінок пористих каналців і капілярів, зменшення розмірів наскрізних пор.

Здатність утворювати міцні конденсаційно - кристалізаційні зв'язки при твердінні мінерального в'язучого ,а також наявність гнучких коагуляційних бітумних зв'язків між зернами асфальтогранулята і прошарків бітуму серед продуктів гідратації мінерального в'язучого є основними факторами, що визначають кращі деформативні властивості, високу міцність, водо і морозостійкість асфальтогранулобетону на комплексному в'язучому.

Гамеляк І.П., д-р техн. наук, Коц І.В., канд. техн. наук, Бадьора Н.П.

РЕМОНТ ДОРОЖНЬОГО ТА АЕРОДРОМНОГО ОДЯГУ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІДРОІМПУЛЬСНОГО ІН'ЄКЦІЙНОГО УСТАТКУВАННЯ

Постановка задачі

Транспортно-експлуатаційний стан проїзної частини автомобільних доріг є найважливішим фактором, який впливає на ефективність функціонування системи транспорту. Пошкодження покриття автомобільних доріг та аеродромів виникає внаслідок перевищення допустимих напружень в окремих шарах або ґрунті земляного полотна конструкції дорожнього одягу. Це пов'язане з дією понаднормативних транспортних навантажень і/або погодних факторів, які діють зовні, що призводять до розтягуючих напружень в монолітних шарах та напружень зсуву у незв'язних шарах та ґрунтах земляного полотна. Внаслідок цього в дорожньому одязі виникають різного роду пошкодження та руйнування: тріщини, вибоїни, зсуви, просадки та проломи тощо. При несвоєчасному ремонті це може призвести до аварійних ситуацій, до пошкодження транспортних засобів і матеріалів чи обладнання та вантажів, яке вони перевозять, а також викликає загрозу безпеці людського життя. Таким чином, розробка нових технологій і засобів з ремонту та посилення дорожнього та аеродромного одягу є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз останніх досліджень показав, що відомі способи та методи з ремонту дорожнього покриття не дають бажаного результату, так як в переважній більшості використовують обладнання для статичного нагнітання розчинів в основу дорожнього одягу [1, 2]. Відомі пристрої для підсилення

дорожнього одягу, що базуються на використанні струменевого нагнітання зі сталим робочим тиском, не забезпечують бажаного результату, оскільки розчин не проникає на необхідну глибину і не забезпечується якісне зчеплення ґрунту з технологічним розчином, що значно зменшує термін експлуатації відремонтованої дороги в подальшому [3].

Формулювання мети та задач

Метою роботи є розробка технології та устаткування для гідроімпульсного ін'єктування цементуючих розчинів при ремонті дорожнього та аеродромного одягу. Задачами дослідження є перевірка запропонованого методу підсилення та ремонту дорожнього покриття, а також встановлення достовірності гіпотези щодо більшої глибини проникнення розчину при використанні імпульсного способу ін'єктування.

Виклад основного матеріалу

Критеріями для визначення ремонту покриттів є зменшення показників рівності доріг до допустимого значення і накопичення деформацій та руйнувань.

В результаті довготривалої експлуатації проїзної частини та ряду інших причин виникає ряд дефектів:

- провали під навантаженнями, що виникають внаслідок локальної слабості ґрунту під щебеними основами;
- осадка ґрунту, а потім і основи, яка виникає при суттєвій локальній водонасиченості підземних шарів;
- руйнування дорожнього одягу при ліквідації аварій на комунікаціях;
- відсутність контролю за відновленими конструкціями доріг після ремонту;
- руйнування асфальтобетонних шарів під дією тривалих навантажень, що пов'язане з неякісним укладанням та ущільненням шарів асфальтобетону;

- неякісна або недостатня підготовка поверхні перед укладанням, або неякісне ущільнення;

- макроруйнування полотна, що виникає внаслідок неправильного проектування при визначенні дорожніх навантажень, або некваліфікованих рішень проектувальників [5].

В залежності від виду руйнування дорожнього та аеродромного одягу особливостей його експлуатації виділяють наступні методи ремонту доріг та аеродромів [6-7]:

1. Ремонт з заміною верхнього шару дорожнього та аеродромного покриття.

2. Ремонт картами з заповненням гарячим асфальтобетоном.

3. Ремонт з використанням холодного асфальтобетону.

4. Ремонт методом струменевого нагнітання.

Встановлено, що найбільш продуктивний та оперативний ремонт дорожнього покриття досягається за допомогою струменевого нагнітання технологічного розчину під певним тиском в ремонтні ділянки. Для перевірки ефективності струменевого методу підсилення дорожнього полотна нами було розроблене нове устаткування [4] та експериментальний стенд, що представлений на рис. 1.

Експериментальні дослідження проводились з використанням експериментального стенду запропонованої конструкції (рис. 1). Як досліджуваний матеріал застосовувався щебінь розмірами частинок 5...20мм. Для виконання експериментальних досліджень було підготовлено декілька ємностей з щебенем відповідного розміруфракцій. Експеримент проводився у 2 етапи: на першому етапі нагнітання технологічного розчину здійснювалося статичне навантаження силового плунжера нагнітального пристрою, а на другому – до статичного навантаження додавалось імпульсне привантаження. Як технологічний розчин використовувався водоцементний розчин з співвідношенням 1:1 (Ц:В) з густиною 1650 кг/м³ і динамічною в'язкістю 50 мПа·с . Для приготування розчину застосовувався цемент марки М 400.

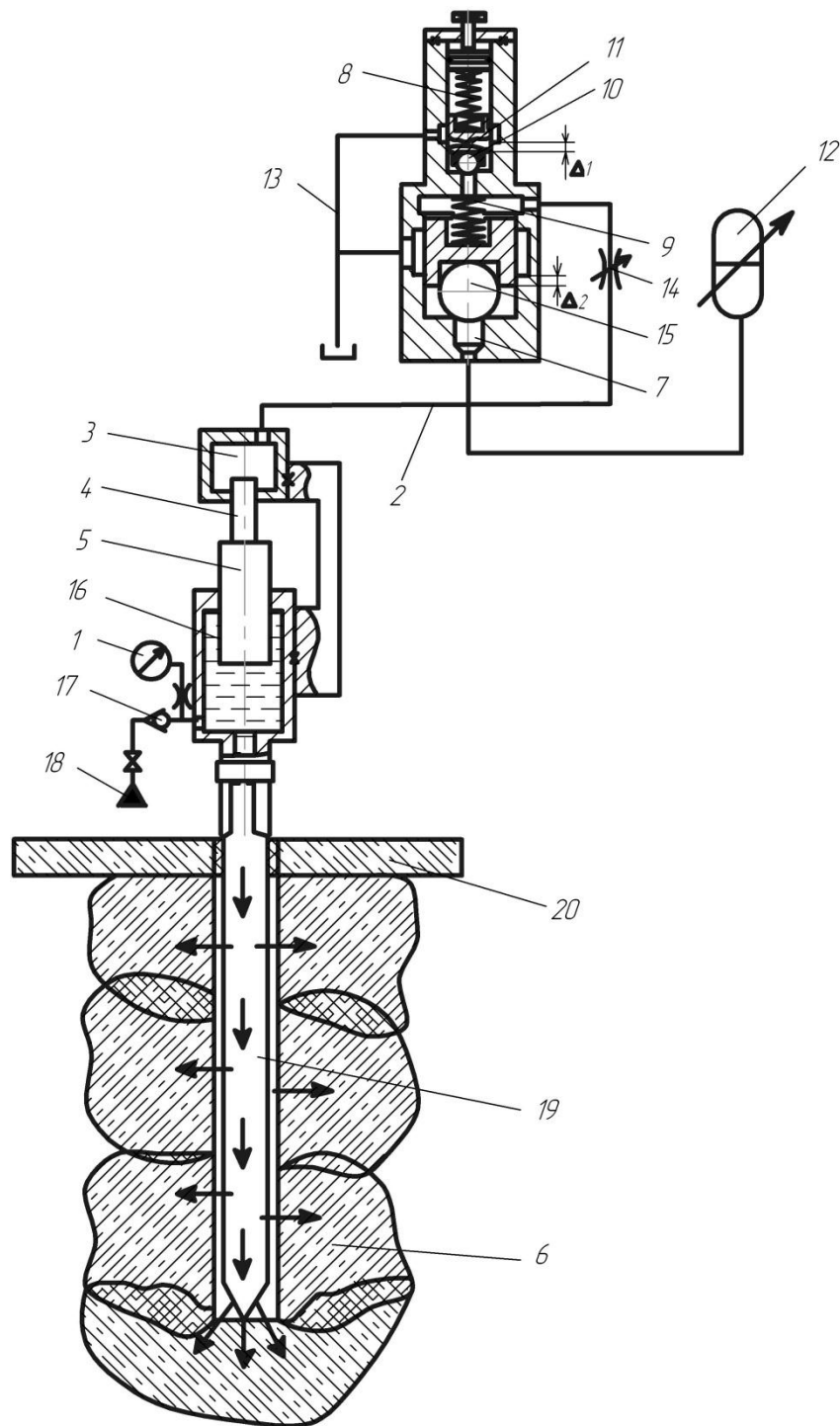


Рисунок 1 - Принципова схема випробувального стенда: 1 – манометр; 2 – гідролінія; 3 – камера робочого ходу; 4, 5 – плунжера; 6 – ґрунтовий масив; 7 – порожнина управління; 8, 11 – надклапанна порожнина; 9 – регулювальна пружина; 10, 15 – запірні елементи; 12 – регульована ємність для зміни об’єму привідної гідросистеми; 13 – зливний трубопровід; 14 – запобіжна лінія; 16 – напірна камера; 17 – клапани зворотні; 18 – трубопровід, що служить для подачі розчину технологічного розчину; 19 – ін’єктор; 20 – зовнішній шар дорожнього одягу

В результаті проведених експериментів було отримано для порівняння ряд зразків тіл заповнення, що утворені, відповідно, при імпульсному та статичному нагнітанні цементного розчину у щебенеу структуру, зовнішній вигляд цих типових зразків показано на рис.2.

Співставлення результатів експериментальних досліджень, яке проводилось згідно утворених у щебеневої структурі тіл заповнення (рис. 2), показало, що імпульсне нагнітання технологічних скріпних розчинів в масив ремонтваного дорожнього покриття є більш ефективним, тому що відбувається якісне заповнення порожнин у щебені і тіла заповнення, які утворені у товщі щебеневого масиву, мають значно більші розміри, внаслідок проникнення розчину на більшу глибину. В кінцевому результаті при практичному застосуванні це гарантуватиме високу міцність основи дорожнього та аеродромного покриття.



Рисунок 2 - Типові експериментальні зразки тіл заповнення утворені при імпульсному та статичному нагнітанні розчинів, відповідно

Експериментальні дослідження показали, що: при малій глибині занурення ін'єктора в ділянку, яку необхідно підсилювати, відбувається прорив певного об'єму розчину на поверхню. А при великій глибині занурення ін'єктора розчин поширюється лише в навколишньому просторі свердловини і не проникає на зовнішню поверхню ремонтваної ділянки.

При ін'єкційному ремонті дорожнього покриття, як правило, утворюється просторова структура розчину, яка представляє собою центральний стержень з горизонтальними та похилими прошарками розчину.

Значний вплив на глибину проникнення технологічного скріпного розчину в товщу ґрунтового масиву дорожнього полотна має збільшення об'єму подачі технологічного скріпного розчину, що визначається за встановленою нами експериментальною залежністю:

$$t = 1,04n - 105,55, \quad (1)$$

де t – глибина проникнення розчину, мм;

n – збільшення об'єму подачі розчину, %.

Графік залежності представлений на рис. 3. З рисунка видно, що підвищення подачі розчину веде до збільшення глибини його проникнення.

Аналіз отриманих залежностей (рис. 3) показав, що збільшенням об'єму поданого технологічного скріпного розчину на 170% забезпечує глибину його проникнення до 80 мм. Мінімальна глибина просочення скріпним розчином близько 8 мм досягається при збільшенні об'єму на 110%.

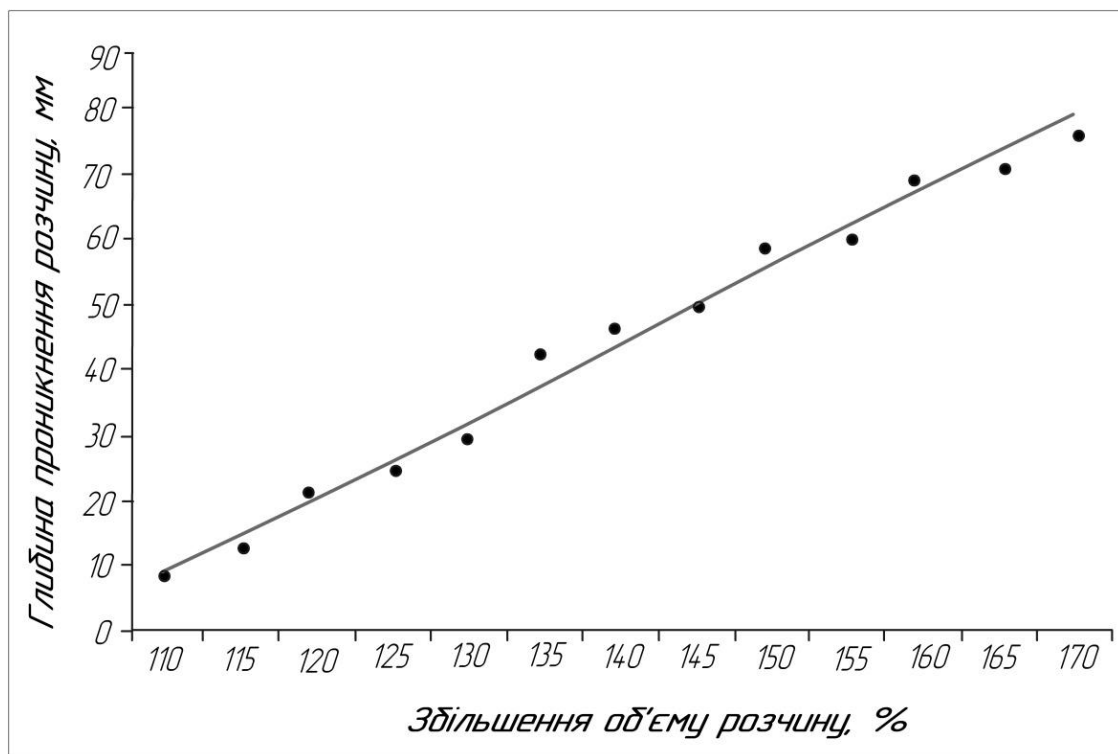


Рисунок 3 - Залежність глибини проникнення розчину від об'єму розчину

Висновок

1. Запропоноване та розроблене нове устаткування для підсилення і ремонту основи дорожнього та аеродромного покриття, яке експериментально підтвердило свою працездатність та ефективність.

2. Проведені експериментальні дослідження підтвердили ефективність струменевого методу ремонту дорожнього та аеродромного покриття. При використанні імпульсного способу нагнітання технологічних скріпних розчинів в товщу дорожньої та аеродромної основи, глибина проникнення цього розчину збільшується у порівнянні з традиційними статичними способами.

3. Наведена залежність, яка дозволяє визначити необхідну глибину проникнення імпульсного струменя технологічного скріпного розчину в залежності від збільшення об'єму поданого скріпного розчину.

Література

1. Патент № 2227616 RU Росії, МПК E02D 3/12, E01B 1/00. Способ ремонта железнодорожного земляного полотна / Крицкий М.Я, Скоркин В.Ф, Ланис А. Л – № 2004122283/03, заявл. 19.07.2004, одерж. 20.01.2006.
2. Способы ремонта асфальтобетонных покрытий [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.dor.ru/articles/1/3/sposoby-remonta-asfaltobetonnuyh-pokrytii>.
3. Патент № 2148690RU Росії, МПК E01C23/06. Способ ремонта бетонных или железобетонных покрытий дорог, мостов и аэродромов /Коротышевский О.В.; Белобородов К.Ю.– № 98103108/03, заявл. 13.02.1998, одерж.10.05.2000.
4. Патент на корисну модель № 54122U Україна, МПК₈ E02D 3/00, E21B 43/16, E21D 20/00. Установка импульсной дѣи для нагнітання сумішей в ґрунтовий масив / Коц І. В., Бадьора Н. П.; заявник і власник патента Вінницький національний технічний університет. – № u201005469; заявл. 05.05.2010; опубл. 25.10.2010. Бюл. № 20.
5. Меренцова Г.С. Современные методы ремонта автомобильных дорог / Г.С. Меренцова, Н.Ю. Рыжиков, А.С. Зименков // Научно-практическая конференция Алтайского государственного университета им. И.И. Ползунова. – 2007. – 3 с.
6. Ремонт дорожных покрытий. [Электронный ресурс]. Режим доступа:http://www.rastom.ru/info/remont_dorozhih_pokritiy.html.
7. Лещинская Т.П., Попов В.А. Современные методы ремонта аэродромных покрытий. Учебное пособие. М.: МАДИ, 1999. – 61 с.

Литвиненко А.С., Волощук Д.В., Петренко М.Л. (ДерждорНДІ)

**ДОСВІД ПОРІВНЯЛЬНОЇ ОЦІНКИ УЩІЛЬНЕНОСТІ
ДРІБНОЗЕРНИСТИХ ПІСКІВ, ЩО ВИКОНУВАЛАСЬ РІЗНИМИ
МЕТОДАМИ, ПРИ СПОРУДЖЕННІ ІЗ НИХ ТРАНСПОРТНИХ
РОЗ'ЯЗОК В М. КИЇВ**

Анотація. В роботі йдеться про оцінку ущільненості дрібнозернистого піску на завершальній стадії будівництва (приймальні випробування) насипів транспортних розв'язок, з метою об'єктивного визначення кількості використаного для їх спорудження піску і вартості виконаних земляних робіт.

Ключові слова: пісок дрібнозернистий, щільний, переущільнений, ріжуче кільце, штампіві випробування (динамічний модуль пружності), динамічне зондування (удосконалена методика).

Аннотация. В работе говорится об оценки уплотнённости мелкозернистого песка на завершающей стадии строительства (приёмный контроль) насыпей транспортных развязок с целью объективного определения количества использованного для их сооружения песка и стоимости земляных работ.

Ключевые слова: песок мелкозернистый, плотный, переуплотнённый, режущее кольцо, штамповые испытания (динамический модуль упругости), динамическое зондирование (усовершенствованная методика).

Annotation. The work deals with the estimation of fine-grained sand compaction at the finishing stage of construction (acceptance tests) of road mounds of transport junctions, with the purpose of objective determination of both, the amount of used sand and the earthworks cost of construction.

Key words: fine-grained sand, dense, overconsolidated (overcompacted), cutting ring, stamp test (dynamic module of resiliency), dynamic probing (an improved method).

Вступ

Оцінка щільності пісків в польових умовах становить певні труднощі через специфічні властивості цих ґрунтів як у природному заляганні, так і в штучно створених ґрунтових масивах чи тонких прошарках інженерних споруд, наприклад, у дорожніх одягах. Згідно ДСТУ Б В.2.1-8-2001 [1, стор. 17] для щільних пісків слід використовувати обурюючі ґрунтоноси, для пухких пісків – такі, що задавлюють у ґрунт, а для пісків середньої густини – забивні. При спорудженні дорожніх насипів пісок повинен бути у щільному і переущільненому ($k_{yщ} \geq 1,0$) стані. Тобто для отримання об'єктивних значень щодо густини таких пісків у сухому стані необхідно користуватись обурюючими ґрунтоносами. В реальних же умовах, при пошаровому контролі якості ущільнення пісків, через відсутність необхідного обладнання, зазвичай, застосовують забивні ґрунтоноси – ріжучі кільця, які більш-менш обережно забивають у пісок декількома ударами спеціального пристрою, подібного до ударника В.И. Волкова (СоюздорНИИ). Такий спосіб розглядають як еталонний, тобто стандартний.

Основна частина

Добре відомо із багатьох публікацій, що більш пухкі піски ($k_{yщ} \ll 1,0$) при забиванні ріжучих кілець дещо доущільнюються, а більш щільні ($k_{yщ} \approx 1,0$) навпаки розущільнюються. Причому чим меншим є розмір ріжучого кільця ($V=150-200 \text{ см}^3$) тим сильніше це позначається на достовірності результатів таких вимірювань. Тому ДСТУ [1, стор. 15] рекомендує щоб мінімальний об'єм ріжучого кільця для пісків був не меншим за $635,0 \text{ см}^3$ ($d=9,0 \text{ см}$, $h=10,0 \text{ см}$).

Нажаль, підрядчики при контролі якості ущільнення пісків в багатьох випадках не дотримуються цих рекомендацій використовуючи ріжучі кільця меншого об'єму, що призводить до значного заниження значень об'ємної

густини сухого ґрунту, а у звітності відповідно і до зменшення маси укладеного в насип піску. А це суттєво впливає на вартість земляних робіт, через що вони мають значні збитки. Вважається, що якщо середнє значення коефіцієнта ущільнення $k_{\text{ущ}} \geq 0,98$ (за наданими протоколами і актами), то цього вже достатньо для позитивної оцінки виконаних робіт. Не вдаючись до детального кількісного аналізу таких актів, що підрядчики, зазвичай, в переважній більшості випадків надають по багатьом об'єктам по всій країні, покажемо (рис. 1) в чому вони програють, не маючи сучасних приладів контролю якості ущільнення піщаних ґрунтів.

У випадку [2] згідно рекомендацій [3] директивний (заданий) нормальний статистичний розподіл густини сухого ґрунту при мінімальному значенні $k_{\text{ущ min}}=0,98$ і $\alpha=95\%$ має такі параметри: середнє значення $\bar{\rho}_d = \rho_{d \text{ max}}=1,81 \text{ г/см}^3$ і середнє квадратичне відхилення – $S=(1,81-1,81 \times 0,98) \div 1,645=2,19^{-2} \text{ г/см}^3$, де число 1,645 – нормоване стандартне відхилення нормального розподілу при односторонній довірчій ймовірності 95%. На рис. 1 цей розподіл показаний пунктиром. Згідно одного з типових актів підрядчика при 14 значеннях вимірів, у одній із конкретних вибірок виконаних методом ріжучого кільця об'ємом $393,0 \text{ см}^3$, маємо такі параметри експериментального нормального розподілу: $\bar{\rho}_{de}=1,768 \text{ г/см}^3$ і $S_e=1,25^{-2}$. Тобто середнє значення цієї вибірки менше мінімального значення, а весь розподіл знаходиться лівіше середини директивного розподілу. Цей розподіл на рис. 1 показаний із позначкою $V \approx 400 \text{ см}^3$. Таким чином підрядчик з одного боку знає що уклав у насип і добре ущільнив велику кількість піску, а з другого боку не може цього довести. В той же час контрольна оцінка густини сухого ґрунту ріжучим кільцем 500 см^3 , виконана одним із підрозділів ДерждорНДІ при 9 вимірах, дозволяє розрахувати нормальний статистичний розподіл з такими параметрами $\bar{\rho}_{de}=1,807 \text{ г/см}^3$ і $S_e=2,34^{-2} \text{ г/см}^3$. Цей розподіл показаний на рис. 1 з позначкою $V=500 \text{ см}^3$. Як видно він значно краще узгоджується із директивним розподілом. Але і ця експериментальна вибірка не дає достатньо об'єктивної оцінки ущільненості піску у насипу через його розпушування при забиванні ріжучого кільця у переущільнений пісок, як відмічено у ДСТУ [1].

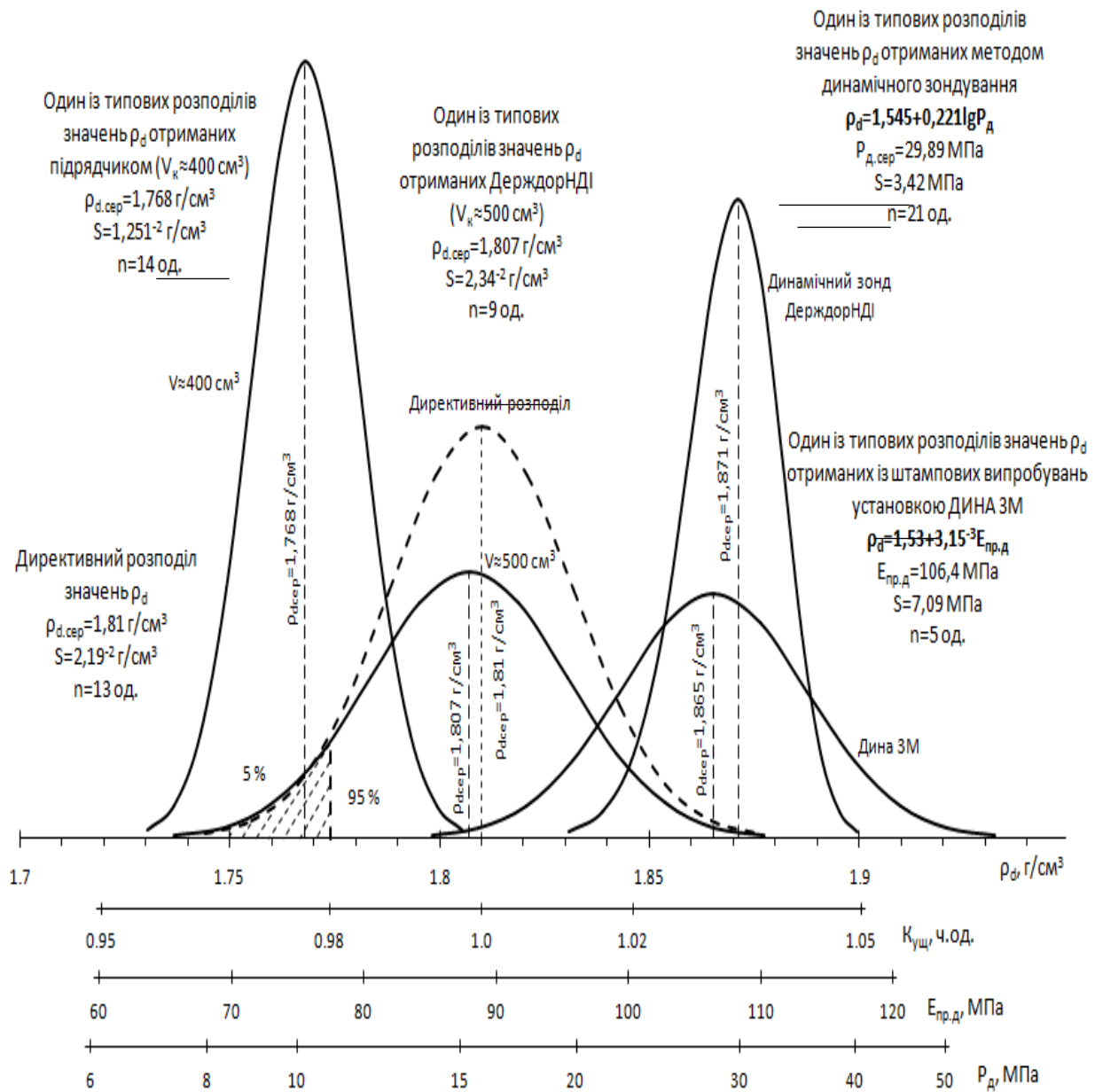


Рисунок 1 – Порівняння оцінок ущільненості дрібнозернистого піску що здійснені різними виконавцями та різними методами

Далі розглянемо ефективність застосування для оцінки ущільненості такого «делікатного» матеріалу як пісок – штапових випробувань. На тому самому місці, де виконувались і попередні дослідження була задіяна установка динамічного навантаження ДИНА–3М [2] із діаметром штапа 33 см. Як показали статистичні розрахунки, для вибірки із п'яти точок випробувань, для динамічного модуля пружності ущільненого дрібнозернистого піску отримали такі характеристики нормального статистичного розподілу: $\overline{E_{пр,д}} = 106,4 \text{ МПа}$ і

$S=7,09$ МПа. Якщо порівнювати з вимогами [4, стор. 88], то $\overline{E}_{\text{пр.д}}=106,4$ МПа $> 100,0$ МПа. Тобто начебто все добре і на цьому можна було б поставити крапку. Але треба нагадати, що ступінь ущільнення ґрунту, як би він не оцінювався, є не просто показник якості виконання робіт, а і економічна категорія, що пов'язана із кількістю витраченого матеріалу і вартістю робіт з його ущільнення. Наш попередній досвід використання установки ДИНА-3М та приладу ZFG-02 (рис. 2) [5], наприклад, у роботі [6] та ін., дозволив нам визначити для дрібнозернистих пісків таку емпіричну залежність:

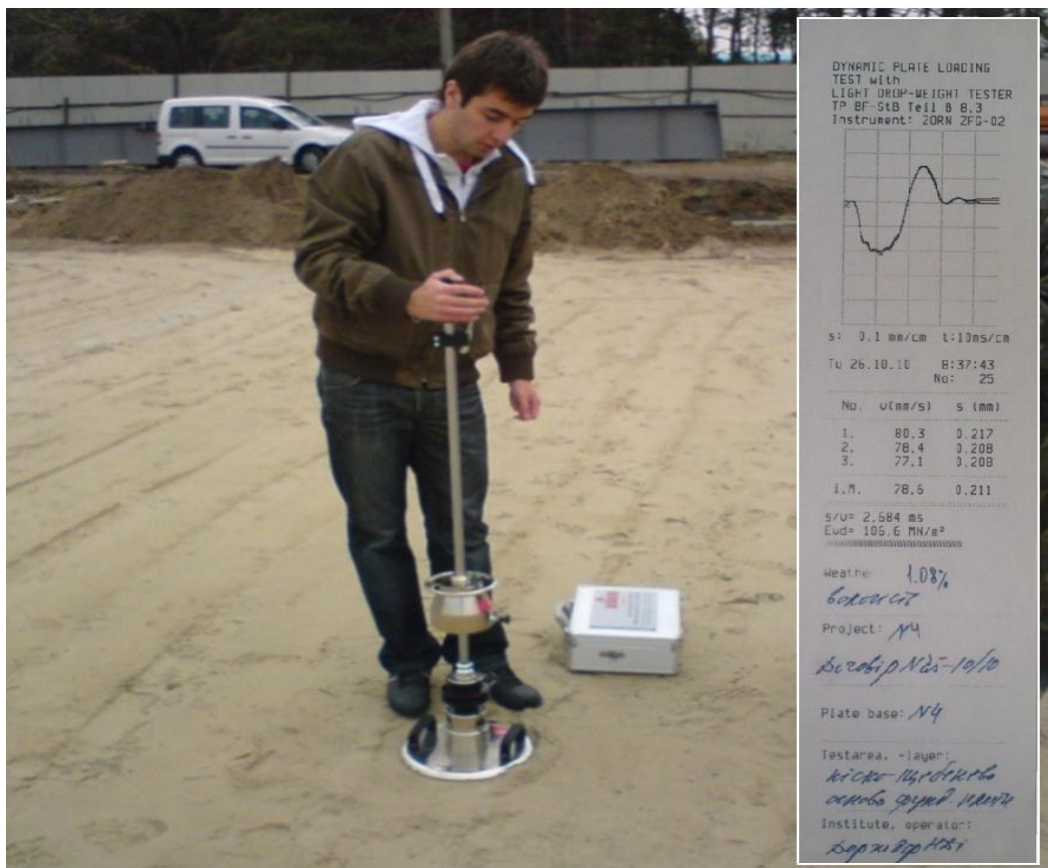
$$\overline{\rho_d}=1,53+3,15^{-3} \cdot E_{\text{пр.д}}$$


Рисунок 2 – Штампові випробування з використанням приладу ZFG-02 та протокол результатів випробувань, що він роздруковує на кожній точці з визначенням дати і часу випробувань

Це в свою чергу дозволяє порівнювати значення динамічного модуля пружності отримані методом динамічного навантаження із відповідними

показниками отриманими іншими методами відносно значень густини сухого ґрунту ρ_d . З рис. 1 видно, що значення $E_{пр.д}=100,0$ МПа приблизно відповідає $k_{ущ}=1,03$ для дрібнозернистих пісків, а не $k_{ущ}=1,0$ як можна було уявляти до цього. Тобто розрахункове для дорожніх одягів значення $E_{пр.д}=100,0$ МПа, для дрібнозернистих пісків може бути використане тільки, коли фактично досягнутий ступінь їх ущільнення в середньому більше одиниці. Ще одним методом оцінки ущільненості дрібнозернистих пісків, який використовувався у проведених дослідженнях, був метод динамічного зондування за удосконаленою методикою розробленою у ДерждорНДІ [7]. Цей метод дозволяє оцінювати стан насипів практично на всю її висоту, тобто на глибину до 12-15 м (рис. 3).

На рис. 4–5 показані епюри опору піску динамічному зондуванню ще на деяких поперечних розрізах транспортних розв'язок, що споруджувались в Києві у 2011 році і стан яких оцінювався за схемою приймального контролю. Тобто можливості цього методу значно більші ніж раніше розглянутих бо він дозволяє визначити неоднорідність ущільнення ґрунтів по висоті насипів. Враховуючи дані рис. 3 верхня частина насипу № 2 була частково розібрана, а потім знову споруджена із пошаровим ущільненням. Оскільки подібні дослідження виконувались також і на тій ділянці насипу, де раніше ущільненість піску оцінювалась ріжучими кільцями і установкою ДИНА–3М [2], то отримали для неї ще й статистичний розподіл значень показників опору піску динамічному зондуванню: $\bar{P}_d=28,89$ МПа; $S=3,42$ МПа, $n=21$. Як показали наші дослідження, що виконувались раніше, значення $\rho_d, \text{г/см}^3$ для дрібнозернистих пісків пов'язані із значеннями $P_d, \text{МПа}$ емпіричною залежністю $\rho_d=1,545+0,2211\text{г } P_d$, що дає можливість і цей статистичний розподіл показати разом із іншими на рис. 1. Характерно, що отриманий цим методом статистичний розподіл у значеннях ρ_d дуже добре збігається з аналогічним розподілом ρ_d для штампових випробувань ДИНою–3М. Цей розподіл також підтверджує той факт, що пісок по висоті насипу ущільнений з коефіцієнтом ущільнення близько $k_{ущ}=1,03$.

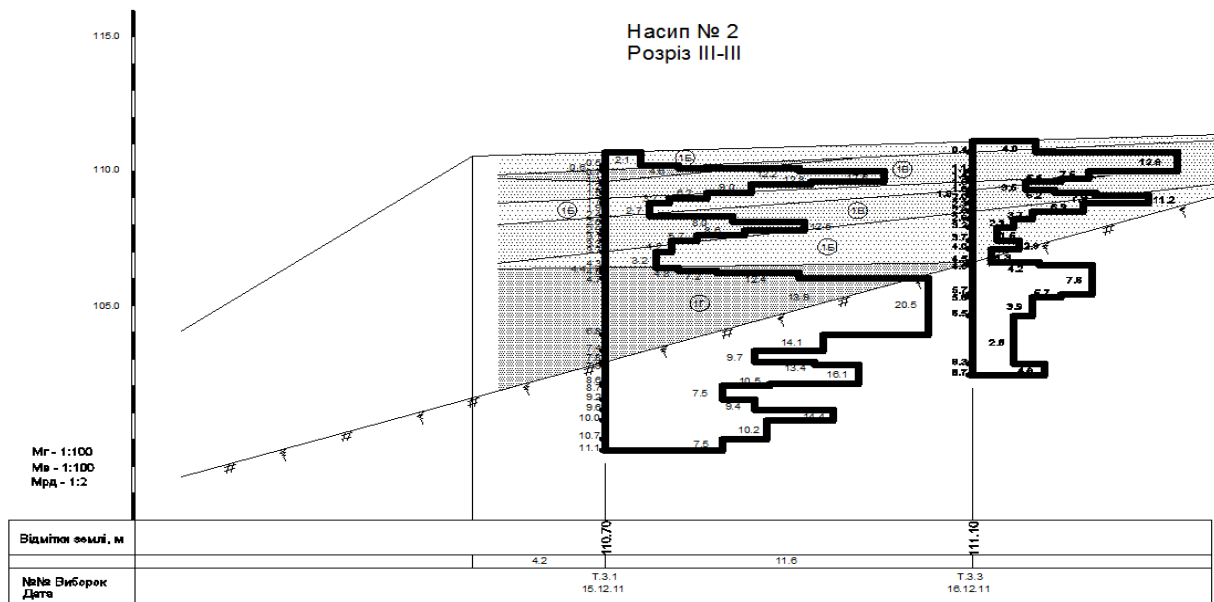


Рисунок 3 – Розподіл опору піску динамічному зондуванню по одному з поперечних розрізів насипу № 2 транспортної розв’язки на Набережному шосе у Печерському районі м. Києва [8]

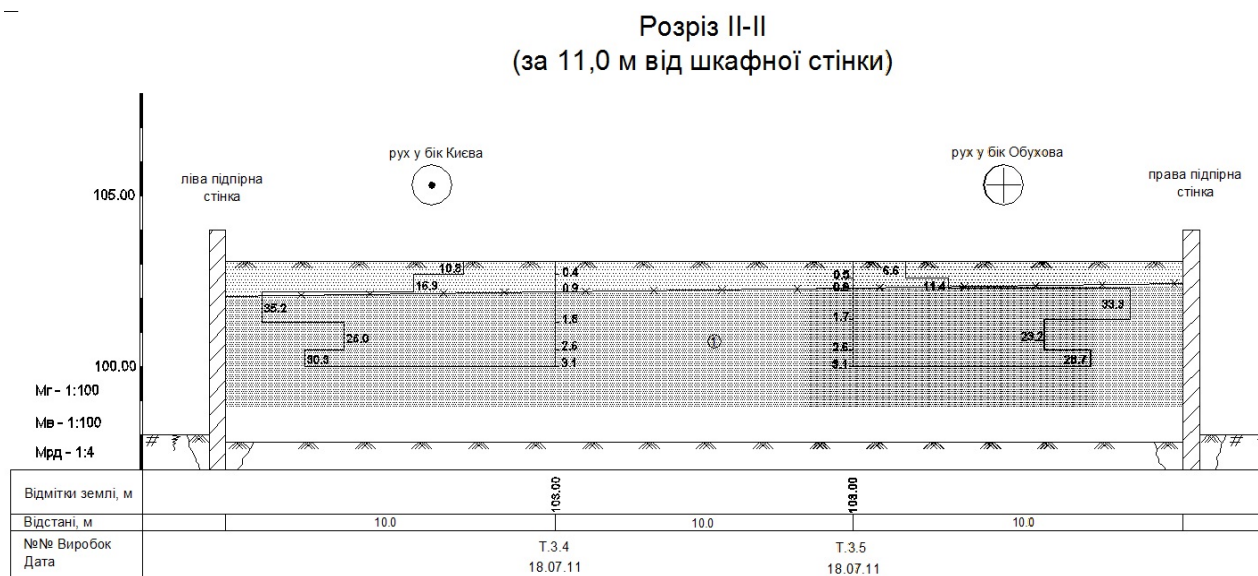


Рисунок 4 – Розподіл опору піску динамічному зондуванню на одному із розрізів розв’язки на Столичному шосе в Голосіївському районі м. Києва

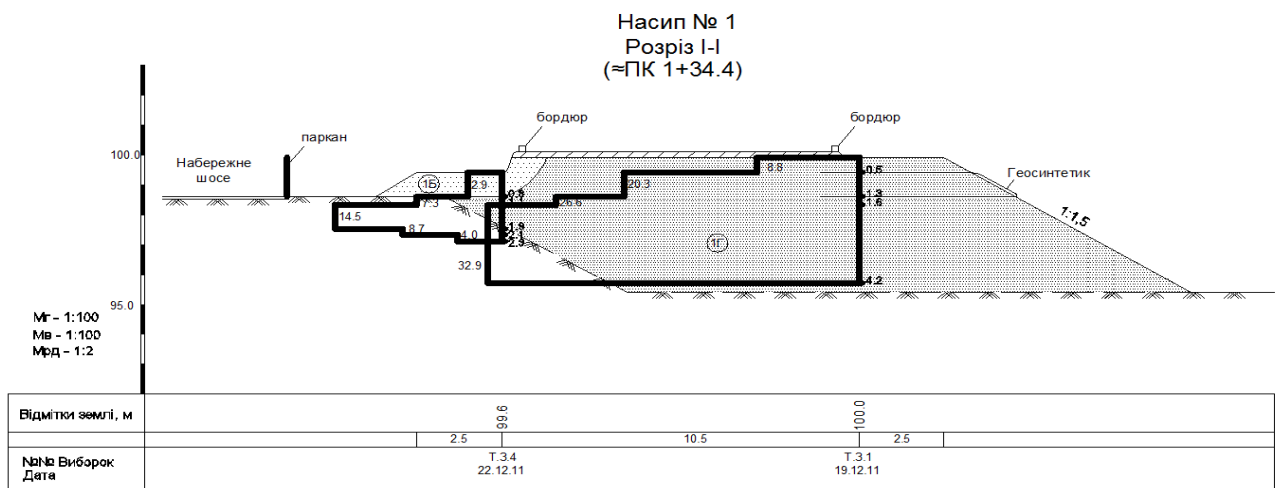


Рисунок 5 – Розподіл опору піску динамічному зондуванню на відмиканні від Набережного шосе у Печерському районі м. Києва [8]

Але значення R_d є досить великими тільки для глибини зондування, яка, зазвичай, перевищує 0,6–0,9 м. Як видно з рис. 3, 4 і 5, у поверхневих шарах піску, як і для ріжучих кілець, які хоч і досить обережно але забиваються в пісок, тут також відбувається розпушування піску внаслідок занурення у нього наконечника зонду. І хоча коефіцієнт ущільнення на поверхні шару досить великий, наприклад, при $R_d=10,8$ МПа, $k_{ущ}=0,98$ (рис. 4, Т.3.4), не рекомендується при оперативній оцінці ступеню ущільнення пісків використовувати будь-які пристрої динамічного зондування через невелику товщину шару ґрунту, що ущільнюється (0,3–0,5 м), оскільки вже своєю конструкцією і принципом дії вони занижують реальну і часто досить велику фактичну щільність пісків, що без особливих витрат досягається сучасними ґрунтоущільнюючими засобами при товщині шару піску, який не перевищує 0,35 м у пухкому стані.

Тут варто також зупинитись ще на одному важливому моменті ущільнення всіх видів пісків крім пілуватих, який має не тільки технологічне, але і економічне значення, це питання так званої оптимальної вологості. Як показує досвід, не варто наполягати чи навіть акцентувати на необхідності, що змушує підрядчика виконувати цю норму при ущільненні пісків, дотримуватись вологості близької до оптимальної. Всі піски крім пілуватих однаково добре ущільнюються з коефіцієнтами ущільнення $k_{ущ}>1,0$ при будь-якій вологості

оскільки для них більш важливими факторами є саме вібрація і оптимальна товщина шару у пухкому стані, тобто перед ущільненням, і ця товщина, як ми вже згадували, не повинна перевищувати 0,35 м. Таким чином вологість пісків повинна бути лише такою, як природна у кар'єрі (при $w > 5\%$), або у межах 3–5 %, яка дозволяє взагалі з ним працювати без особливих проблем.

Висновки

1. При існуючому розвитку ґрунтоущільнюючої техніки і витримуванні оптимальної (раціональної) товщини шару 0,35 м піщані і гравіюваті ґрунти завжди можливо достатньо просто ущільнити в середньому до показників $\overline{k_{ущ}}=1,02-1,05$, що повинно враховуватись при оплаті таких земляних робіт.

2. Найдоцільніше ступінь ущільнення піщаних ґрунтів, і не тільки їх, при оперативному контролі якості визначати за допомогою приладу ZFG 02, час одного вимірювання яким становить близько 3 хв. Результати його вимірювань $E_{пр.д.}$, МН/м² (МПа), які при ущільненні пісків не залежать від їх вологості, можна безпосередньо порівнювати із табличним значенням аналогічного показника [4].

3. Використання цього приладу дозволяє досить просто і швидко здійснювати пробне ущільнення піщаних ґрунтів з метою визначення необхідної кількості проходів котка при товщині пухкого ґрунту 0,35 м і модулі пружності його основи не менше ніж необхідний модуль динамічної пружності шару, що ущільнюється.

4. Миттєвий роздрук отриманого результату випробування з наданням інформації про дату і час цього випробування в значній мірі забезпечує раціональну роботу підрядчика і дисциплінує його, а також дає замовнику впевненість у дійсному виконанні цієї роботи з необхідною якістю. Ксерокопії цих протоколів повинні надаватись замовнику, а також проектанту для удосконалення методів розрахунку дорожніх одягів і стійкості укосів земляного полотна.

5. Для оцінки кількості використаного при спорудженні насипів піску і розрахунку вартості виконаних робіт слід користуватись наведеною в статті

залежністю густини сухого ґрунту дрібнозернистого піску від динамічного модуля пружності $\rho_d=f(E_{\text{пр.д.}})$, г/см³.

Література

1. ДСТУ Б В.2.1-8-2001 Основи та фундаменти споруд. Ґрунти. Відбирання, упакування, транспортування і зберігання зразків. Держбуд України. Київ 2002.
2. «Визначення стану ущільнення земляного полотна (на підходах) залізобетонної естакади в складі об'єкту: «Будівництво транспортної розв'язки на примиканні просп. Науки до Столичного шосе в Голосіївському районі м. Києва на завершальній стадії будівництва». Звіт про виконання роботи за договором № 266-11. ДерждорНДІ. Київ 2011.
3. А.С. Литвиненко «До питання нормування ступеня ущільнення та контролю якості ущільнення ґрунтів земляного полотна автомобільних доріг» Автошляховик України № 2 – 2011, 41-45 с.
4. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. Укравтодор. Київ 2004.
5. Mechanical Workshops – Gerhard Zorn – Benz str. 1-D, 39576 Stendal Germany.
6. «Здійснити оцінку ущільненості основи з піско-щебеню під фундаментну плиту льодового поля по вул. Міста-Шалетт, 6». Звіт про виконання роботи за договором № 25-10/10. ДерждорНДІ. Київ 2010.
7. А.С. Литвиненко «Удосконалення методики обробки даних, отриманих методами динамічного і статистичного зондування ґрунтів». Збірник «Дороги і мости» ДерждорНДІ. Вип. 3. Київ 2005.
8. «Здійснити приймальні випробування ущільненості насипів реконструйованої частини розв'язки на примиканні Дніпровського узвозу до Набережного шосе у Печерському районі м. Києва». Звіт про виконання роботи за договором № 459-11. ДерждорНДІ. Київ 2012.

Роман С.В., канд. техн. наук, Кизима С.С., канд. техн. наук

ОСНОВНІ ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДОРОЖНІХ ВКЛАДЕНЬ В УМОВАХ МІСЬКИХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

Сьогодні основною проблемою міських дорожніх господарств, які функціонують в умовах практично сформованих вулично-дорожніх мереж, є підвищення ефективності використання ресурсів на проведення дорожніх ремонтно-відновлювальних робіт, а саме робіт з капітальних та поточних (середніх) ремонтів, оскільки роботи цієї групи безпосередньо спрямовані на підтримання відповідності стану міських вулиць і доріг вимогам руху. Це по-перше. По-друге, на реалізацію саме цих робіт міські дорожні господарства щорічно витрачають близько 70% своїх бюджетів [1 – 4, 6].

Беручи при цьому до уваги низький рівень фінансування міських дорожніх господарств, який останніми роками для різних населених пунктів України коливається в межах 50 – 75 % від реальної потреби, проблема підвищення ефективності використання ресурсів набуває надзвичайної значимості.

Є декілька принципових напрямків вирішення цієї проблеми. Вони зображені на рис.1.

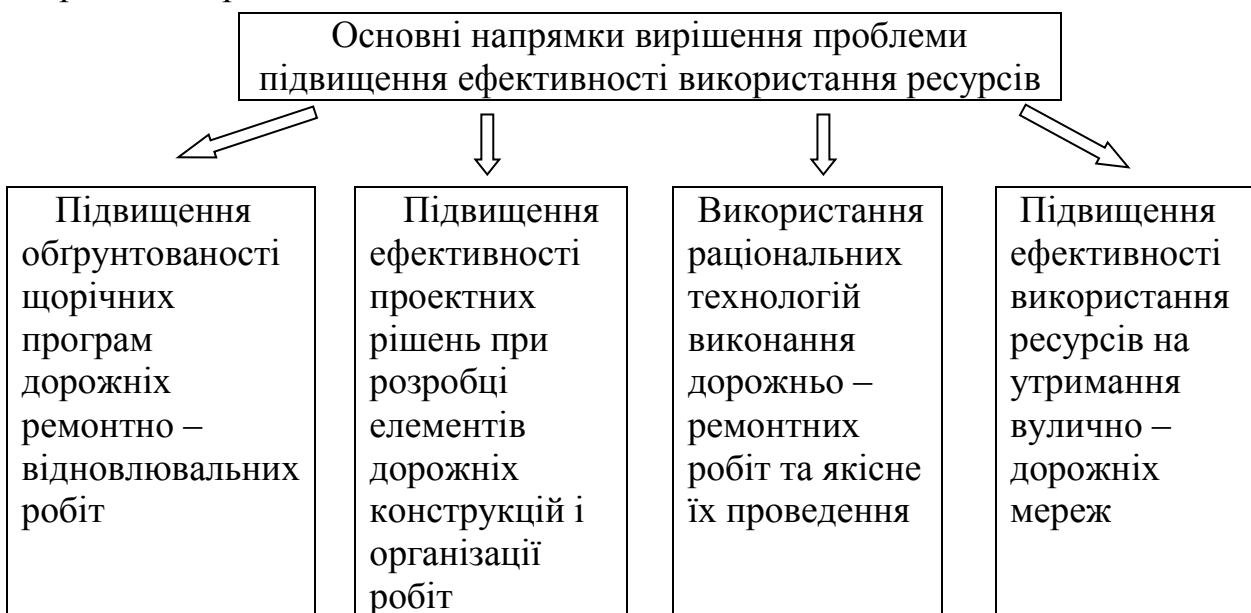


Рисунок 1 – Основні напрямки підвищення ефективності використання ресурсів міськими дорожніми господарствами

Основним із наведених на рис. 1 напрямків є підвищення обґрунтованості міськими дорожніми господарствами щорічних програм дорожніх ремонтно-відновлювальних робіт.

Вивчення області досліджень показало, що спеціальних системних досліджень, які забезпечили б створення методик для специфічних міських умов з метою реалізації даного напрямку, практично не проводилося. Дана задача вирішувалася шляхом пристосування до міських умов результатів розробок для заміських доріг [1, 3, 5]. Таке пристосування не завжди є вдалим, оскільки не дозволяє достатньо повно враховувати специфіку та умови роботи міських вулиць і доріг.

До основних особливостей функціонування міських вулиць і доріг, які потребують врахування при розробці методів обґрунтування програм дорожньо-ремонтних робіт, необхідно віднести:

- 1) специфіка поперечних профілів міських вулиць і доріг;
- 2) особливості дорожніх конструкцій міських вулиць і доріг;
- 3) характер дії рухомого навантаження на дорожні одяги;
- 4) специфіка формування дії природних факторів;
- 5) особливості умов виконання ремонтно-відновлювальних робіт;
- 6) особливості відновлювальних ремонтів міських вулиць і доріг;
- 7) режими та структура робіт з утримання міських вулиць і доріг.

В той же час протяжність міських вулично-дорожніх мереж в Україні складає близько 40% від протяжності мережі доріг загального користування. Тому відсутність спеціальних досліджень у цьому напрямку для умов міських населених пунктів визначає особливу актуальність даної наукової проблеми. Враховуючи відсутність таких розробок для специфічних міських умов з метою вирішення проблеми необхідно опиратися на результати досліджень для заміських доріг.

Розробці методів і систем, призначених для підвищення обґрунтованості ремонтів доріг загального користування присвячені роботи вітчизняних і зарубіжних вчених – К.С. Теренецького, В.М. Сіденко, О.К. Біруля, М.Б.Корсунського, С.І. Міховича, С.С. Кизими, В.Е. Кагановича, І.О.Золотаря, О.П. Васильєва, В.К. Апестіна, В.В. Філіпова, Є.Д. Прусенка, Р. Адамса, Ц. Кейроса, Д. Сімеонова та ін. [2, 3, 6, 7, 8,].

Дослідження цих авторів забезпечили розробку всіх діючих нині підходів до обґрунтування і призначення дорожньо-ремонтних робіт, які згруповані в табл. 1.

Таблиця 1

№ п/п	Існуючі підходи до планування і призначення дорожньо-ремонтних робіт	Загальна характеристика
Вітчизняні підходи		
1	За даними актів натурних обстежень	Підхід не забезпечує об'єктивності у прийнятті рішень та суперечить планово-попереджувальному принципу виконання робіт
2	За міжремонтними строками служби дорожніх одягів	Підхід базується на формальному використанні дискретних строків служби дорожніх одягів, які не враховують властивості дорожніх конструкцій та умови їх роботи
3	За кількісними показниками транспортно-експлуатаційних якостей дорожніх одягів	Підхід передбачає призначення робіт на основі оцінки відповідності фактичного транспортно-експлуатаційного стану вимогам руху. Не дозволяє проводити техніко-економічний аналіз використання ресурсів
4	На основі техніко-економічного аналізу використання ресурсів	Підхід побудований на основі аналізу економічної ефективності використання ресурсів і розробці довгострокових оптимальних стратегій ремонтів
Зарубіжні підходи		
5	На основі оцінки граничних змін характеристик матеріалів дорожніх конструкцій	Відмова від використання безпосередніх транспортно-експлуатаційних показників доріг призводить до умовності розрахунків при обґрунтуванні програм робіт. Умовні показники, які використовують зарубіжні системи, та результати розрахунків практично не корелюються між собою
6	За умовними транспортно-експлуатаційними показниками IRI – умовний показник нерівності RSI – показник комфортності проїзду PSI – індекс можливості проїзду	

Найбільш ефективним є підхід до обґрунтування дорожньо-ремонтних робіт на основі їх техніко-економічного аналізу [3, 6, 11, 12]. Такий підхід сьогодні реалізовано у вітчизняній системі управління станом доріг (СУСП), розробленої групою вчених НТУ [9].

СУСП побудована за принципом техніко-економічної оптимізації стратегій дорожньо-ремонтних робіт. Її концепція полягає у розгляді доріг як об'єктів довгострокової дії, що повністю узгоджується із сучасною системою якості доріг [11]. СУСП забезпечує прогнозування економічного ефекту, який може отримати суспільство в залежності від обсягів ресурсів, які планують вкласти у ремонти доріг з врахуванням певного періоду служби ресурсів, а також враховує ті ресурси, які були вкладені у ремонти доріг у попередні роки. При цьому, основу розробленої системи складають математичні моделі, які забезпечують визначення та прогнозування зміни сумарних приведених середньорічних дорожньо-транспортних витрат в залежності від тієї чи іншої стратегії утримання дороги.

Розроблені та використані в СУСП математичні моделі базуються на закономірностях зміни транспортно-експлуатаційного стану доріг у процесі їх служби в залежності від властивостей дорожніх конструкцій і умов їх роботи та закономірностях впливу транспортно-експлуатаційного стану доріг на паливно-економічні показники роботи рухомого складу. З 2001 року СУСП діє в системі Укравтодору і ефективно вирішує задачі середньо- і довгострокового планування дорожньо-ремонтних робіт.

Аналіз зарубіжного досвіду свідчить, що певні розробки, з тим чи іншим рівнем їх розвитку, використовуються в ряді розвинених країн. Всі вони мають характер локальних менеджерських систем, так званих PMS, які використовують при обґрунтуванні доцільності фінансування ремонтів [4, 13], проте вони також мають певні недоліки. Останні наведені у табл.1.

Не складає виключення відома зарубіжна система HDM, яку використовує Світовий банк при оцінці різних інвестиційних дорожніх проектів [13].

Аналіз підходів до планування дорожньо-ремонтних робіт забезпечив визначення основних шляхів удосконалення методів обґрунтування ремонтно-експлуатаційних робіт в умовах міських населених пунктів. Встановлено, що методи, які використовують сьогодні міські дорожні господарства для обґрунтування програм робіт, базуються тільки або на технічних або на суб'єктивних критеріях. Встановлена відсутність методів, які базувалися б і

поєднували б одночасно технічні і економічні критерії. Це не дозволяє проводити аналіз економічної ефективності використання ресурсів, який повинен бути покладений в основу обґрунтування програм дорожньо-ремонтних робіт у міських населених пунктах.

Базуючись на цих висновках, нами розроблена принципово нова концепція методу обґрунтування програм дорожніх ремонтно-відновлювальних робіт в умовах міських населених пунктів. Остання передбачає обґрунтування програм ремонтів у 4 послідовні етапи, а саме:

1) комісійне обстеження вулично-дорожньої мережі з метою формування переліку дорожніх об'єктів, які з певних причин потребують ремонту;

2) обґрунтування технічної потреби та необхідного виду ремонту для кожного із відібраних дорожніх об'єктів;

3) визначення техніко-економічних наслідків здійснення вкладень в проведення встановлених видів ремонтів для кожного із відібраних дорожніх об'єктів;

4) ранжування дорожніх об'єктів за рівнем техніко-економічних наслідків їх ремонтів та формування річної програми ремонтно-відновлювальних робіт у межах обсягів фінансових ресурсів, передбачених бюджетом на ці роботи.

Основними критеріями при формуванні переліку дорожніх об'єктів, які потребують ремонту, є:

- інтенсивність розвитку деформацій і руйнувань дорожніх одягів, а саме: вилущування, викришування, вибоїни, гребінки, поперечні тріщини, тріщини по смугах накату, сітка тріщин, просідання проломи та ін.;

- погіршення режимів руху у зв'язку із станом проїзної частини.

Таким чином, у запропонованій концепції задачі першого етапу на відміну від задач підходу до планування робіт за даними актів натурних обстежень значно звужуються. Вони полягають у тому, що комісія тільки визначає за тими чи іншими ознаками потреби в ремонтах міських вулиць і доріг, а безпосереднє формування програм робіт повинне проводитися тільки на основі техніко-економічних розрахунків, які передбачено виконувати на іншому етапі.

Перший крок при обґрунтуванні видів ремонтно-відновлювальних робіт для кожного із відібраних на першому етапі дорожніх об'єктів полягає в оцінці відповідності міцнісних властивостей їх дорожніх одягів вимогам руху. У відповідності із Відомчими будівельними нормами [14], відповідність

міцнісних властивостей дорожніх одягів вимогам існуючого руху оцінюють за такими критеріями:

а) на опір пружному прогину всієї конструкції (за допустимим прогином або допустимим модулем пружності);

б) на опір зсуву в ґрунтах і шарах із малозв'язних матеріалів (за допустимими напруженнями зсуву);

в) на опір шарів із монолітних матеріалів розтягу при згині і на стиск у верхньому поясі (за допустимими напруженнями на розтяг і стиск при згині).

На другому та третьому кроках другого етапу оцінюють відповідність рівності проїзної частини та її зчпних якостей вимогам руху відповідно.

Кінцевою метою другого етапу запропонованого методу є формування окремо переліку дорожніх об'єктів капітального та поточного (середнього) ремонтів. Нижче наведено систематизовані умови віднесення дорожніх об'єктів до конкретної групи ремонтно-відновлювальних робіт.

Група капітальних ремонтів

$$\begin{aligned}
 & 1) \left\{ \begin{array}{l} K_{зм\ l} = \frac{E_{\phi}}{E_n} \leq K_{зм\ l}^{доп}; \quad K_{зм\ зр} = \frac{T_{зр}}{T} > K_{зм\ зр}^{доп}; \quad K_{зм\ r} = \frac{R_{доп}}{\sigma_r} > K_{зм\ r}^{доп} \\ S_{\phi} > S_{доп}; \quad \varphi_{\phi} > \varphi_{доп}; \quad \varphi_{\phi} < \varphi_{доп} \end{array} \right\} \\
 & 2) \left\{ \begin{array}{l} K_{зм\ l} = \frac{E_{\phi}}{E_n} > K_{зм\ l}^{доп}; \quad K_{зм\ зр} = \frac{T_{зр}}{T} \leq K_{зм\ зр}^{доп}; \quad K_{зм\ r} = \frac{R_{доп}}{\sigma_r} > K_{зм\ r}^{доп} \\ S_{\phi} > S_{доп}; \quad \varphi_{\phi} > \varphi_{доп}; \quad \varphi_{\phi} < \varphi_{доп} \end{array} \right\}, \\
 & 3) \left\{ \begin{array}{l} K_{зм\ l} = \frac{E_{\phi}}{E_n} > K_{зм\ l}^{доп}; \quad K_{зм\ зр} = \frac{T_{зр}}{T} > K_{зм\ зр}^{доп}; \quad K_{зм\ r} = \frac{R_{доп}}{\sigma_r} \leq K_{зм\ r}^{доп} \\ S_{\phi} > S_{доп}; \quad \varphi_{\phi} > \varphi_{доп}; \quad \varphi_{\phi} < \varphi_{доп} \end{array} \right\}
 \end{aligned} \tag{1}$$

де, $K_{зм\ l}$, $K_{зм\ l}^{доп}$ – відповідно фактичний і допустимий коефіцієнт запасу міцності одягуно пружному прогину;

$K_{зм\ зр}$, $K_{зм\ зр}^{доп}$ – відповідно фактичний і допустимий коефіцієнт запасу міцності одягу на опір зсуву в ґрунтах і шарах з малозв'язних матеріалів;

$K_{зм r}$, $K_{зм r}^{доп}$ – відповідно фактичний і допустимий коефіцієнт запасу міцності одягу на опір шарів з монолітних матеріалів розтягу при згині і на стиск у верхньому поясі;

E_{ϕ} – фактичний модуль пружності дорожнього одягу;

E_n – необхідний модуль пружності дорожнього руху;

$T_{зр}$ – гранична величина активного напруження зсуву;

T – розрахункове активне напруження зсуву;

$R_{доп}$ – гранично допустиме напруження розтягу матеріалу шару з урахуванням втоми;

σ_r – найбільше напруження розтягу, у розглянутому шарі, що встановлюється розрахунком;

R_{ϕ} , $R_{доп}$ – відповідно фактичне і допустиме значення показника рівності проїзної частини міської вулиці або дороги;

φ_{ϕ} , $\varphi_{доп}$ – відповідно фактичне і допустиме значення коефіцієнта зчеплення коліс з проїзною частиною міських вулиць і доріг

Група поточних (середніх) ремонтів

$$\begin{aligned}
 & 1) \left\{ \begin{array}{l} K_{зм l} = \frac{E_{\phi}}{E_n} > K_{зм l}^{доп}; \quad K_{зм зр} = \frac{T_{зр}}{T} > K_{зм зр}^{доп}; \quad K_{зм r} = \frac{R_{доп}}{\sigma_r} > K_{зм r}^{доп} \\ S_{\phi} > S_{доп}; \quad \varphi_{\phi} > \varphi_{доп} \end{array} \right. \\
 & 2) \left\{ \begin{array}{l} K_{зм l} = \frac{E_{\phi}}{E_n} > K_{зм l}^{доп}; \quad K_{зм зр} = \frac{T_{зр}}{T} > K_{зм зр}^{доп}; \quad K_{зм r} = \frac{R_{доп}}{\sigma_r} > K_{зм r}^{доп} \\ S_{\phi} < S_{доп}; \quad \varphi_{\phi} < \varphi_{доп} \end{array} \right. \\
 & 3) \left\{ \begin{array}{l} K_{зм l} = \frac{E_{\phi}}{E_n} > K_{зм l}^{доп}; \quad K_{зм зр} = \frac{T_{зр}}{T} > K_{зм зр}^{доп}; \quad K_{зм r} = \frac{R_{доп}}{\sigma_r} > K_{зм r}^{доп} \\ S_{\phi} > S_{доп}; \quad \varphi_{\phi} < \varphi_{доп} \end{array} \right.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Основним критерієм визначення техніко-економічних наслідків проведення встановлених видів ремонтів для кожного із відібраних дорожніх

об'єктів прийнято коефіцієнт економічної ефективності вкладень K_e . Загальна формула для його визначення має вигляд:

- для об'єктів капітального ремонту

$$K_e^{кр} = \frac{C^* - C_{кр}}{D}; \quad (3)$$

- для об'єктів поточного (середнього) ремонту

$$K_e^{нсп} = \frac{C^* - C_{нсп}}{D}, \quad (4)$$

де C^* , $C_{кр}$, $C_{нсп}$ – сумарна приведена середньорічна за міжремонтний період дорожньо-транспортна собівартість на дорожньому об'єкті відповідно при умовному «нульовому» варіанті його утримання (тобто коли його транспортно-експлуатаційний стан підтримується за рахунок тільки поточного (дрібного) ремонту і утримання), при капітальному та поточному (середньому) ремонтах відповідно;

D – обсяги вкладень, необхідні для проведення ремонту.

Економіко-математичні моделі для визначення складових (3) і (4) наведені в окремих роботах авторів [2].

Після визначення K_e для відібраних дорожніх об'єктів окремо в групах об'єктів капітального і поточного (середнього) ремонтів, проводять ранжування їх за величиною коефіцієнта ефективності у порядку спадання його значення.

Програму ремонтів формують з тих об'єктів, які забезпечують найбільше значення K_e в межах передбачених дорожнім бюджетом на ремонтні роботи фінансових ресурсів.

Впровадження запропонованої концепції дозволить міським дорожнім господарствам суттєво наблизити до оптимальних річні програми дорожньо-ремонтних робіт. Це забезпечить підвищення ефективності використання ресурсів і обумовить поступове планомірне доведення транспортно-експлуатаційного стану міських вулично-дорожніх мереж до рівня, який диктується фактичним рухом на них.

Література

1. Роман С.В. Удосконалення методів обґрунтування ремонтно-експлуатаційних робіт на вулично-дорожніх мережах міських населених пунктів : автореф. дис. на здобуття наукового ступеню канд. техн. наук : спец. 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми» / Роман С.В. – К., 2009. – 20 с.
2. Кейрос Ц. Технико-экономические проблемы ремонта и содержания автомобильных дорог. Перевод и ред. В.Ф. Бабкова. – М.: Транспорт. – 1995. – 57 с.
3. Кизима С.С., Андреев С.И., Лилеева Л.В. Оптимизация системы ремонтов автомобильных дорог. (Стр-во: Обзор. Информ./ Укрниинти. Сер. Технология, организация и управление строительством; Вып. 2). – К., 1988.
4. Прусенко Е.Д. Основные проблемы эксплуатации автомобильных дорог и пути их решения / Прусенко Е.Д., Стороженко М.С., Михович С.И. // Проблемы эксплуатации автомобильных дорог : сб. научных трудов : Вып. 48. – Х.: Знание, 1998. – С. 5 – 12.
5. Технічні правила ремонту і утримання міських вулиць та доріг КТМ 204 України 010-94.
6. Кизима С.С., Андреев С.И. Оптимізація планування робіт по ремонту нежорстких дорожніх одягів. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип. 41. – Київ.: Будівельник. 1987. – с.29 – 35.
7. Теренецкий К.С. Применение транспортного критерия при проектировании дорог. // Труды КАДИ. Сборник 1. К. – 1953. – с.6 – 8.
8. Васильев А.П. Некоторые проблемы управления состоянием автомобильных дорог. // Автомобильные дороги. – М.: Транспорт. 1993. – с.1 – 4.
9. Кизима С.С., Канін О.П., Лихоступ М.М. Структура та технічні можливості вітчизняної системи управління станом покриттів. // Нові технології в будівництві та експлуатації автомобільних доріг. – Харків. – 2002.
10. Кизима С.С. Експлуатація автомобільних доріг. К.: НТУ, 2009. – 271с.
11. С.С. Кизима, С.В. Роман. Теоретичні основи оптимізації програм ремонтно-відновлювальних робіт на мережі доріг міських населених пунктів. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип. 67. – Київ НТУ, 2003. – С.81 – 89.
12. Прусенко Е.Д. Основные направления совершенствования методов управления состоянием автомобильных дорог / Прусенко Е.Д., Демишкан В.Ф. // Проблемы эксплуатации автомобильных дорог : сб. науч. трудов : Вып. 48. – Х. : Знание, 1998. – С. 39 – 47.
13. Закардонцев Ф.С., Андреев С.И., Павлюк Д.О., Кизима С.С. Про деякі аспекти застосування моделі НДМ в Україні. // Автошляховик України. – К.: 1999. № 2. – С.40 – 41.
14. Дорожній одяг нежорсткого типу: ВБН В.2.3–218–186–2004. – [Чинний від 2005-01-01]. – К. : Державна служба автомобільних доріг України «Укравтодор», 2004. – 176 с. – (Відомчі будівельні норми України).

УДК 625.7/.8:338

Ігнатюк В.В.

ОПТИМІЗАЦІЙНІ МОДЕЛІ В УПРАВЛІННІ СТАНОМ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. Розглядається проблема розробки моделі оптимізації програми робіт з приведення дорожнього одягу до заданого стану за певну кількість років за допомогою різних методів оптимізації.

Ключові слова: математична модель, дорожній одяг, методи оптимізації управління станом дорожнього одягу.

Аннотация. Рассматривается проблема разработки модели оптимизации программы работ по приведению дорожной одежды до заданного состояния за определенное количество лет с помощью различных методов оптимизации.

Ключевые слова: математическая модель, дорожная одежда, методы оптимизации управления состоянием дорожной одежды.

Annotation. The problem of optimizing model development program works to bring the pavement to a given state for a number of years through various optimization methods.

Key words: mathematical model, pavement, methods to optimize the management of pavement condition.

Постановка проблеми

Сучасний стан дорожнього одягу автомобільних доріг України та його покриття на багатьох ділянках не відповідає нормативним вимогам за міцністю, рівністю та зчепленням. За умов недостатнього фінансування проблему приведення стану дорожнього одягу до певного планового рівня можна виконати лише за декілька років. Обґрунтування програми ремонтів дорожніх

одягів за допомогою математичних методів оптимізації актуальне, але являє собою складну техніко-економічну задачу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно літературним оглядам в роботах [1,2] загальний підхід до проблеми підтримання дорожнього покриття у належному стані, запропонований Bryson та Ho (1975), ґрунтується на теорії оптимального управління. Вперше, як проблему оптимального управління, пошук довготривалої оптимальної стратегії ремонту дорожнього покриття визначили Friesz and Fernandez (1979). Стратегії обслуговування були представлені кусочно-постійними інвестиціями протягом певного часу. Пізніше (1981) вони почали розглядати проблему оптимального розподілу років стадійного будівництва доріг [4]. В 1985 році Markow і Balta використовували оптимальне управління для вирішення проблеми оптимальної послідовності ремонтів дорожнього покриття. Оскільки ремонтні роботи спричиняють стрибкоподібні зміни в експлуатаційних якостях дорожнього покриття, які ускладнюють проблему, то автори вирішили її для єдиного варіанту ремонтних дій.

Для того, щоб уникнути труднощів пов'язаних з розривністю стану дорожнього покриття, що спричиняється ремонтом, Tsunokawa і Schofer (1994) використали метод апроксимації для вирішення проблеми оптимального розподілу років та інтенсивності робіт з відновлення покриття. Їх підхід полягав у тому, щоб апроксимувати пилкоподібну криву стану дорожнього покриття гладкою кривою, яка проходить через середини вертикальних ліній відновлення стану.

Інший підхід полягає у використанні моделей математичного програмування. Golabi та ін. (1982) розробили комбіновану модель з прогнозуванням стану дорожнього одягу за допомогою ланцюгів Маркова та лінійного програмування (ЛП) з мінімізацією загальної вартості як цільової функції. Використання в цій моделі змінних «частка мережі» призводило до втрати інформації про місцезнаходження ділянок ремонту. Цей підхід був розширений і використаний Wang із співавторами (1993, 1994, 1995) та Liu (1996). Він був застосований в системах управління дорожнім одягом (PavementManagementSystem – PMS) в штатах Аляска, Канзас та в Португалії (Alviti із співавторами, 1994, Golabi, 2002). Grivas із співавторами (1993) представили модель ЛП для розподілу бюджетних коштів по періодам на мережевому рівні управління станом дорожнього одягу. Модель ЛП була

розроблена з урахуванням ефективної взаємодії економічних і технічних факторів.

Модель динамічного програмування (ДП) запропонована в 1987 р. U.S. Army Corps of Engineers в системі PAVER. Butt із співавторами (1987) застосували ланцюг Маркова в моделі ДП для прогнозування експлуатаційних якостей дорожнього одягу. Існують і інші формулювання задачі ДП.

Враховуючи той факт, що ремонт необхідний лише у певні моменти, можна дискретизувати плановий горизонт і сформулювати проблему ремонту як частково цілочисельну математичну модель [7].

Murakami та Turnquist (1985) використали динамічну модель, яка мінімізувала загальний показник погіршення стану системи при обмеженнях наявних ресурсів. Концепція вартості життєвого циклу не включена до їхньої оптимізаційної моделі.

Al-Subhi та ін. (1990) і Jacobs (1992) застосували подібну частково - цілочисельну математичну модель, щоб оптимізувати капітальний ремонт і заміну прогонової будовимоста. Jacobs спростив проблему частково-цілочисельного лінійного програмування приймаючи інтенсивність капітальних ремонтів, як константу і криву деградації як кусочно-лінійну функцію. Проте, насправді, нелінійності мають місце і в деградації об'єкту і в ефективності капітальних ремонтів [5]. Для розв'язання повністю цілочисельних та частково-цілочисельних задач використовується метод гілок та границь, запропонований в 1960 році A. Land та G. Doig [6].

Для багатокритеріальної оптимізації програм ремонтів використовується метод цільового програмування, вперше запропонований Charnes та ін. (1955) та застосований відносно доріг Sinha (1981), Ravirala та Grivas (1995). Метод використовує поняття мінімальної відстані від кращого випадку, це означає, що ідеальним рішенням було б мінімізувати зважену суму відхилень всіх цільових функцій від своїх цілей. Головним недоліком цієї технології є: (Zeleny 1982; Lee і Olson 1999): глобальна збіжність оптимальності не гарантується в деяких випадках; зважене цільове програмування і переважне цільове програмування може зробити неможливою оптимізацію рішень за Парето. Головні переваги цільового програмування: привабливість для приймаючого рішення для охоплення основних елементів проблеми і формулювання їх у цілі й обмеження; концептуальна простота розуміння і застосування.

Метод ϵ -обмеження розглядає проблему з використанням методу скалярної оптимізації: оптимізація одного довільно вибраного об'єкту при перетворенні всіх інших об'єктів в обмеження, Haimes (1971) [2]. Цей підхід може полегшити обчислювальні труднощі, якщо мають неопуклі рішення (Goicoechea та ін. 1982).

Метод зважених сум був розроблений Davis та Campbell (1995), Wang (2003) [7]. Головна ідея методу - поєднання різних цільових функцій в одну цільову функцію шляхом присвоєння позитивної ваги для кожної з цільових функцій, і параметрично варійованих ваг для створення з його допомогою оптимальних за Парето рішень, як вперше запропонував Zadeh (1963). Основними недоліками цієї технології є: (Das та Dennis 1997 року; Miettinen 2001 року; Marler та Arora 2004): апріорний вибір ваги не обов'язково гарантує, що остаточне рішення буде прийнятним; декілька наборів ваги можуть генерувати туж саму за Парето оптимальну точку, і перехід від одного набору до іншого набору ваги може привести до пропуску Парето оптимальної точки; у разі неопуклості не можна отримати відповідний Парето оптимальний набір; послідовне і безперервне варіювання, не обов'язково призводить до рівномірного розподілу безлічі оптимальних за Парето точок. До основних переваг методу зважених сум належать: легкість розуміння, достатність для оптимальності за Парето, простота в реалізації; сумісність з різними алгоритмами включення переваг у будь-який апріорний або апостеріорний процес.

Запропоновано також використання: нечітких множин, генетичних алгоритмів Chan (2003), генетичні алгоритми разом компромісним програмуванням - Fwa (2000); генетичних алгоритмів з ϵ -обмеженнями - Miyamoto (2000).

Генетичний алгоритм, засновником якого вважається John Holland, являє собою еволюційний алгоритм пошуку, що використовується для вирішення задач оптимізації та моделювання шляхом послідовного підбору, комбінування і варіації шуканих параметрів з використанням механізмів, що нагадують біологічну еволюцію. Цей алгоритм заснований на еволюційній теорії Дарвіна та на принципі «евристичного відбору». Особливістю генетичного алгоритму є акцент на використання оператора "схрещення", який виконує операцію рекомбінацію рішень-кандидатів. Основні переваги цього підходу: висока ефективність для складних задач комбінаторної оптимізації; потенційна

можливість сходимості на оптимум за Парето в цілому; застосування для неопуклих функцій; не накладає вимогу наявності градієнту, отже, є ефективним незалежно від характеру цільових функцій і обмежень. Однак, він також має ряд недоліків як з будь-яких евристичних методів: не завжди можна знайти справжнє оптимальне рішення; відносно висока обчислювальна вартість; досить висока складність програмування.

В Україні для обґрунтування програм капітальних і поточних ремонтів дорожніх одягів на основі мінімізації приведених дорожньо-транспортних затрат використовується Система управління станом покриття (СУСП), теоретичні основи якої було розроблено в роботах Кизими С.С., виконаних з 1970-х років до останнього часу [3]. Методи оптимального програмування для управління станом автомобільних доріг були розроблені в роботі [8].

Постановка завдання. Сформулювати задачу оптимізації програми дорожньо-ремонтних робіт для досягнення заданого стану дорожнього одягу на мережі доріг за задану кількість років як задачу з булевими змінними.

Виклад основного матеріалу. Проблему довготривалої оптимізації можна сформулювати як багатовимірну ранцеву модель [1].

Нехай I - це кількість секцій (ділянок) дорожнього покриття, T - кількість проміжків часу (років), і J - кількість альтернатив робіт, які необхідно провести в кожній секції у визначені проміжки часу, $j = 1$ - нічого не робити. Нехай E_{ijt} - ефективність альтернативи j для секції i в проміжок часу t , c_{ijt} - вартість альтернативи j для секції i в період t , B_t - бюджет в періоді t , N_{ij} - максимальна кількість разів використання альтернативи j протягом періоду планування, PQ_{it} - рівень якості дорожнього покриття в секції i на кінець планового періоду T , Δ_{pj} - відновлювальний ефект альтернативи j , s - рівень якості покриття за якого секція дорожнього покриття вважається такою, що не потребує ремонту протягом даного періоду t , m - мінімальний рівень якості дорожнього покриття, M - максимальний рівень якості дорожнього покриття. Значення змінної рішення X_{ijt} дорівнює 1, якщо альтернатива j для секції i в проміжок часу t призначена, і 0 якщо альтернатива j не призначена. A - сума секцій з потрібним рівнем стану на кінець планового періоду.

Проблема узгодження взаємопов'язаних стратегій в рамках фіксованого планового періоду і максимізації загального рівня якості дорожнього покриття доріг, з умови не перевищення наявного бюджету в кожному періоді, не

перевищення допустимої частоти робіт в рамках планового періоду з припущенням, що невикористані частини бюджету в певному періоді переходять в наступні періоди, може бути сформульована як багатовимірна 0-1 задача про ранець з альтернативним відбором та з пріоритетом техніко-економічних обмежень:

$$\max(\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J E_{ijt} \times X_{ijt}) \quad (1)$$

Повинна виконуватись умова:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J c_{ijt} X_{ijt} \leq B_t, \quad (2)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{ijt} \leq N_{ij}, \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{ijt} = 1, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^I i \geq A, \forall PQ_{iT} \geq m, \quad (5)$$

$$PQ_{it} \geq s \Rightarrow \sum_{j=2}^J X_{ijt} = 0, \quad (6)$$

$$PQ_{i,t-1} + \sum_{j=1}^J \Delta p_j X_{ijt} \leq M, \quad (7)$$

$$X_{ijt} \in \{0,1\}. \quad (8)$$

Функція цілі (1) максимізує загальну ефективність системи. Бюджетні обмеження (2) визначають, що витрати на вибрані альтернативи не можуть перевищувати бюджет в кожному періоді. Обмеження (3) забезпечують те, що певні альтернативи на певних секціях дорожнього покриття не можуть застосовуватися частіше ніж це допустимо з технологічних причин в рамках планового періоду. Обмеження (4) змушує вибирати одну і тільки одну альтернативу для кожної секції в будь-який проміжок часу. Обмеження (5) використовується для відкидання будь-якої стратегії, яка не забезпечує потрібний мінімальний рівень якості дорожнього покриття на кінець планового періоду. Обмеження (6) забезпечує те, що секція дорожнього покриття не вважається такою, що потребує ремонту, якщо її стан кращий, ніж зумовлений в даний період. Обмеження (7) робить альтернативи неможливими, коли стан якості відновленого дорожнього покриття штучно більший ніж максимально можливий, і набір обмежень (8) відображає можливі значення змінних рішень. Існує три види обмежень, пов'язаних з цією проблемою: ресурси, вибір альтернативи та пріоритет техніко-економічних обмежень. Обмеження ресурсів включає в себе обмеження (2) та (3). Обмеження (4) - це обмеження вибору альтернативи. Обмеження (5) задає той необхідний стан дорожнього одягу всієї

мережі, який планується досягти. Обмеження (5), (6) та (7) стосуються пріоритетів техніко-економічних обмежень.

Задачу можна розв'язати за допомогою методу гілок та границь.

Щоб врахувати стохастичні особливості процесу деградації дорожнього одягу доцільно застосувати ймовірнісні моделі, засновані на моделях Маркова, Баєса і т.п.

Висновок

Існує декілька методів математичного програмування для вирішення проблеми поступового приведення стану дорожнього одягу до нормативного рівня, проте всі вони потребують подальшого аналізу та удосконалення в напрямку врахування стохастичних факторів і умов невизначеності.

Література

1. Jaewook Yoo. Multi-period optimization of pavement management systems. Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas University in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. Major Subject: Industrial Engineering. 2004. – 94 p.
2. Zheng Wu. Hybrid Multi-Objective Optimization Models for Managing Pavement Assets. Dissertation submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy In Civil and Environmental Engineering, Blacksburg, Virginia, 2008. – 203 p.
3. Кизима С.С. Наукові принципи та практичні напрямки управління станом автомобільних доріг / С.С. Кизима, О.П. Канін, М.М. Лихоступ // Сучасні проблеми та перспективи розвитку дорожньо-будівельного комплексу України. – К.: НТУ, 2004.
4. Yanfeng Ouyang, Samer Madanat. Optimal Scheduling of Rehabilitation Activities for Multiple Pavement Facilities. Department of Civil and Environmental Engineering Room 116, 114 McLaughlin Hall University of California, Berkeley. Submitted on July 28, 2002, for presentation only at the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 2003. – 29 p.
5. Chen, Xin, G. Claros, and W.R. Hudson (1992). Mixed-Integer Programming Model for AASHTO Flexible Pavement Design. *Transportation Research Record*, 1344, 139-147.
6. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций. Седьмое издание.: Пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 912 с.
7. I.Y. Kim and O.L. de Weck. Adaptive weighted-sum method for bi-objective optimization: Pareto front generation. *Struct Multidisc Optim* 29, 149–158 (2005).
8. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.11 / В.Ф. Демішкан; Харк. держ. автомоб.-дорож. техн. ун-т. — Х., 2000. — 17 с.

Петрович В.В., канд. техн. наук, Соколов О.В.

ОПТИМІЗАЦІЯ СТРАТЕГІЇ РЕМОНТУ ТА УТРИМАННЯ ВОДОПРОПУСКНИХ ТРУБ

Анотація. Наведені теоретичні передумови побудови моделі оптимізації програми ремонту та утримання водопропускних труб на мережі автомобільних доріг.

Ключові слова: автомобільна дорога, водпропускна труба, оптимізація, програма ремонту.

Аннотация. Приведены теоретические предпосылки построения модели оптимизации программы ремонта и содержания водопропускных труб на сети автомобильных дорог.

Ключевые слова: автомобильная дорога, водпропускная труба, оптимизация, программа ремонта.

Annotation. The theoretical background model construction optimization program of repair and maintenance of culverts on the road network.

Key words: road, culvert, optimization, repair program.

Визначення проблеми

Несвоєчасне при недостатньому фінансуванні виконання робіт з утримання і ремонтів водопропускних труб на автомобільних дорогах обумовлює втрату трубами проектних функціональних можливостей і деградації їх експлуатаційного стану. Незадовільний експлуатаційний стан труб спричиняє погіршення властивостей земляного полотна і дорожнього одягу. Якщо питання проектування водопропускних труб досить детально розглядаються в науковій і нормативній літературі, то планування їх експлуатації ще потребує розробки математичних моделей, які б враховували поточний стан труб і процес їх деградації, а також вплив тих чи інших робіт на приведення стану труб до нормативного значення.

Основна частина

Для оцінки експлуатаційного стану водопропускних труб необхідно використовувати класифікацію їх експлуатаційних станів, наведену в [1]. Поточний експлуатаційний стан труби в залежності від її пошкоджень може бути віднесений до: 1 - справного, 2 - обмежено справного, 3 - працездатного, 4 - обмежено працездатного і 5 - непрацездатного стану. Крім того, поточному експлуатаційному стану відповідає певне значення рейтингу, що визначається за 100-бальною безрозмірною шкалою. За допомогою цієї шкали можна побудувати таблицю 1 – ступеню деградації труби. Така класифікація створює основу для побудови моделі деградації труб.

Для формалізації методу розв'язання задачі оптимізації стратегії ремонтів труб потрібно класифікувати можливі ремонтні заходи за ступенем їх впливу на стан труб. Доцільно виділити чотири укрупнених видів ремонту та утримання труб (експлуатаційних заходів) згідно [2, 3, 4]: експлуатаційне утримання; поточний дрібний ремонт; поточний середній ремонт; капітальний ремонт.

За основу оптимізаційного алгоритму можна використати підхід, запропонований в роботі [5].

Таблиця 1 - Деградація експлуатаційного стану труби

Стан	Ступінь деградації (D)	Назва експлуатаційного стану
Стан 5	0.60 ~ 1.00	Непрацездатний
Стан 4	0.40 ~ 0.60	Обмежено працездатний
Стан 3	0.20 ~ 0.40	Працездатний
Стан 2	0.05 ~ 0.20	Обмежено справний
Стан 1	0.00 ~ 0.05	Справний

Модель деградації труби:

$$D(t) = D(0) + \sum_{j=1}^t \mu \times R(A_j, Tr_j) - \sum_{j=1}^t I_m(j), \quad (1)$$

де $D(t)$ - ступінь деградації наприкінці року t ;

$D(0)$ - ступінь деградації на початок планового періоду. Для рівнів деградації 1 – 5 значення $D(0)$ приймається по середині інтервалу рівня деградації;

μ - фактор, що відображує деградаційні якості матеріалу (1.0 для залізобетону, 1.1 для металу);

$R(A_j, Tr_j)$ - річна швидкість деградації в рік j ;

A_j - вік труби в рік j - кількість років від спорудження або заміни до року j ;

Tr_j - коефіцієнт руху в рік j – співвідношення прогнозованої на рік j максимальної інтенсивності руху і проектної інтенсивності руху;

$I_m(j)$ - вплив заходу m на рівень деградації в рік j .

Для визначення швидкості річної деградації труби $R(A_j, Tr_j)$ можна скористатись моделями, розробленими проф. А.І. Лантух-Лященко для елементів мостів [6,7,8,9].

Перехід елемента з одного експлуатаційного стану в інший описується як процес Пуассона з дискретними станами і безперервним часом. Це окремий випадок марковського випадкового процесу, що дає можливість описати модель деградації елемента нелінійним рівнянням - експоненціальною функцією часу t :

$$P_t = 1 - p_t(t, \lambda), \quad (2)$$

де $p_t(t, \lambda)$ – щільність розподілення процесу Пуассона – експоненціальна функція, яка залежить від параметра $a = t \lambda$. При $k = 5$ (кількість експлуатаційних станів) рівняння (1) записується у вигляді:

$$P_t = 1 - 0,0083 (\lambda t)^5 e^{-\lambda t}. \quad (3)$$

де P_i – надійність елемента в i -му експлуатаційному стані;

λ - параметр, інтенсивність відмов;

e – постійна, $e = 2,718$;

t – час.

З практичних міркувань, наступного моделювання криву P_t для кожного значення λ доцільно апроксимувати ламаною лінією і побудувати таблицю 2 (дані умовні).

Вплив ремонтних заходів на зменшення ступеню деградації може бути прийнятий, як наведено в таблиці 3 [5].

Таблиця 2 - Приріст рівня річної деградації в залежності від віку труби

Коефіцієнт інтенсивності руху	Вік труби, років				
	0 – T ₁	T ₁ - T ₂	T ₂ - T ₃	T ₃ - T ₄	> T ₄
< 1.0	R ₁₁	R ₁₂	R ₁₃	R ₁₄	R ₁₅
1.0 – 1.1	R ₂₁	R ₂₂	R ₂₃	R ₂₄	R ₂₅
1.0 - 1.2	R ₃₁	R ₃₂	R ₃₃	R ₃₄	R ₃₅
> 1.2	R ₄₁	R ₄₂	R ₄₃	R ₄₄	R ₄₅

Таблиця 3 - Вплив ремонтних заходів на зменшення ступеню деградації

Ремонтні заходи	Ступінь деградації	Вплив
Експлуатаційне утримання	0.00~0.80	0.01
Поточний дрібний ремонт	0.05~0.80	0.05
Поточний середній ремонт	0.40~1.00	0.40
Капітальний ремонт	0.60~1.00	0.90

Повна вартість експлуатаційних заходів, що планується на період часу T :

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \left[(1+r)^{-t} \times \prod_{t=1}^{t=T} I_p(t) \times \prod_{t=1}^{t=T} I_{in}(t) \times c_m(i,t) \times L(i) \times k(i) \right], \quad (4)$$

де N – кількість труб;

T – період часу, на який планується експлуатація;

r – дисконтний коефіцієнт, який приймається постійним на період планування, який доцільно приймати за банківською відсотковою ставкою, наприклад 0.16;

I_p – індекс цін;

I_{in} – індекс інфляції;

$c_m(i, t)$ – одинична вартість експлуатаційного заходу m , що застосовується до труби i в рік t , $m = 1, 2, 3, 4$;

$L(i)$ – довжина труби;

$k(i)$ – коефіцієнт, який враховує розмір отвору труби.

Оптимізацію вартості ремонтних заходів на період часу T років можна здійснити за методом штрафів. Функція цілі:

$$Z = C \cdot \left[1 + p_1 \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{D(i,t) - D_{max}(A_t)}{D_{max}(A_t)} + p_2 \cdot \frac{C - B}{B} \right], \quad (5)$$

де $D_{max}(A_t)$ - максимально допустимий рівень деградації в залежності від віку труби. Ці значення формують таблицю 4;

B – бюджет ремонту та утримання труб;

p_1, p_2 – коефіцієнт значимості ступеню деградації та виконання бюджету.

Таблиця 4 – Максимально допустимий ступінь деградації $D_{\max}(A_t)$

D_{\max} для стану	Вік труби A_j , років				
	$0 - T_1$	$T_1 - T_2$	$T_2 - T_3$	$T_3 - T_4$	$> T_4$
1	$D_{\max11}$	$D_{\max12}$	$D_{\max13}$	$D_{\max14}$	$D_{\max15}$
2	$D_{\max21}$	$D_{\max22}$	$D_{\max23}$	$D_{\max24}$	$D_{\max25}$
3	$D_{\max31}$	$D_{\max32}$	$D_{\max33}$	$D_{\max34}$	$D_{\max35}$
4	$D_{\max41}$	$D_{\max42}$	$D_{\max43}$	$D_{\max44}$	$D_{\max45}$
5	$D_{\max51}$	$D_{\max52}$	$D_{\max53}$	$D_{\max54}$	$D_{\max55}$

Прийнята цільова функція – це сума вартості ремонту та утримання труб і вартості штрафних санкцій. В свою чергу, $D_{\max}(A_t)$ і B – обмеження моделі оптимізації. Таким чином, $1 + p_1 \times \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{D(i,t) - D_{\max}(A_t)}{D_{\max}(A_t)} + p_2 \times \frac{C - B}{B}$ - це штрафна функція. Значення штрафної функції дорівнює нулю, коли обмеження виконуються.

Додаткові обмеження в моделі полягають в тому, що: а) капітальний ремонт елементів моста не допускається, якщо він знаходиться в першому або другому експлуатаційному стані; б) поточний середній ремонт не допускається для першого експлуатаційного стану.

Оптимізація поставленої задачі може бути здійснена з застосуванням генетичного алгоритму [10]. Ідея генетичних алгоритмів запозичена у живої природи і використовує в своїй основі теорію еволюції Дарвіна. Алгоритм полягає в організації еволюційного процесу, кінцевою метою якого є отримання оптимального рішення в складній комбінаторній задачі. Вперше подібний алгоритм був запропонований в 1975 році Джоном Холландом (John Holland) в Мічиганському університеті. Він отримав назву «репродуктивний план Холланда» і ліг в основу практично всіх варіантів генетичних алгоритмів. На сьогоднішній день генетичні алгоритми довели свою конкурентоздатність при вирішенні багатьох складних комбінаторних задач і особливо в практичному використанні, де математичні моделі мають складну структуру і застосування стандартних методів типу гілок і границь, динамічного або лінійного програмування вкрай утруднено.

Висновки

Оптимізація програми ремонтів водопропускних труб повинна здійснюватись на основі моделі прогнозування їх майбутнього експлуатаційного стану, який залежить, з одного боку, від процесу деградації труб, а, з іншого боку, від процесу відновлення стану шляхом виконання ремонтів та утримання труб.

Розробка моделі деградації потребує подальших досліджень з використанням даних обстежень труб, які повинні накопичуватись в базі даних, подібної до баз даних СУСП та АЕСУМ.

На основі накопичених даних повинні бути також обґрунтовані усереднені показники вартості робіт з ремонтів та утримання труб.

В якості методу оптимізації доцільно використати генетичні алгоритми.

Література

2. Труби дорожні. Обстеження та оцінювання технічного стану: ДСТУ Б В.2.3-24:2009. – К.: Мінрегіонбуд України. - 2010. – 30 с.
1. Класифікація робіт з ремонтів автомобільних доріг загального користування: ВБН Г.1-218-182:2006. – Київ, 2006.
2. Класифікація робіт з експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування: ВБН Г.1-218-530:2006. – Київ, 2006.
3. Методика визначення обсягу фінансування будівництва, реконструкції, ремонту та утримання автомобільних доріг. 2012. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/z1734-12/conv/print1352576796120202>
4. Liu Chunlu., Hammad Amin, Iton Yoshito. Cost optimization of Bridge Decks Using Genetic Algorithm. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://users.encs.concordia.ca/~hammad/papers/J11.pdf>
5. Лантух-Лященко А.І. Оцінка надійності споруди за моделлю марковського випадкового процесу з дискретними станами / А.І. Лантух-Лященко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, вип.57. – 1999 – С.183 – 188.
6. Лантух-Лященко А.І. Оцінка технічного стану транспортних споруд, що знаходяться в експлуатації / А.І. Лантух-Лященко // Вісник Транспортної Академії України. – Київ, 1999. – № 3. – С. 59 – 63.
7. Лантух-Лященко А.І. Визначення часу переходу елементів споруди із одного дискретного стану в інший / А.І. Лантух-Лященко // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів, Вип.12. – К., 2001 – С. 397 – 402.
8. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів: ДСТУ-Н Б.В.2.3 – 23: 2009. - К.: Мінрегіонбуд України. - 2009. – 62 с.
9. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие / Под ред. Тарасевича Ю.Ю. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. – 87 с.

ПРОЦЕСИ УПРАВЛІННЯ ВАРТІСТЮ ДОРОЖНІХ РОБІТ

Анотація. Розглядаються напрямки розвитку процесів управління вартістю дорожніх робіт, які базуються на використанні результатів проектування організації виробництва та калькулюванні всіх її складових.

Ключеві слова: вартість дорожніх робіт, проектування організації.

Аннотация. Рассматриваются направления развития процессов управления стоимостью дорожных работ, которые базируются на использовании результатов проектирования организации производства и калькулировании всех ее составляющих

Ключевие слова: стоимость дорожных работ, проектирования организации.

Annotation. In this article discern the processes for cost management to road production based on results of production organization and calculation each of cost component.

Key words: cost of road works, designing organization.

Вступ

Вартість дорожніх робіт використовується для регулювання відносин між всіма учасниками виробничого процесу, виступає вагомим критерієм обґрунтування проектних рішень та визначення раціональних технологічних рішень та визначає головні вимоги в системі контролю та управління всіма виробничими процесами. Але існуюча методика визначення вартості базується на стандартних алгоритмах її розрахунку без урахування багатьох реальних виробничих чинників, наприклад, строків виконання робіт, ресурсного насичення трудових процесів та реальних умов виконання окремих робіт. Тому існує реальна потреба у створенні більш досконалого методу по визначенню

вартості дорожніх робіт та її складових витрат, що дасть змогу регулювати процеси виробництва, що призводять до отримання реального економічного та соціального ефекту.

Основою визначення вартості дорожніх робіт при будь-яких умовах виконання будівельних чи дорожніх робіт виступають певні, але єдині для всіх учасників виробничого процесу, методичні основи. Слід відзначити, що в принципі визначення вартості дорожніх робіт можливе з використанням двох методів: **нормативного методу та методу прямого калькулювання.**

Використання **нормативного методу** притаманне для періоду до 2000 року, тобто цей метод був розвинутий ще за часів СРСР та деякий час використовувався в Україні. Характерною ознакою цього методу є використання однакових розцінок для визначення вартості окремих дорожніх робіт та нарахування інших статей витрат незалежно від умов їх виконання. В якості основних документів при цьому використовувались до 1991 року ЕНиРы (Единые Нормы и Расценки), а пізніше – ОРУ (Одиничні Розцінки України). Нархування інших складових вартості, наприклад, накладних витрат (НВ) та планових накопичень (ПН) здійснювалось за однаковими ставками процентів у відношення до прямих витрат.

Метод прямого калькулювання може бути розвинутий не тільки на основі принципово нового методичного забезпечення, але і при умові, що всі розрахунки по визначенню всієї структури витрат виконання робіт базуються на інформації про організацію процесів виконання програми робіт. Тобто на першому етапі визначення вартості дорожніх робіт необхідно здійснити проектування організації виробництва, що дає змогу визначити строки виконання робіт як на всьому об'єкті, так і визначити раціональні строки виконання робіт окремих трудових просів та кількості трудових і технічних ресурсів, що використовуються для цього. Далі процеси визначення всіх статей вартості визначаються за чіткими аналітичними алгоритмами. Наприклад, заробітна плата робітників - $ЗП$, що виконують ряд робіт – r ($r = 1, 2, \dots, R$) за розрахунковий час – T визначається за формулою:

R

$$ЗП = \sum_{r=1}^R (N_{ir} \times T_{cir} \times T) + BH + CH(r = 1, 2, \dots, R), \quad (1)$$

r = 1

де Nir – число робітників i – го розряду, що виконують відповідну (згідно з РЕКН – Ресурсними Елементними Нормами) r – ту роботу;

$Tcir$ – тарифна ставка робітника i – го розряду, що виконує r – ту роботу;

BH – розрахункове значення виробничих нарахувань на заробітну плату робітників (Nir), що визначається реальними організаційно-технологічними умовами виробництва;

CH – соціальні нарахування на заробітну плату робітників (Nir), що також визначається реальними та конкретними організаційними умовами виробництва.

Розрахунок значень BH та CH здійснюється також за певними аналітичними формулами, які не наводяться в матеріалах цієї статті, але для цього також використовуються дані про час та умови виконання робіт і число ресурсів.

Як і заробітна плата робітників – $ЗП$, так і інші складові вартості визначаються за певними формулами, в яких обов'язково виступають такі параметри, як: час виконання робіт, кількість виконавців (робітників, механізаторів, будівельних машин), умови виконання робіт та нормативні матеріали. Наприклад, вартість витрат по такій статті „Витрати на спеціальний одяг робітників” визначається із використанням таких даних, як: кількість робітників, час перебування цих робітників на виробництві, нормативи часу використання спеціального одягу та норматив витрат (кошти) на придбання цього одягу.

Тобто розрахунки всіх статей витрат, що формують структуру вартості робіт, здійснюються за чіткими алгоритмами та реальними даними, які характерні для конкретного виробництва. Тому при цьому не використовуються такі поняття, як середні розряди, коефіцієнти для визначення окремих статей, усереднені інші показники, довідникові таблиці, тощо, які узагальнюють процедури визначення вартості окремих груп робіт (будівництво, ремонти, утримання).

З 2000 року для визначення вартості будівельних робіт (в тому числі і дорожніх) в Україні використовується метод, який можливо назвати як **комплексний метод**. Цей метод характерний тим, що, з одного боку, для

визначення деяких параметрів, що визначають вартість використовуються методики, які характерні для прямого калькулювання – розрахунок вартості експлуатації машин, розрахунок вартості перевезення 1 тони вантажу. Але, з іншого боку, для визначення більшості складових статей використовуються усереднені підходи – середні галузеві тарифні розряди та ставки, велика кількість коефіцієнтів, корегуючих положень щодо умов розрахунків та власне усереднення умов виконання робіт. На жаль так званий комплексний метод не використовує такі реальні дані як час виконання робіт, кількість виконавців окремих робіт та конкретне число технічних ресурсів. А тому отримані результати про вартість робіт є практично однаковими для всіх виконавців, що робить їх байдужими до процесів управління вартістю робіт, а відсутність в розрахунках чинників часу та кількості ресурсів робить їх майже не керованими.

Наведені вище методи визначення вартості дорожніх робіт мають місце на своє співіснування та розвиток у певних умовах виробництва. Але у будь-якому разі важливим моментом у визначення вартості робіт займають процедури управління цими процесами. Це перед усім відноситься до того, що фактичне виконання робіт повинне бути орієнтоване не тільки на досягнення розрахункової вартості, але і на її зниження за рахунок економії витрат деяких статей, що може призвести до отримання реального прибутку.

Однією із передумовою проведення моніторингу вартості робіт з метою досягнення прибутку є формування обґрунтованих виробничих завдань виконавців, в яких чітко визначені не тільки обсяги виконання окремих робіт, але і терміни виробництва, кількість виконавців та ресурсів, а також визначені всі інші організаційні та технологічні умови. Таке положення можливе тільки у тому випадку, коли в практиці дорожнього господарства як при розробці робочих проектів, так і на етапі організаційно-технологічної підготовки виконання робіт будуть виконуватись всі роботи по проектуванню організації виробництва – як складова частина робочих проектів чи окремі проекти у вигляді ПВР (проектів виконання робіт) [1]. Чітко складені виробничі завдання для окремих груп виконавців (виробничих підрозділів – ланок та бригад) є основою для контролю кількісного контролю виробничих параметрів, а, таким чином, - і контролю статей вартості робіт.

Управління вартістю може розглядатись як головний важіль у регулюванні відносин між усіма учасниками виробничого процесу, а реалізація всіх його функцій вимагає знання інформації про планові (розрахункові) значення всіх груп і складових статей не тільки прямих витрат, але також і загальновиробничих, адміністративних та інших витрат. У відповідності із державними та галузевими документами значення цих груп та статей витрат не тільки розраховуються за усередненими показниками та коефіцієнтами, але вони ще й визначені в розрахункових документах одним числом без відповідного структурного розподілу. З іншого боку, облік витрат за окремими групами складових вартості дорожніх робіт, який здійснюється бухгалтерію підприємства, здійснюється також за укрупненими рахунками. Тому таке положення, що склалося як на стадії розрахунку структури вартості виконання робіт, так і на етапі обліку отриманих результатів, не дає можливість реалізувати процеси управління вартістю з метою досягнення якісного та прибуткового виробництва.

Повна реалізація функцій управління вартістю дорожнього виробництва вимагає виконання таких практичних та науково-дослідницьких робіт:

1. Виконання науково-пошукових робіт, які спрямовані на удосконалення комплексного методу розрахунку вартості дорожніх робіт та науково-дослідних робіт, що спрямовані на створення галузевих методичних положень та програмно-інформаційного забезпечення по реалізації методу прямого калькулювання визначення вартості дорожніх робіт.

2. Незалежно від методу розрахунку вартості дорожніх робіт, який використовується сьогодні чи буде використовуватись в дорожній галузі, необхідно терміново виконати дослідження та пошукові роботи, результатом яких повинно бути створено офіційних галузевих класифікаторів груп витрат та їх статей, що складають загальновиробничі та адміністративні витрати.

3. Виконання науково-дослідних робіт по створенню методичного та програмно-інформаційного забезпечення розрахунку кожної групи та складових статей загально виробничих та адміністративних витрат.

4. Розвиток положення по розширеному бухгалтерському обліку витрат за кожною складовою групою та статтями, що формують структуру вартості дорожніх робіт.

5. Проведення досліджень та складання методичного і програмно-інформаційного забезпечення по контролю вартості робіт в мінливих умовах виробництва.

Деякі роботи за визначеними вище напрямками розвитку процесів управління вартістю дорожніх робіт вже виконані та продовжують виконуватись. Так створено ряд галузевих документів (відповідні методики, рекомендації та інструкції), що дають змогу реалізувати всі методи проектування організації виконання робіт на будь-яких об'єктах, а отримані результати можуть бути виконані при використанні методу прямого калькулювання та для формування виробничих завдань із зазначенням в них вартісних та виробничих показників.

Розпочинаючи з 2004 року сумісно з працівниками ДАК „Автомобільні дороги України” виконуються роботи по створенню системи автоматизованого бухгалтерського обліку груп і статей витрат вартості дорожніх робіт. На основі проведеного експертного опитування була створена система бухгалтерських рахунків, на яких можуть бути зафіксовані значення груп та статей витрат і насамперед – загальновиробничих та адміністративних витрат. З іншого боку, створено статистичний метод визначення кожної групи та статей цих витрат, який полягає у слідуєчому.

- в обласних службах автомобільних доріг на основі класифікаторів рахунків груп та статей загальновиробничих та адміністративних витрат ведеться бухгалтерський облік їх витрат у розрізі окремих об'єктів;

- річна статистична обробка бухгалтерських даних спрямована на отримання так званих умовних нормативів груп та статей загальновиробничих та адміністративних витрат, що визначені по відношенню до відповідних прямих витрат певної групи об'єктів (будівництва чи ремонту).

Розроблене програмно-інформаційне по управлінню складовими вартості дорожніх робіт, базується на програмному комплексі по визначенню вартості. При цьому в якості додаткових режимів використовуються режими занесення інформації про значення умовних нормативів груп та статей загальновиробничих та адміністративних витрат, встановлених на певний рік. Переваги використання такої методики полягає у тому, що вже на етапі складання договірної ціни Виконавець контракту має повну інформацію про

значення всіх груп та статей загальновиробничих та адміністративних витрат, що є важливим інструментом для вирішення поточних задач управління виробництвом. Окрім цього при складанні актів на виконані роботи (форма №КБ-2В) розраховані значення груп та статей загальновиробничих та адміністративних витрат наводяться у спеціальних відомостях із „прив’зкою” до бухгалтерських рахунків, що дає можливість оперативно вирішувати задачі по створенню кращих та безпечних умов виробництва та пошуку рішень щодо зменшення витрат по деяким статтям з метою отримання прибутку.

Однією із завершуючих функцій управління вартістю робіт є її контроль, що здійснюється із використанням двох методів [2]:

- **традиційного методу**, який передбачає порівняння фактичних виробничих витрат із плановими витратами на певний момент часу без урахування виконаних обсягів робіт і тому може бути рекомендований для попереднього або загального контролю;

- **методу освоєних обсягів**, який передбачає порівняння на певний момент часу фактичних та планових витрат, які розраховані на основі даних про відповідно виконаних фактично та запланованих на той же час обсягів робіт.

Другий метод – метод освоєних обсягів вважається більш вагомим та перспективним методом, так як його реалізація пов’язує контроль всіх важливих параметрів виробництва – часу, використаних ресурсів та коштів на виконання робіт. Але реалізація цього методу вимагає наявності чітких документів з організації виробництва – графіків виконання трудових процесів, відомостей необхідних ресурсів та ін. Незважаючи на таку вимогу принципово метод контролю вартості за освоєними обсягами робіт може бути використаний незалежно від методу розрахунку вартості, мова тільки йде про трудомісткість розрахунків та точність отриманих результатів.

Використанню методів управління вартістю будівельних робіт та контролю отриманих при цьому виробничих результатів приділяється надзвичайна увага в системі менеджменту виробництва в зарубіжних компаніях на протязі вже багатьох десятиліть [3]. Створене відповідне методичне та програмне забезпечення дає змогу чітко організувати ці процеси, а на основі отриманих даних приймати оперативні рішення щодо регулювання виробництва з метою досягнення мінімальних збитків та досягнення прибутку.

Висновки

Розвиток процесів управління вартістю дорожніх робіт залежить від багатьох чинників, розпочинаючи із проблем створення державних методик її розрахунку з урахуванням реальних виробничих умов за повною структурою всіх її складових витрат та реалізації реальних методів контролю вартості на виробництві. Слід відзначити, що розвиток методів розрахунку вартості дорожніх робіт, так і її контролю в реальних виробничих умовах вимагає знання інформації про організацію трудових процесів в межах окремих об'єктів. Ще однією проблемою управління вартістю дорожніх робіт залишається проблема відсутності відповідних кадрів і тому розпочинаючи з 2012 року на всіх спеціальностях дорожньо-будівельного факультету НТУ введено вивчення дисципліни „Кошторисна справа”. Всі ці напрямки дають умови для вирішення такої складної і важливої задачі дорожньої галузі як визначення вартості дорожніх робіт та управління процесами досягнення прибутковості виробництва.

Література

1. Інструкція про порядок складання, погодження і затвердження проектів організації будівництва і проектів виконання робіт в дорожній галузі (до ДБН А.3.1-5-96 "Організація будівельного виробництва"), (ІН А.3.1-218-312:2008). УДВТП „Укрдортехнологія”. – Київ, 2008. – 50 с. (Архів Укравтодору в ДерждорНДІ).
2. Мазур И.И., Шапиро В.Д. и др. Управление проектами: Справочное пособие. – М.: Высшая школа, 2001. – 875 с.
3. Hutzelmeyer H. u.a. Planung und Kontrolle von Bauinvestitionskosten. – Kontakt und Studium, B.68: Technische Akademie Esslingen. – Grafenau: espert verlag, 1981. - 132 p.

Соколова Н.М., канд. екон. наук

ПОКАЗНИКИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЯКОСТІ В КОНТРАКТАХ НА РЕМОНТ ТА УТРИМАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. З позицій теорії контрактів розглядається роль показників якості утримання автомобільних доріг при реалізації засад державно-приватного партнерства в сфері експлуатації автомобільних доріг.

Ключові слова: державно-приватне партнерство, теорія контрактів, контракти на показниках якості, стан доріг, рівень обслуговування.

Аннотация. С позиций теории контрактов рассматривается роль показателей качества содержания автомобильных дорог при реализации принципов государственно-частного партнерства в сфере эксплуатации автомобильных дорог.

Ключевые слова: государственно-частное партнерство, теория контрактов, контракты на показателях качества, состояние дорог, уровень обслуживания.

Annotation. From the standpoint of the theory of contracts examined the role of quality maintenance of roads in the implementation of the principles of public-private partnership in the maintenance of the highways.

Key words: public-private partnership, the theory of contracts, contracts for terms of quality, road conditions, level of service.

Постановка проблеми

У 2010 р. прийнято Закону України «Про державно-приватне партнерство», який встановлює порядок співробітництва між державою, територіальними громадами та приватним сектором Одним з механізмів реалізації цілей цього закону в дорожній галузі можуть стати контракти з утримання автомобільних доріг, засновані на показниках якості (Performance-Based Contracting – PBC) [1]. В таких контрактах замовник не встановлює вимоги щодо методів та об'ємів виконання робіт, а визначає якісні вимоги до стану елементів доріг, які підрядник повинен підтримувати при наданні послуг з утримання доріг. Обґрунтування системи ключових експлуатаційних

показників в цих контрактах являє собою важливу та складну техніко-економічну задачу. В дорожньому господарстві України ця проблема ще майже не досліджена і потребує зусиль як в технічному, так і економічному напрямках.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В світі дослідженню проблем державно-приватного партнерства (ДПП) в сфері експлуатації автомобільних доріг і особливо розвитку контрактної системи в умовах ДПП сьогодні приділяється значна увага [1-4 та ін.]. ДПП в дорожньому господарстві впроваджується як в економічно розвинутих країнах, так і в країнах, що розвиваються. Мотиваційним фактором впровадження ДПП є досягнення вищого рівня обслуговування ((LevelofService), тобто більш якісних експлуатаційних показників елементів автомобільних доріг [5]. Рівень обслуговування – це вирішальний фактор, від якого залежать економічні параметри контрактів, організація їх виконання та розподілення ризиків між державою і приватним сектором. Проте, слід зауважити, що впровадження ДПП в дорожньому господарстві може в значній мірі змінити структуру галузі за рахунок переходу від забезпечення необхідного ступеню координації на основі централізованого планування і прямого регулювання до забезпечення цього ступеню на основі застосування контрактів (або ж, просто кажучи, з опорою на ринкові процеси), як показано на рис. 1 [5].

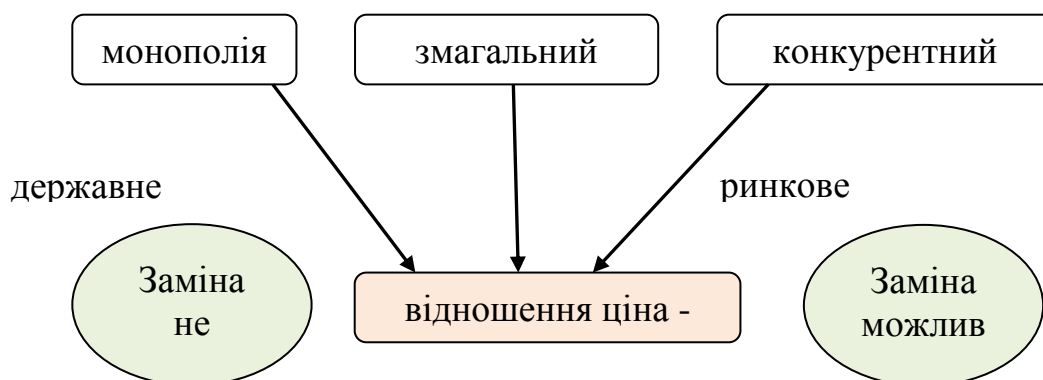


Рисунок 1 – Досягнення ДПП: високий рівень обслуговування

Необхідно виконати аналіз підходів до визначення показників експлуатаційної якості в контрактах на ремонт та утримання автомобільних доріг в умовах державно-приватного партнерства.

Виклад основного матеріалу. Поставлену проблему доцільно розглянути з позицій теорії контрактів - розділу сучасної економічної теорії, що розглядає

визначення параметрів контракту економічними агентами в умовах (як правило) асиметричної інформації [6]. Предметом вивчення теорії контрактів є контрактний процес – організація трансакцій - будь-якої передачі права розпорядження майном або послугою в процесі обміну між двома і більше учасниками договору. Рушійною силою подібних процесів в рамках теорії економіки виступає в першу чергу ефективність, спрямована на бережливе використання обмежених ресурсів. Обмеженими в даному випадку можуть бути не тільки виробничі фактори, а й кошти на організацію та проведення трансакції. Трансакція вважається ефективною, якщо обрана учасниками форма договору призводить до найменшої суми виробничих і трансакційних витрат.

Вихідною є проблема обмеженості інформації, наявної у економічних агентів. Завдяки ній з'являється можливість прояву опортунізму, тобто схильності агентів вдаватися до обману або приховування інформації у прагненні до власної вигоди (опортунізм). Обмеженість інформації та опортунізм, разом узяті, породжують проблему асиметричності інформації, при якій інформація, що стосується істотних сторін угоди, доступна не всім її учасникам, тобто асиметричність інформації означає наявність скритої інформації та скритих дій учасників контракту, які повинні бути враховані при створенні контракту.

Виходячи з цього, можна стверджувати, що встановлення потрібних або можливих при існуючих ресурсних (головним чином фінансових) обмеженнях експлуатаційних якостей елементів доріг є центральною проблемою ДПП в утриманні автомобільних доріг. Слід також зауважити, що отримання інформації про стан елементів доріг і, особливо, про прогнозовані зміни цього стану обтяжене дією факторів невизначеності. Існує ризик, який містить в собі невизначеність параметрів зовнішнього середовища та параметрів служби елементів дороги і невпевненість в поведінці учасників договору, заснована на можливому їх опортунізмі.

Рівень обслуговування – це стан, у якому елемент дороги повинен бути збережений при даному рівні фінансування. Стан характеризується певним рівнем величини експлуатаційних показників. Показники з системних позицій використання автомобільної дороги можна розглядати з точки зору користувачів доріг та з точки зору управління показниками [5] (рис. 2).

Моніторинг рівня обслуговування включає [1-5]:

- потрібний рівень обслуговування;
- методологію вимірювання рівня обслуговування;

- процедури моніторингу для досягнення рівнів експлуатаційних якостей, встановлених в контрактах ДПП;
- премії та штрафи, пов'язані з фактичним значенням рівня обслуговування.

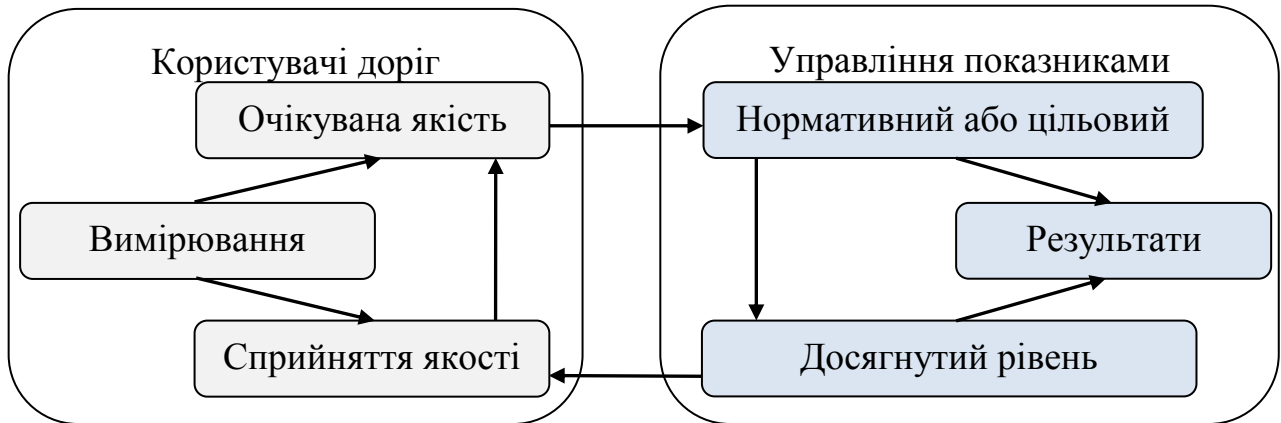


Рисунок 2 – Рівень обслуговування / якість обслуговування

Показники експлуатаційної якості залежать від типу елемента автомобільних доріг. В найбільшій мірі показники експлуатаційної якості розроблені для покриття дорожнього одягу – оцінюються міцність дорожнього одягу, рівність, зчеплення та різні пошкодження покриття [5,7]. Зумовлено це тим, що для обґрунтування нормативних показників допустимого стану покриття дорожнього одягу можна застосувати системний критерій – мінімум дорожньо-транспортних витрат. Для моніторингу та оцінки експлуатаційних параметрів покриття розроблені і продовжують удосконалюватись сучасні методи швидкої інструментальної діагностики, а також моделі деградації стану, які використовуються Дорожньою службою України в Системі управління станом покриття (СУСП).

Намітився перехід до поєднання оцінки стану покриття за допомогою рейтингової системи, наприклад, в США: 5 бальна PSR (Present Serviceability Index) в тестах AASHO 1956-1960 рр. та похідні від неї 100 бальні PCI (Pavement Condition Index) та PCR (Pavement Condition Rating), які базуються на сумісній оцінці пошкоджень покриття, до сполучення їх з показником рівності - Pavement Quality Index (PQI): PCR + IRI (International Roughness Index – міжнародний індекс рівності). Варіанти поєднання: рівність виводиться з PCR; рівність та PCR комбінуються в один індекс; рівність та PCR приймаються як окремі індекси. В СУСП дані про пошкодження покриття мають допоміжний

характер, а в розрахунках поточних ремонтів враховуються показник рівності та коефіцієнт зчеплення.

В якості моделей деградації дорожнього одягу і його покриття, як правило, для обґрунтування поточних і капітальних ремонтів використовуються емпіричні, механіко-емпіричні та ймовірнісні моделі. Для опису останніх застосовуються ланцюги Маркова.

Що стосується інших елементів дороги, то найчастіше їх стан оцінюється за допомогою класифікації станів на 4-7 класів та відповідною шкалою рейтингу (в балах), як узагальнення сумісного впливу різних пошкоджень на основі рівня серйозності (міри ураження) та рівня розповсюдження [9].

В контрактах на утримання доріг в якості основного критерію оцінки рівня утримання доріг приймається критерій наявності на дорозі пошкоджень. Наприклад, в документі [10] прийнято три нормативних рівня утримання доріг - допустимий, середній, високий, і один не нормативний рівень - неприпустимий, при якому невиконуються вимоги, що висуваються до нормативних рівнів утримання доріг. В документі сформульовані вимоги до показників, що характеризують якість утримання автомобільних доріг, які задані допустимими мірою ураження та рівнем розповсюдження. Подібним чином встановлюються вимоги до оцінки утримання доріг і в рамках ДПП в ряді інших країн [4]. В Україні ДерждорНДІ був розроблений подібний документ, але його не затверджено.

Система експлуатаційних показників елементів доріг, яку потрібно покласти в основу розробки контрактів на принципах ДПП в ремонті та утриманні доріг, потребує належного наукового економічного обґрунтування. Проте відповідні економіко-математичні методи і моделі такого обґрунтування розвинуті ще недостатньо, що призводить до високих ризиків стосовно прогнозування можливих об'ємів робіт, а відповідно і ціни контрактів, тим більше, що в Україні відсутня практика застосування контрактів ДПП на утриманні доріг. В таких умовах перспективним, з точки зору економічної науки, буде використання для дослідження проблеми впливу моделей динаміки експлуатаційних показників та економічних обмежень на ефективність впровадження ДПП так званих лабораторних економічних експериментів - відтворення економічного явища чи процесу з метою вивчення в найбільш сприятливих умовах і подальшої практичної зміни. Лабораторні експерименти - це штучно відтворені економічні ситуації, економічні моделі, чиє середовище (умови протікання експерименту) контролюється дослідником в лабораторії.

Останні вимагають використання економіко-математичних методів і моделей, особливо імітаційних.

Висновок

В основу обґрунтування контрактів на утримання доріг, заснованих на показниках якості, доцільно покласти досягнення відносно нового напрямку економічної науки – теорію контрактів. Використання головних положень цієї теорії разом з розробкою відповідних економіко-математичних моделей дозволить визначити умови і обмеження застосування принципів ДПП в сучасних економічних реаліях. Адекватність таких моделей, в першу чергу, залежить від визначення ключових експлуатаційних показників всіх елементів доріг, наявності і точності моделей їх деградації.

Література

1. Содержание и улучшение дорожной инфраструктуры с помощью контрактов, основанных на показателях качества работ / Н. Станкевич, Н. Кюреши, Ц. Кейроз // Транспортный бюллетень TN-27. – Вашингтон (США): Всемирный банк. – Сентябрь, 2005. – 14 с.
2. Privatization of road and bridge maintenance in British Columbia. Transfer of public employees to the private sector, British Columbia experience. / Earl A. Lund, P. Eng., Lund Consulting Ltd. // Presented to the world bank road management training seminar, Washington, D.C., december 18, 1996. – 4 p.
3. Pekka A. Pakkala. “International overview of innovative contracting practices for roads”, Finnish Road Administration, Helsinki, 2007. – 108 p.
4. Lancelot Eric. “Performance Based Contracts in the Road Sector: Towards Improved Efficiency in the Management of Maintenance and Rehabilitation Brazil’s Experience” // The World Bank Group, Transport Papers TP-31, march 2010. – 73 p.
5. Mansilla Patricio. “PPP Performance Management: The Art of Measure and Deliver High Level of Services” // Chemonics International, Washington DC – December 15th, 2008. – 22 p.
6. Скоробогатов А.С. Лекции и задачи по теории контрактов. СПб.: ГУ-ВШЭ, 2006. – 178 с.
7. Кизима С.С. Эксплуатація автомобільних доріг. – К.: НТУ, 2009. – 272 с.
8. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів, ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009.
9. Інструкція по визначенню рівнів експлуатаційного стану автомобільних доріг державного значення та їх елементів. ІН В.3.1-218-336:2010 // Укравтодор. – 48 с.
10. Руководство по оценке уровня содержания автомобильных дорог (временное). ОДМ 218.0.000-2003 (утв. Росавтодором). По состоянию на 23 января 2008 года.

Червякова В.В.

ОСНОВНІ ЕТАПИ ВПРОВАДЖЕННЯ КОНТРОЛІНГУ НА ПІДПРИЄМСТВАХ АВТОСЕРВІСУ

Анотація. У статті досліджено сучасні наукові погляди на проблему впровадження контролінгу в управління суб'єктами господарювання. Запропоновано алгоритм впровадження контролінгу в управління підприємствами автосервісу з урахуванням специфіки їхньої фінансово-господарської діяльності та управління.

Ключові слова: контролінгу в управління підприємствами, фінансово-господарської діяльності та управління.

Аннотация. В статье исследованы современные научные взгляды на проблему внедрения контроллинга в управление субъектами хозяйствования. Предложен алгоритм внедрения контроллинга в управление предприятиями автосервиса с учетом специфики их финансово-хозяйственной деятельности и управления.

Ключевые слова: контроллинг управления предприятиями, финансово-хозяйственной деятельности и управления.

Annotation. The article examines the current scientific views on the problem of controlling the implementation of management entities. The algorithm implementation controlling in enterprise management service centers specific to their financial activities and management.

Key words: controlling in management, finance and business and management.

Постановка проблеми у загальному вигляді і її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Важливою умовою забезпечення стійкого розвитку економіки України є вдосконалення систем управління підприємствами на основі впровадження досягнень світової науки та практики

менеджменту. Особливого значення в сучасних умовах господарювання набуває проблема підвищення координованості бізнес-процесів підприємства та ефективності прийняття управлінських рішень для вирішення стратегічних та оперативних задач. Необхідність в системній інтеграції різноманітних аспектів управління бізнес-процесами підприємства стала однією із основних причин виникнення контролінгу в світовій теорії та практиці управління. Впровадження контролінгу дозволяє підвищити рівень координованості процесів планування, контролю, обліку, аналізу і регулювання на підприємстві, забезпеченості їх методичною та інформаційною базою, за рахунок чого дозволяє підвищити якість управлінських рішень та ефективність системи управління в цілому.

Аналіз останніх досліджень, у яких започатковано вирішення проблеми. Великий внесок у розвиток теоретичних та практичних засад контролінгу здійснили західні вчені-економісти Й. Вебер, А. Дайле, Е. Майер, Т. Райхман, Х. Фольмут, Д. Хан, П. Хорват, а також вчені-економісти України та країн СНД, зокрема: О.О. Ананькіна, Н.Г. Данилочкіна, А.М. Кармінський, С.Н. Петренко, М.С. Пушкар, Л.А. Сухарева, О.О. Терещенко, С.Г. Фалько, Г.А. Семенов, М.В. Тарасюк, Н.П.Шульга та ін.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Ефективне функціонування контролінгу забезпечується передусім, правильно організованим процесом впровадження даної управлінської технології в практичну діяльність щодо управління підприємствами автосервісу. Отже, одним із завдань дослідження методологічних засад контролінгу в управління суб'єктами автосервісного бізнесу є визначення структурнологічної послідовності його впровадження в практичну управлінську діяльність.

Важливий етап визначення структурно логічної послідовності впровадження контролінгу в управління підприємствами автосервісу – це дослідження сучасних наукових поглядів на зміст і послідовність основних етапів цього процесу. С.Н. Петренко, Л.А. Сухарева [1, 2] пропонують виділяти чотири основних етапи впровадження контролінгу в управління суб'єктами підприємництва: вивчення цілей та пріоритетів розвитку підприємства (передбачає також визначення ступеня впливу внутрішній та зовнішніх факторів на досягнення цілей контролінгу); розробка системи координації та контролю за процесом досягнення кінцевих результатів (передбачає, зокрема,

формування системи підконтрольних показників, здатних найкраще сигналізувати про будь-які зміни в діяльності підприємства та його центрах фінансової відповідальності); визначення допустимих відхилень підконтрольних фактичних показників від планових (формування форм внутрішньої документації (звітності), за допомогою якої визначаються місця виникнення відхилень, їх причини та відповідальних за їх усунення осіб); визначення ступеня впливу відхилень на кінцевий результат. Аналіз цього підходу дає змогу зробити висновок про те, що не всі наведені С.Н. Петренко етапи можна віднести до процесу впровадження. Це перш за все, стосується етапу визначення впливу виявлених відхилень на кінцевий результат діяльності підприємства, оскільки оцінити цей вплив можна лише в процесі функціонування контролінгу в управлінні підприємством.

Більш широкий перелік основних етапів впровадження контролінгу в управління суб'єктами підприємництва наводиться у працях С.Г. Фалька, А.М. Кармінського, Н.І. Оленева, А.Г. Примака, А.А. Жевага, Н.Ю. Іванової [3, 4, 5]: прийняття рішення (відбувається здебільшого у випадку різкого погіршення основних показників діяльності); діагностика існуючої системи управління (фіксація сучасного стану функціонування системи управління на підприємстві); розробка концепції «ідеальної» системи управління підприємством (формування технічного завдання для побудови бажаної системи управління та адекватного їй контролінгу); входження контролінгу у «двері» підприємства (формування інструментальної бази контролінгу та створення відповідно служби); «вживання» контролінгу в поточну діяльність підприємства (демонстрація дієвості розробленої інструментарію та переконання менеджерів у доцільності його застосування); укріплення позицій (визнання та розповсюдження контролінгу в підрозділах підприємства); фаза зростання значущості та обсягу функцій контролінгу (постійне розширення функцій, завдань та інструментарію контролінгу).

С.Г. Фалько у своїх дослідженнях основні підходи до впровадження контролінгу в управління підприємствами визначає як такі: «малими кроками» (незначні зміни в старій структурі управління з повільним просуванням до визначеної мети); «бомбометання» (інтенсивні та рішучі зміни старої системи управління); «планова еволюція» (поетапне та достатньо динамічне впровадження контролінгу в управління підприємством). Інші науковці дані

підходи до впровадження контролінгу називають відповідно: метод паралельної адаптації, метод швидкої функціональної заміни та метод пілотного проекту.

С.Г. Фалько наводить недоліки та переваги перших двох з вище наведених підходів до впровадження контролінгу. Так, недоліком підходу «малими кроками» є загроза затягування процесу впровадження, що може призвести до згортання проекту. Перевагою ж цього підходу є відсутність значного спротиву реалізованим змінам з боку менеджерів та інших співробітників підприємства. Недоліком підходу є висока ймовірність виникнення значного спротиву змінам, що може призвести до затягування проекту. Позитивним у підході «бомбометання» є швидке впровадження базових елементів контролінгу.

На думку С.Г. Фалька найбільш ефективно використати переваги розглянутих вище підходів та мінімізувати їх негативні прояви допомагає третій підхід до впровадження контролінгу в управління суб'єктами підприємництва – «планової еволюції». Саме цей підхід є найприйнятнішим для впровадження контролінгу в управління підприємствами автосервісу, отже доцільно більш докладно розглянути його зміст та прояви.

Сутність «планової еволюції» полягає у застосуванні принципів проектного менеджменту. На першому етапі керівництво та власники підприємства автосервісу приймають принципове рішення про доцільність впровадження контролінгу та затверджують його концепцію для певного підприємства, на основі якої розробляється проект впровадження. Реалізація проекту поділяється на ступені, що містять відповідні етапи та заходи, реалізація яких сприятиме досягненню його цілей з обов'язковою фіксацією строків їх реалізації. За підсумками першого етапу керівництво або власники підприємства автосервісу здійснюють оцінку отриманих результатів, за підсумками якої можуть вноситися зміни і доповнення до проекту впровадження контролінгу або до його концепції для даного підприємства. Наступні етапи впровадження повинні включати низку взаємопов'язаних проектів, що передбачатимуть реорганізацію всіх елементів управління.

За результатами дослідження, викладених у працях С.Г. Фалька [5], до переліку таких проектів слід включити: проект 1 – розробка стратегії за напрямками: організаційна структура, інформаційне забезпечення, маркетинг, товари, послуги, закупівлі, логістика, персонал, фіксація кількісних цілей; проект 2 – реорганізація структури управління; проект 3 – реорганізація

системи оперативного планування і управління; проект 4 – побудова системи обліку витрат для цілей управління; проект 5 – побудова системи контролінгу, яка повинна включати планування, бюджетування, облік, звітність, аналіз відхилень. Аналіз даного підходу дає змогу зробити висновок про те, що він не має комплексного характеру, зокрема, поза увагою лишаються певні елементи управління – організування та мотивування. Підхід, що розглядається, стосується виключно витрат підприємства, а при побудові системи контролінгу повне реформування системи управлінського обліку не передбачається.

На думку фахівців Horvath&Partners [6], процес впровадження контролінгу в управління суб'єктами господарювання повинен складатися з таких етапів: визначення конкретних задач контролінгу; пошук підтримуючих та стимулюючих професійних і керуючих сил; визначення повноважень контролера з прийняття рішень; визначення місця в ієрархії підприємства; визначення внутрішньої організації відділу контролінгу; визначення професійних і дисциплінарних повноважень надавати вказівки; дефініція особистісних характеристик для заповнення робочих місць; розробка описів робочих місць, підбір персоналу; розробка вказівок щодо роботи системи контролінгу та норм поведінки контролерів; навчання і підвищення кваліфікації персоналу. Наведений підхід до впровадження контролінгу в управління суб'єктами господарювання також має певні недоліки, зокрема передбачає надання можливості контролерам прийняття управлінських рішень, що, згідно з сучасним розумінням контролінгу, не належить до повноважень фахівців відповідної служби. Недоліком цього підходу є також відсутність відображення в ньому етапу розробки метрологічних засад контролінгу для конкретного підприємства та ін.

О.Л. Попченко та Н.Б. Єрмасова [7] процес впровадження контролінгу в управління суб'єктами господарювання пропонують поділяти на дві фази: організаційну та експлуатаційну, які складаються з конкретних етапів. Так, організаційна фаза впровадження контролінгу включає такі етапи: інтенсивна підготовка персоналу (ознайомлення з процесом впровадження, його комп'ютерним супроводженням та програмним забезпеченням), планування (аналіз сильних в слабких сторін діяльності організації для формування та подальшої реалізації контролінгу), оцінка (аналіз й обґрунтування найефективніших варіантів впровадження контролінгу), проектування (техніко-економічне обґрунтування та завдання), впровадження і тестування

(безпосереднє поетапне впровадження окремих елементів контролінгу в управління підприємством з наступним виявленням технічних та концептуальних помилок).

Експлуатаційна фаза проектування контролінгу складається з двох етапів: моніторинг реалізації процесу (постійне спостереження за ходом реалізації процесу з метою його систематичного удосконалення), коригування на основі взаємозв'язку «план – факт – відхилення» (визначення та документування фактичних показників діяльності та порівняння їх з плановими показниками). Слід зазначити, що експлуатаційна фаза проектування контролінгу в управління підприємствами неповністю відповідає процесу впровадження контролінгу, адже відображає саме перебіг його функціонування у суб'єкта господарювання.

З.В. Задорожний, І.Є. Давидович, А.В. Фаїзов [8] на підставі вивчення зарубіжного досвіду пропонують впроваджувати систему контролінгу у чотири етапи: підготовчого етапу, впровадження контролінгу, оцінки наслідків діяльності, вдосконалення системи контролінгу. Підготовчий етап включає визначення: вихідного економічного стану фірми, для якого введення системи управління затратами і прибутку (контролінгу) є об'єктивною необхідністю; конкретні етапи підготовки і реалізації даної пропозиції, що дає змогу з даних бухгалтерії сформулювати звітність, аналіз якої дозволить прийняти те або інше управлінське рішення; учасників розробки і впровадження заходів, необхідних при впровадженні системи в діючу практику. Впровадження контролінгу передбачає диференціацію виду затрат, визначення другого рівня звітності, організацію обліку доходів і витрат, розробку річного плану, усвідомлення мети, складання планів для окремих підрозділів, планування у поквартальному розрізі, розрахунок основних показників для калькуляції. На етапі оцінки наслідків діяльності відбувається виявлення впливу результатів діяльності на рентабельність і платоспроможність, визначення ціни пропозиції і нижніх границь цін, аналіз відхилень, пошук їх причин, здійснення протидіючих заходів. На етапі вдосконалення системи контролінгу, який необхідно реалізувати лише після того, як відбудеться нагромадження певного досвіду, тобто як мінімум через рік, рекомендується вибирати більш короткі інтервали в аналізі планових і фактичних показників, проводити диференціацію структурних підрозділів на підприємстві, домагатись більшої достовірності цифрових даних, здійснювати автоматизацію планових і фактичних показників,

створити стратегічний контролінг, організувати службу контролінгу. Основними етапами впровадження контролінгу на підприємствах України автори вважають прийняття рішення про впровадження системи контролінгу на підприємстві, вибір та призначення виконавців, формування методичної бази контролінгу, адаптація контролінгу до поточної діяльності підприємства, зміцнення позицій контролінгу, поглиблення функцій контролінгу та зростання їх обсягу.

Досить вдалим є підхід О.Д. Гудзинського, М.М. Аксентюк, О.М. Деменіної [9], які розподіляють процес формування системи контролінгу на сім модулів: формування ініціативної робочої групи з працівників економічних служб на чолі з керівником підприємства, формування системи стратегічних цілей підприємства з урахуванням впливу внутрішніх та зовнішніх факторів, визначення цілей та пріоритетів розвитку системи контролінгу, визначення вимог до системи контролінгу, формування контролінгової політики підприємства, розробка критеріїв контролінгової інформації менеджерами усіх рівнів, функціональна інтеграція систем планування, обліку, контролю та аналізу через взаємодію відповідних служб та формування банку даних.

Заслуговує на увагу підхід Г.А. Семенова, О.В. Козуб [10], які представляють схему впровадження контролінгу в систему управління підприємством у вигляді циклічної реалізації наступних етапів: постановка завдання системі контролінгу на основі цілей розвитку підприємства, аналізу зовнішніх і внутрішніх чинників, розробка системи бюджетування в системі контролінгу (формування етапів бюджетування, визначення складу і структури бюджетів, розробка схеми бюджетування, яка відображала б взаємозв'язки між окремими елементами бюджетування), розробка системи регулювання і контролю за показниками, які характеризують рівень досягнення мети підприємства (формування систем підконтрольних показників, орієнтованих на прибуток та на ліквідність), проведення аналізу виявлених відхилень (аналіз відхилень абсолютних та відносних показників), підготовка адекватних управлінських рішень, коригувальних дій та внесення (за необхідності) змін у визначення цілей і пріоритетів розвитку підприємства.

Досить ґрунтовну структурно-логічну послідовність впровадження контролінгу в управління підприємствами наведено в праці М.В. Тарасюка [11]. Так, пропонується здійснювати процес запровадження контролінгу у 14 етапів: прийняття рішення про впровадження контролінгу в управління

підприємством; створення служби контролінгу на підприємстві; розробка програми впровадження контролінгу; розробка бюджету впровадження контролінгу; започаткування проведення освітньо-роз'яснювальної роботи серед персоналу, менеджерів та власників підприємства автосервісу; проведення вхідної діагностики господарської діяльності та управління підприємством; розробка пропозицій щодо удосконалення управління певними аспектами управління підприємством; обґрунтування системи ключових показників-індикаторів стану внутрішнього та зовнішнього середовища; розробка та обґрунтування методик та інструментарію контролінгу; створення комплексної системи інформаційного забезпечення контролінгу в управління підприємством; формування пакету внутрішньої звітності служби контролінгу; розробка та затвердження внутрішньокорпоративних регламентів функціонування контролінгу в управлінні підприємством; проведення тестування результатів впровадження контролінгу та розробка коригуючих заходів відповідних етапів впровадження контролінгу в управління підприємством; введення в дію контролінгу на всіх рівнях управління та в усіх підрозділах суб'єкта бізнесу.

Дослідивши основні наукові погляди на перелік та зміст основних етапів впровадження контролінгу в управління суб'єктами господарювання, доцільно розробити пропозиції щодо організації даного процесу на підприємствах автосервісу. Отже, з урахуванням особливостей контролінгу в управлінні підприємствами автосервісу та виходячи з сучасного розуміння сутності даної управлінської технології, можна запропонувати такі етапи впровадження контролінгу в управління суб'єктами автосервісного бізнесу:

Перший етап – прийняття рішення про впровадження контролінгу в управління підприємством автосервісу:

- ✓ узгодження думок власників та менеджерів вищого рівня про необхідність запровадження даної управлінської технології;
- ✓ розуміння її ефективності та перспектив, що відкривається перед суб'єктом господарювання за впровадження контролінгу;
- ✓ розробка й обґрунтування місії та системи цілей контролінгу.

Другий етап – проведення вхідної діагностики господарської діяльності та управління підприємства автосервісу:

- ✓ діагностика зовнішнього та внутрішнього середовища суб'єкта автосервісного бізнесу;

- ✓ діагностика організаційної і фінансової структури;
- ✓ діагностика інформаційних потоків та ін.

Третій етап – розробка програми і бюджету впровадження контролінгу в управління підприємствами автосервісу:

- ✓ визначення конкретних заходів, планування витрат та необхідних джерел фінансування на їх здійснення, а також строків їх реалізації;
- ✓ оцінка ефективності заходів та цільового спрямування витрачених коштів;
- ✓ оцінка ефективності впровадження контролінгу в управління підприємством автосервісу в цілому.

Четвертий етап – створення служби контролінгу на підприємстві автосервісу:

- ✓ визначення місця служби контролінгу в управлінні суб'єктом автосервісного бізнесу;
- ✓ обґрунтування персонального складу служби контролінгу;
- ✓ чітке розмежування повноважень між контролерами та формалізація їх посадових прав і обов'язків.

П'ятий етап – розробка пропозицій щодо удосконалення управління певними аспектами господарської діяльності підприємства автосервісу:

- ✓ здійснення реінжинірингу бізнес-процесів та інформаційних потоків;
- ✓ удосконалення організаційної структури підприємства;
- ✓ розробка рекомендацій щодо створення або реформування фінансової структури підприємства та ін.

Шостий етап – обґрунтування системи ключових показників-індикаторів стану внутрішнього та зовнішнього середовища:

- ✓ визначення критичних меж відхилень фактичних значень даних показників від їх планових значень.

Сьомий етап – розробка і обґрунтування методик та інструментарію контролінгу окремих його об'єктів в управлінні підприємством автосервісу:

- ✓ оцінка ефективності методик та інструментарію контролінгу для вирішення конкретних завдань;
- ✓ адаптація найефективніших методик та інструментарію до специфіки фінансово-господарської діяльності й управління підприємства.

Восьмий етап – створення комплексної системи інформаційного забезпечення контролінгу в управлінні підприємством автосервісу:

- ✓ впровадження або реформування системи управлінського обліку;
- ✓ запровадження моніторингу зовнішнього середовища суб'єкта автосервісного бізнесу за визначеними ключовими показниками;
- ✓ розробка пропозицій щодо створення, реформування або придбання автоматизованої інформаційної системи та ін.

Дев'ятий етап – розробка та затвердження внутрішньокорпоративних регламентів функціонування контролінгу в управлінні підприємством автосервісу та формування пакету внутрішньої звітності служби контролінгу:

- ✓ розробка форм управлінської звітності у розрізі конкретних користувачів контролінгової інформації, їх інформаційних потреб для прийняття певних управлінських рішень та ін.

Десятий етап – впровадження контролінгу в систему управління підприємством автосервісу:

- ✓ проведення тестування результатів впровадження контролінгу;
- ✓ розробка коригуючих заходів для відповідних етапів впровадження контролінгу.

Алгоритм впровадження контролінгу в управління підприємствами автосервісу можна представити у графічному вигляді (рис. 1).

Висновки

Структурно-логічна послідовність впровадження контролінгу в управління підприємством автосервісу передбачає поступову реалізацію таких етапів: прийняття рішення про впровадження контролінгу в управління підприємством автосервісу; проведення вхідної діагностики господарської діяльності та управління підприємства автосервісу; розробка програми і бюджету впровадження контролінгу в управління підприємствами автосервісу; створення служби контролінгу на підприємстві автосервісу; розробка пропозицій щодо удосконалення управління певними аспектами господарської діяльності підприємства автосервісу; обґрунтування системи ключових показників-індикаторів стану внутрішнього та зовнішнього середовища; розробка і обґрунтування методик та інструментарію контролінгу окремих його об'єктів в управлінні підприємством автосервісу; створення комплексної системи інформаційного забезпечення контролінгу в управлінні підприємством автосервісу; розробка та затвердження внутрішньокорпоративних регламентів функціонування контролінгу в управлінні підприємством автосервісу та

формування пакету внутрішньої звітності служби контролінгу; впровадження контролінгу в систему управління підприємством автосервісу.



Рисунок 1 - Етапи впровадження контролінгу в управління підприємством автосервісу

Література

1. Петренко С.Н. Контроллинг : учеб. пособие / С.Н. Петренко, Л.А. Сухарева. – Донецк: ДонГУЕТ, 2003. – 365 с.
2. Петренко С.Н. Контроллинг : учеб. пособие / С.Н. Петренко – К.: Ника-Центр, Эльга, 2003. – 328 с.
3. Контроллинг : учебник / А.М. Карминский, С.Г. Фалько, А.А. Жевага, Н.Ю. Иванова; под ред. А.М. Карминского, С.Г. Фалько. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 336 с.: ил..
4. Контроллинг в бизнесе. Методологические и практические основы построения контроллинга в организациях / А.М. Карминский, Н.И. Оленев, А.Г. Примак, С.Г. Фалько. – 2-е изд. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 256 с.
5. Фалько С.Г. Контроллинг для руководителей и специалистов / С.Г. Фалько. – М.: Финансы и статистика, 2008. – 272 с.
6. Концепция контроллинга: Управленческий учет. Система отчетности. Бюджетирование / Horvath&Partners; пер. с нем. – 3-е изд. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. – 269 с.
7. Попченко Е.Л. Бизнес-контроллинг / Е.Л. Попченко, Н.Б. Ермасова. – М.: Альфа-Пресс, 2006. – 288 с.
8. Задорожний З.В., Давидович І.Є., Фаїзов А.В. Контролінг: Навчальний посібник. – Тернопіль: Економічна думка, 2010. – 224 с.
9. Гудзинський О.Д., Аксентюк М.М., Деменіна О.М. Контролінг в системі менеджменту (теоретико-методологічний аспект) : монографія. – К.: ІПК ДСЗУ, 2009. – 225 с.
10. Семенов Г.А. Удосконалення управління промисловими підприємствами на засадах контролінгу: монографія / Г.А. Семенов, О.В. Козуб. – Запоріжжя: КПУ, 2011. – 216 с..
11. Тарасюк М.В. Контролінг в управлінні торговельними мережами: теорія, методологія, практика : монографія / М.В. Тарасюк. – К.: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2010. – 548 с.

УДК 711.5

Данчук В.Д., д-р ф.-м. наук, Олійник Р.В., канд. ф.-м. наук,
Самойленко Є.С., Тарабан С.М.

КЛАСИФІКАЦІЯ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВУЛИЧНО - ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МЕТОДАМИ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ

Анотація. Запропонована процедура класифікації вулично-дорожньої мережі мегаполісу з використанням методів кластерного аналізу. При цьому природа та кількість факторних ознак, за якими відбувається диференціювання вихідного масиву з подальшим об'єднанням в однорідні групи, практично не обмежена. Координати центрів тяжіння знайдених кластерів досить просто ідентифікуються в реальному масиві характеристик вулично-дорожньої мережі.

Ключові слова: координати центрів тяжіння, вулично-дорожня мережа.

Аннотация. Предложенная процедура классификации улично-дорожной сети мегаполиса с использованием методов кластерного анализа. При этом природа и количество факторных признаков, по которым происходит дифференцировка исходного массива с последующим объединением в однородные группы, практически не ограничена. Координаты центров тяжести найденных кластеров достаточно просто идентифицируются в реальном массиве характеристик улично-дорожной сети.

Ключевые слова: координаты центров тяжести, улично-дорожная сеть.

Annotation. The proposed classification procedure road network metropolis using the methods of cluster analysis. Thus the nature and amount of factor attributes for which there is a differentiation output array of further consolidation in homogeneous groups, virtually unlimited. Coordinates of the center of gravity of clusters found simply identifies a real array of characteristics of the road network.

Key words: coordinates of the center of gravity, the road network.

Вступ

Вулично-дорожня мережа (ВДМ) сучасного мегаполісу – це складна інженерно-архітектурна система, якій характерна велика сукупність зв'язаних між собою структурних елементів - однорідних ділянок [1]. Однорідні ділянки характеризується низкою специфічних показників. Якщо ВДМ розглядати як техногенну систему, то до її основних характеристик (факторів) можна віднести просторові характеристики (протяжність, географічна прив'язка на місцевості, забудова та ін.), а також характеристики проїзної частини (покриття, кількість смуг, тип перехресть, напрямок руху тощо). Розбиття ВДМ на елементарні однорідні ділянки та встановлення кількісних значень їх факторних ознак, дає можливість провести класифікаційний аналіз та створити однорідні групи структурних елементів з таким виявленням типових ділянок ВДМ, яким властиві характерні ознаки [2].

Основна частина

Об'єкт дослідження - ВДМ Печерського району м. Києва. За елементарні ділянки обиралися ділянки вулиць між найближчими перехрестям, що дозволило схематизувати ВДМ Печерського району та побудувати її карту-схему. Множина даної мережі, після відповідного розбиття на елементарні однорідні ділянки, склала 377 структурних елементів. Наступна ідентифікація окремого елемента дозволила присвоїти йому низку незалежних параметрів (в нашому випадку це: L_i - протяжність ділянки; l_{ij} , h_{ij} – протяжність та середньо зважена висота забудов з обох сторін; r_{ij} – середньо зважена відстань від забудов до проїзної частини; s - тип перехрестя, n - кількість смуг руху; α - кут між північним напрямком та напрямком проїзної частини). Класифікація

множини полягає в проведенні порівняння всіх її елементів за структурними показниками одночасно.

Задача класифікації ВДМ Печерського району, була вирішена шляхом застосування методів кластерного аналізу (КА). КА - це сукупність методів багатовимірної класифікації, які дозволяють множину досліджуваних об'єктів і ознак об'єднати в однорідні в деякому наближенні групи. Основна перевага КА полягає у тому, що об'єднання елементів множини проводиться не по одній факторній ознаці, а по низці параметрів, при цьому не накладаються ніякі обмеження на вид об'єктів та параметрів, що розглядаються. Це дозволяє досліджувати множини вихідних елементів різної природи. Ще однією перевагою КА від інших методів класифікації є відсутність навчальної вибірки.[2,3].

Основна задача КА полягає в тому, щоб на основі даних, які містяться в інформаційному масиві, провести групування елементів в кластери так, щоб кожний елемент множини належав тільки одній підмножині розбиття. Розв'язком задачі КА є розбиття, яке задовольняє критерію оптимальності. Весь масив досліджуваних параметрів вдалося поділити на однорідні групи таким чином, щоб всі однорідні ділянки вулиць в межах кожної групи були подібні між собою. При цьому ділянки різних груп суттєво відрізнялися одна від іншої за всіма представленими факторними ознаками. Розрахунок елементів матриці відстаней розбіжності відповідних параметрів проводився на основі евклідової відстані:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2}, \quad (1)$$

де d_{ij} – відстань між i -им та j -им елементом,

x_{ik}, x_{jk} – значення k -го параметру відповідно для i -го та j -го елемента.

Оскільки однією з умов багатфакторного КА є забезпечення співмірності показників, тому була проведена стандартизація вихідних значень факторних ознак однорідних ділянок ВДМ, яка полягала у переведенні вихідного масиву даних змінних-критеріїв до єдиного діапазону значень.

Для формування однорідних груп, використовувався метод k-середніх, який дозволив побудувати мінімальну кількість кластерів, рознесених на максимальні відстані один від одного в k – мірному просторі (k=10). Розбиття всього масиву вихідних даних на групи проводилося в декілька етапів, поки не було досягнуто мінімальних розбіжностей між значеннями аналізованих факторних ознак в кожному кластері. Доведення числа кластерів до трьох (Рис. 1), на першому етапі кластеризації виявилось найбільш оптимальним, оскільки при цьому зберігся початковий склад факторних ознак ВДМ, та досягнуті максимальні значення міжгрупової дисперсії.

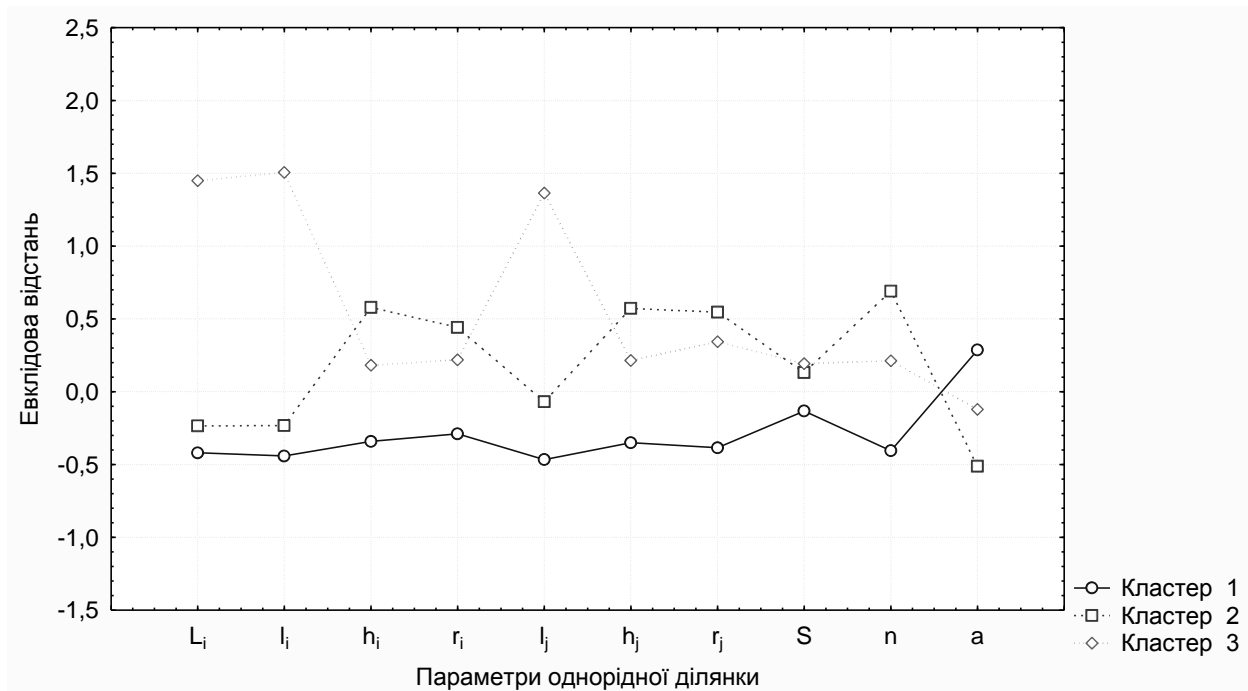


Рисунок 1 – Ефективні значення параметрів кластеру

В результаті повторної кластеризації методом k- середніх, масиви кластерів 2 і 3 розщепилися на відповідні однорідні групи (2.1, 2.2, 3.1 та 3.2), окрім першого кластеру. Оскільки в неоднорідних групах 1.1 та 1.2 не відбулося повного розщеплення за всіма факторними ознаками, тому проводився додатковий третій етап розбиття, в результаті якого утворилися однорідні самостійні кластери 1.1.1, 1.1.2, 1.2.1 та 1.2.2. Таким чином, ВДМ Печерського району, в результаті класифікаційних процедур, може бути приведена до восьми основних кластерів з відповідними центрами тяжіння. Оптимальну кількість кластерів елементарних однорідних ділянок при

поетапній класифікації було визначено за допомогою діаграми розмаху, яка дозволила встановити межі варіації кожної факторної ознаки сформованого кластера.

Наповнення елементами кожного з восьми кластерів виявилось неоднорідним, так до найбільш вагомому кластеру (2.2) увійшло близько 20% досліджуваних елементів, тоді як найменший кластер (3.2) містить лише 4,5% елементарних ділянок.

Усередненням кількісних значень відповідних факторних ознак, що наповнили даний кластер, знайдені ефективні параметри однорідної ділянки (центр тяжіння) i -го кластера. Повторна кластеризація досліджуваного масиву, в який додатково вводились вище знайдені ефективні значення, дозволила ідентифікувати реальні ділянки вулиць, параметри яких найкраще збігались з ефективними. Порівняння параметрів таких однорідних ділянок з ефективними значеннями кластерів здійснювалося за допомогою агломеративно-ієрархічного методу [3], де класифікація проводилася поетапно. Тут матриця відстаней є основою агломеративно-ієрархічного методу, ідея якого полягає в послідовному об'єднанні елементів ВДМ – спочатку найбільш близьких, а потім все більш віддалених один від одного. Процедура проведення класифікації передбачає послідовні кроки, на кожному із яких відбувається об'єднання двох найближчих елементів. На першому кроці процедури агломеративно-ієрархічного методу визначається пара елементів, відстань між якими мінімальна, ці елементи об'єднуються в спільний кластер, при цьому відстань до нового кластера та всіх інших кластерів вираховується як середнє значення із відстаней від елементів першого кластера до всіх інших. На кожному наступному кроці відбувається об'єднання двох елементів, що сформувалися на попередньому кроці, в один кластер, при цьому розмірність матриці зменшується, в порівнянні з розмірністю цієї матриці на попередньому кроці, на одиницю.

Застосування ієрархічних процедур (Рис.2) з метою порівняння показників однорідних ділянок ВДМ з ефективними значеннями кластерів, дало можливість ідентифікувати ділянки ВДМ, факторні ознаки яких найкраще співпали з центрами тяжіння сформованих кластерів.

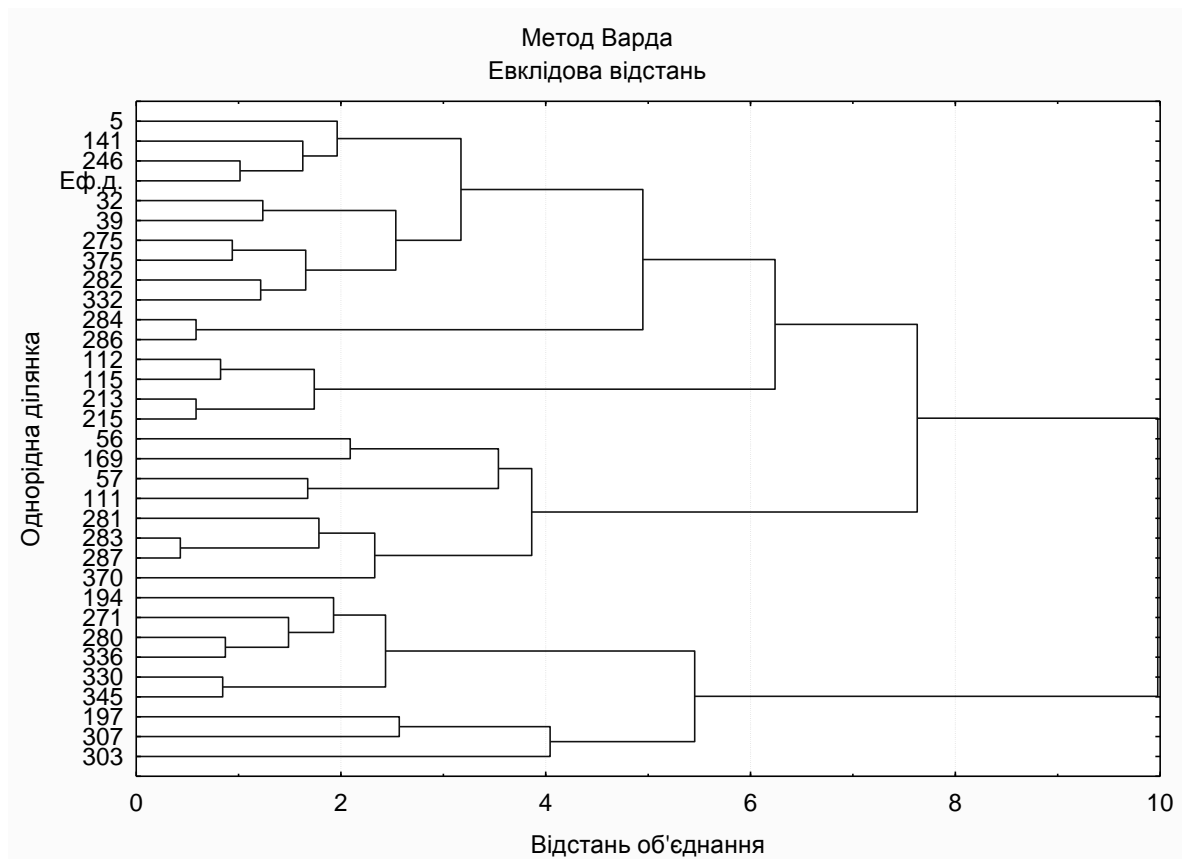


Рисунок 2 – Дендрограма стандартизованих значень факторних ознак однорідних ділянок ВДМ (Кластер 1.1.1)

Таким чином, завдяки методам кластерного аналізу вдалося провести класифікацію однорідних ділянок ВДМ. При цьому сформовані досить однорідні групи, в яких ідентифіковані ділянки обраної ВДМ (ВДМ Печерського району м. Києва), що за факторними ознаками найкраще збігаються з ефективними характеристиками кластерів (див. табл. 1).

Висновки

Вперше запропонована процедура класифікації ВДМ мегаполісу з використанням методів кластерного аналізу. При цьому природа та кількість факторних ознак, за якими відбувається диференціювання вихідного масиву з подальшим об'єднанням в однорідні групи, практично не обмежена. Координати центрів тяжіння знайдених кластерів досить просто ідентифікуються в реальному масиві характеристик ВДМ, що дозволяє суттєво зменшити розмірність відповідних систем при вивченні їх структурно-функціональних особливостей.

Таблиця 1 – Ідентифікація ділянок ВДМ за центрами тяжіння сформованих кластерів

Ділянка, №	Назва вулиці	L_b м	l_b м	h_b м	d_b м	l_j м	h_j м	r_j м	S	n	α , град.
Кластер 1.1.1											
246	Філатова	159	62	12,9	7,6	65	12,9	12,2	х;х	2	110
Кластер 1.1.2											
1	Липський пров.	155	100	18	5	110	12,8	6	т;т	2	135
Кластер 1.2.1											
327	Тимірязівська	141	39	4,8	18,1	23	4,7	1,6	т;т	2	120
Кластер 1.2.2											
310	Струтинського	141	71	9	8,4	77	9	15	т;х	2	90
Кластер 2.1											
230	І.Кудрі	200	113	19,5	30,5	156	14,9	13,6	т;х	4	60
Кластер 2.2											
46	М.Заньковецької	138	117	19,2	9,8	108	20,5	18,3	т;т	2	50
Кластер 3.1											
101	Предславінська	265	200	17,4	16,1	163	21,8	19,1	т;х	2	110
Кластер 3.2											
214	І.Кудрі	432	310	15,9	8,7	266	17,7	15,5	т;х	4	60

Література

1. Михайлов А.Ю. Головных И.М. Тенденции развития классификаций городских улиц и дорог //Вестник ИрГТУ. – Иркутск, 2004. – N 3. – С. 124 – 127.
2. Калинина В. Н., Соловьев В. И. Введение в многомерный статистический анализ: Учебное пособие / ГУУ. – М., 2003. – С.66 .
3. Ковальова О.В., Олійник Р.В. Аналіз регіональної дорожньо-транспортної мережі методом ієрархічної кластеризації . Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, НТУ. - 2011.- №80.- С.82-89.

Жук В.М., канд. техн. наук, Бошота В.В.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НАПОВНЕННЯ ЕКСФІЛЬТРАЦІЙНОЇ ТРАНШЕЇ В БЕЗРОЗМІРНИХ ЗМІННИХ ПРИ ПОСТІЙНОМУ ПРИТОЦІ ДОЩОВОГО СТОКУ

Анотація. У статті представлена нова математична модель наповнення одношарової ексфільтраційної траншеї, призначеної для регулювання дощового стоку з урбанізованих територій. Отримано систему диференціальних рівнянь в безрозмірних змінних, що описують матеріальний баланс води в траншеї та ґрунті під дном траншеї. Розроблено комп'ютерну програму для чисельного розрахунку процесу наповнення траншеї за методом кінцевих різниць. Отримано графічні залежності висоти наповнення ексфільтраційної траншеї, влаштованої в піщаних ґрунтах середньої крупності, від безрозмірної тривалості дощу та співвідношення довжини та ширини траншеї при постійному притоці дощових стічних вод до траншеї.

Ключові слова: регулювання дощового стоку, ексфільтраційна траншея, висота наповнення, безрозмірна тривалість дощу.

Аннотация. В статье представлена новая математическая модель наполнения однослойной эксфильтрационной траншеи, предназначенной для регулирования дождевого стока с урбанизированных территорий. Получена система дифференциальных уравнений в безразмерных переменных, описывающих материальный баланс воды в траншее и почве под дном траншеи. Разработана компьютерная программа для численного расчета процесса наполнения траншеи по методу конечных разностей. Получены графические зависимости высоты наполнения эксфильтрационной траншеи, устроенной в песчаных грунтах средней крупности, от безразмерной продолжительности дождя и соотношения длины и ширины траншеи при постоянном притоке дождевых сточных вод в траншею.

Ключевые слова: регулирование дождевого стока, эксфильтрационная траншея, высота наполнения, безразмерная продолжительность дождя.

Annotation. The paper presents a new mathematical model of the filling of single-layer exfiltration trench designed to control stormwater runoff from urban areas. A system of differential equations in dimensionless variables, describing the water balance in the trench and in the soil under the trench, is obtained. A computer program for numerical calculation of the process of filling the trench is developed, using the method of finite differences. Dependences of the trenches' filling height from the dimensionless duration of the rainfall and the length – width ratio of the trench are obtained for the exfiltration trenches, built in the middle-size sandy soils and at the constant stormwater inflow discharge.

Key words: stormwater management, exfiltration trench, filling height, dimensionless duration of the rainfall.

Постановка проблеми

Перспективним шляхом підвищення ефективності та надійності роботи систем дощового водовідведення є регулювання дощового стоку за допомогою ексфільтраційних траншей [1–7]. Ексфільтраційні траншеї дозволяють суттєво зменшити об'єм та максимальну витрату поверхневого стоку, який транспортується водовідвідною мережею. Відтак, це обумовлює зменшення діаметрів водовідвідних трубопроводів, що суттєво знижує вартість їх будівництва. Ще однією важливою перевагою ексфільтраційних траншей є те, що вони сприяють збереженню гідрологічного балансу території після її забудови.

Робота ексфільтраційної траншеї залежить від багатьох факторів, а саме: від кліматичних умов місцевості, від прийнятого періоду одноразового перевищення розрахункової інтенсивності дощу P , від значення коефіцієнта стоку ψ_{mid} , від коефіцієнта фільтрації ґрунту k_f , від глибини залягання ґрунтових вод $H_{гв}$, від площі та співвідношення сторін траншеї, від пористості завантаження траншеї $p_{тр}$ та навколишнього ґрунту $p_{гр}$.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні методи гідравлічного розрахунку ексфільтраційних траншей базуються на досить істотних спрощеннях нестационарного процесу фільтрації води з траншеї при змінному напорі та площі фільтрації. На практиці широко використовується формула (1) для визначення площі ексфільтраційної траншеї [1], яка базується на припущеннях про наявність вільної фільтрації крізь дно та відсутності фільтрації крізь бічні стінки траншеї:

$$F_{\text{тр}} = \frac{W_{\text{ен}}}{p_{\text{тр}} k_{\text{ф}} t_{\text{сп}}}, \quad (1)$$

де $W_{\text{ен}}$ – об'єм дощового стоку, який надходить у траншею; $p_{\text{тр}}$ – пористість завантаження траншеї, згідно [1] приймається, як правило, рівною 0,4; $k_{\text{ф}}$ – коефіцієнт фільтрації ґрунту; $t_{\text{сп}}$ – час спорожнення траншеї; згідно [1] приймається рівним 72 год.

Принциповим недоліком цього методу є також те, що площа ексфільтраційної траншеї визначається за нормативним часом спорожнення траншеї, а не за часом її наповнення.

В інженерному методі гідравлічного розрахунку ексфільтраційних траншей, яким користуються у США [2], висота траншеї враховується, але для спрощення приймається гіпотеза щодо вільної фільтрації як крізь дно, так і крізь стінки траншеї, та не враховується зміна напору фільтрації під час наповнення траншеї:

$$F_{\text{тр}} = \frac{W_{\text{ен}}}{p_{\text{тр}} H_{\text{тр}} + k_{\text{ф}} t_{\text{н}}}, \quad (2)$$

де $H_{\text{тр}}$ – глибина траншеї; $t_{\text{н}}$ – час наповнення траншеї; згідно [2] $t_{\text{н}}=2$ год. Достатньо довільним є припущення, що час наповнення траншеї є постійним і рівним 2 год. Проте, високою є імовірність, що інтенсивніші дощі меншої тривалості є більш небезпечними з точки зору підтоплення траншеї.

Мета роботи: розробка математичної моделі процесу наповнення ексфільтраційної траншеї в безрозмірних змінних при постійному притоці дощового стоку з урахуванням фізичних характеристик траншеї та навколишнього ґрунту, а також зміни в часі наповнення траншеї, площі фільтрації та напору ексфільтрації води з траншеї.

Математична модель наповнення ексфільтраційної траншеї в безрозмірних змінних. Розглянемо процес наповнення одношарової ексфільтраційної траншеї відкритого типу, призначеної для регулювання дощового стоку з урбанізованого басейна стоку. Траншея заповнена однорідним матеріалом з коефіцієнтом пористості $p_{\text{тр}}$, її загальна висота – $H_{\text{тр}}$ (рис. 1).

Рівняння матеріального балансу за елементарний проміжок часу dt :

$$Q_{\text{ен}} dt = p_{\text{тр}} \Omega_{\text{тр}} dh_{\text{тр}} + Q_{\text{екс}} dt, \quad (3)$$

де Q_{en} – витрата поверхневого стоку, що надходить до траншеї; $\Omega_{тр}$ – площа траншеї в плані; $dh_{тр}$ – збільшення наповнення траншеї за час dt ; $Q_{екс}$ – ексфільтраційна витрата.

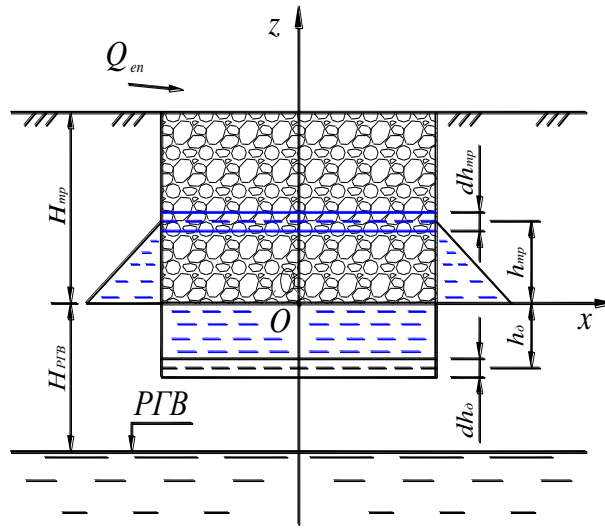


Рисунок 1 – Схема до виведення рівняння матеріального балансу води для ексфільтраційної траншеї

Об’ємна витрата води, що фільтрується з траншеї, дорівнює сумі витрат фільтраційного потоку крізь дно та крізь бічні стінки траншеї:

$$Q_{екс} = Q_{екс,д} + Q_{екс,ст} = k_{\phi} I_{д} \Omega_{тр} + k_{\phi} I_{ст} \Pi_{тр} h_{тр}, \quad (4)$$

де k_{ϕ} – коефіцієнт фільтрації ґрунту; $I_{д}$ та $I_{ст}$ – гідравлічний похил на виході з траншеї крізь дно та стінки відповідно; $\Pi_{тр}$ – периметр траншеї; $h_{тр}$ – глибина води в траншеї в момент часу t .

Запишемо диференціальне рівняння що описує притік води в траншею за час dt :

$$Q_{en} dt = \rho_{тр} \Omega_{тр} dh_{тр} + (k_{\phi} I_{д} \Omega_{тр} + h_{тр} k_{\phi} \Pi_{тр}) dt. \quad (5)$$

Коефіцієнт фільтрації матеріалу завантаження набагато більший від коефіцієнта фільтрації навколишнього ґрунту. У такому випадку фільтраційний потік під дном траншеї завжди буде у напірному режимі течії. Якщо в момент часу t рівень води в ексфільтраційній траншеї становить $h_{тр}$, а глибина проникнення фронту фільтраційних вод під траншеєю – $h_{д}$ (рис. 1), то, нехтуючи боковим розтіканням призми фільтраційного потоку під дном траншеї, можна записати:

$$I_d = \frac{h_{тр} + h_d}{h_d} = \left(1 + \frac{h_{тр}}{h_d}\right). \quad (6)$$

Формула (6), дійсна при $h_d < H_{РГВ}$. При досягненні фільтраційним потоком рівня ґрунтових вод під траншеєю відбувається бічне розтікання фільтраційної призми. Гідравлічний похил фільтраційного потоку крізь дно траншеї при $h_d = H_{РГВ}$:

$$I_d = (1 + h_{тр} / H_{РГВ}), \quad (7)$$

де $H_{РГВ}$ – глибина рівня ґрунтових вод відносно дна ексфільтраційної траншеї (рис. 1). При незначній площі ексфільтраційної траншеї порівняно з загальною площею басейна стоку підняттям рівня ґрунтових вод під час випадання дощу та наповнення траншеї можна знехтувати, тобто приймати, що $H_{РГВ} = \text{const}$.

Враховуючи наявність незаповнених водою секторів з боків траншеї, припускаємо, що $I_{ст} = 1$ та отримуємо рівняння матеріального балансу води в траншеї у вигляді:

$$Q_{ен} dt = p_{тр} \Omega_{тр} dh_{тр} + k_{\phi} \left[\left(1 + \frac{h_{тр}}{h_d}\right) \Omega_{тр} + \Pi_{тр} h_{тр} \right] dt. \quad (8)$$

Елементарний об'єм води, що пройшов крізь дно траншеї за елементарний час dt , дорівнює збільшенню об'єму водонасиченого ґрунту під траншеєю:

$$k_{\phi} \left(1 + \frac{h_{тр}}{h_d}\right) \Omega_{тр} dt = p_{тр} \Omega_{тр} dh_d. \quad (9)$$

Отримали систему диференціальних рівнянь (8) і (9) з двома невідомими функціями $h_{тр}(t)$ і $h_d(t)$.

Таким чином, процес наповнення ексфільтраційної траншеї описується двома функціями $h_{тр}$ і h_d , які залежать від 8 параметрів, які характеризують притік дощового стоку до траншеї, конструктивні особливості траншеї та характеристики навколишнього ґрунту. Для узагальнення задачі перейдемо до безрозмірних змінних.

За лінійний масштаб візьмемо загальну висоту траншеї $H_{тр}$, тобто $O(h) = H_{тр}$. Тоді безрозмірне заповнення траншеї $h'_{тр} = h_{тр} / H_{тр}$; а безрозмірне водонасичення ґрунту під траншеєю: $h'_d = h_d / H_{тр}$.

Масштаб часу $O(t) = t_f$, де

$$t_f = p_{тр} \Omega_{тр} H_{тр} / Q_{ен}. \quad (10)$$

Тоді безрозмірний час:

$$t' = \frac{t}{t_f} = \frac{Q_{en} t}{p_{тр} \Omega_{тр} H_{тр}}, \quad (11)$$

звідки

$$dt' = \frac{Q_{en} dt}{p_{тр} \Omega_{тр} H_{тр}};$$

$$dt = \frac{p_{тр} \Omega_{тр} H_{тр}}{Q_{en}} dt'. \quad (12)$$

Рівняння (8) можна записати у вигляді:

$$p_{тр} \Omega_{тр} H_{тр} dt' = p_{тр} \Omega_{тр} dh_{тр} + k_{\phi} \left(1 + \frac{h_{тр}}{h_{д}} \right) \Omega_{тр} dt + k_{\phi} \Pi_{тр} h_{тр} dt.$$

У безрозмірному вигляді:

$$dt' = dh'_{тр} + \frac{k_{\phi} \Omega_{тр}}{Q_{en}} \left(1 + \frac{h'_{тр}}{h'_{д}} \right) dt' + \frac{k_{\phi} \Pi_{тр} h_{тр}}{Q_{en}} dt'; \quad (13)$$

$$dh'_{тр} = \left[1 - \frac{k_{\phi} \Omega_{тр}}{Q_{en}} \left(1 + \frac{h'_{тр}}{h'_{д}} \right) - \frac{k_{\phi} \Pi_{тр} H_{тр} h'_{тр}}{Q_{en}} \right] dt' ; \quad (14)$$

$$\frac{dh'_{тр}}{dt'} = \left(1 - \frac{k_{\phi} \Omega_{тр}}{Q_{en}} \left(1 + \frac{h'_{тр}}{h'_{д}} \right) - \frac{k_{\phi} \Pi_{тр} H_{тр} h'_{тр}}{Q_{en}} \right). \quad (15)$$

При $h_{д} = H_{РГВ}$, тобто при $h'_{д} = \frac{H_{РГВ}}{H_{тр}}$; $I_{д} = \left(1 + \frac{h_{тр}}{H_{РГВ}} \right)$, або в безрозмірному вигляді:

$$I_{д} = \left(1 + \frac{H_{тр} h'_{тр}}{H_{РГВ}} \right). \quad (16)$$

Функція $h'_{тр}$ змінюється від 0 до 1 при повному заповненні траншеї, а $h'_{д}$ – від 0 до $H_{РГВ}/H_{тр}$.

Приведемо до безрозмірного вигляду рівняння (9):

$$\frac{k_{\phi} \Omega_{тр} p_{тр}}{Q_{en}} \left(1 + \frac{h'_{тр}}{h'_{д}} \right) dt' = p_{тр} dh'_{д}. \quad (17)$$

Отже, отримали систему з двох рівнянь у безрозмірних величинах:

$$\frac{dh'_{тр}}{dt'} = 1 - \left(1 + \frac{h'_{тр}}{h'_{д}} \right) \cdot \frac{k_{\phi} \Omega_{тр}}{Q_{en}} - \frac{k_{\phi} \Pi_{тр} H_{тр} h'_{тр}}{Q_{en}}, \quad (18)$$

$$\frac{dh'_{д}}{dt'} = \frac{k_{\phi} \Omega_{тр} p_{тр} \left(1 + \frac{h'_{тр}}{h'_{д}} \right)}{p_{тр} Q_{en}}. \quad (19)$$

Введемо до розгляду два безрозмірних параметри A і $\Omega'_{ст}$:

$$A = k_{\phi} \Omega_{тр} / Q_{en}; \quad (20)$$

$$\Omega'_{\text{ст}} = \frac{\Omega_{\text{ст}}}{\Omega_{\text{тр}}} = \frac{\Pi_{\text{тр}} H_{\text{тр}}}{\Omega_{\text{тр}}} . \quad (21)$$

Тоді рівняння (18) і (19) запишуться відповідно у вигляді:

$$\frac{dh'_{\text{тр}}}{dt'} = 1 - A \cdot \left(1 + \frac{h'_{\text{тр}}}{h'_{\text{д}}} + \Omega'_{\text{ст}} h'_{\text{тр}} \right); \quad (22)$$

$$\frac{dh'_{\text{д}}}{dt'} = \frac{p_{\text{тр}} A}{p_{\text{тр}}} \left(1 + \frac{h'_{\text{тр}}}{h'_{\text{д}}} \right) , \quad (23)$$

де $h'_{\text{тр}}$, $h'_{\text{д}}$ – шукані функції безрозмірного часу t' .

Всі безрозмірні параметри мають просту фізичну суть:

$$t_f = \frac{p_{\text{тр}} \Omega_{\text{тр}} H_{\text{тр}}}{Q_{\text{ен}}} - \text{час умовного наповнення траншеї при відсутності витoku з}$$

неї;

$A = k_{\phi} \Omega_{\text{тр}} / Q_{\text{ен}}$ – відношення об'ємної фільтраційної витрати крізь дно траншеї за умови вільного витікання (при $I_{\text{д}}=1$) до об'ємної витрати притоку в траншею;

$$\Omega'_{\text{ст}} = \frac{\Omega_{\text{ст}}}{\Omega_{\text{тр}}} - \text{відношення площі бічних стінок ексфільтраційної траншеї до}$$

площі її дна.

Розрахунок наповнення ексфільтраційної траншеї за методом кінцевих різниць. Для розв'язання системи рівнянь (22)–(23) застосуємо метод кінцевих різниць. Замінімо диференціали в рівняннях (22) і (23) через відповідні кінцеві різниці:

$$\Delta h'_{\text{тр}} = \left[1 - A \cdot \left(1 + \frac{h'_{\text{тр}}}{h'_{\text{д}}} + \Omega'_{\text{ст}} h'_{\text{тр}} \right) \right] \Delta t'; \quad (24)$$

$$\Delta h'_{\text{д}} = \left(1 + \frac{h'_{\text{тр}}}{h'_{\text{д}}} \right) \frac{p_{\text{тр}} A \Delta t'}{p_{\text{тр}}} . \quad (25)$$

Для підвищення точності чисельного розв'язку при визначенні приростів функцій $\Delta h'_{\text{тр}}$ та $\Delta h'_{\text{д}}$ за формулами (24)–(25) візьмемо поточні значення функцій $h'_{\text{тр}}$ і $h'_{\text{д}}$ посередині розрахункових часових відрізків (рис. 2).

Тоді рівняння (24)–(25) запишуться у вигляді:

$$\Delta h'_{\text{тр},i} = \left[1 - A \cdot \left(1 + \frac{h'_{\text{тр},i} + \frac{\Delta h'_{\text{тр},i}}{2}}{h'_{\text{д},i} + \frac{\Delta h'_{\text{д},i}}{2}} + \Omega'_{\text{ст}} (h'_{\text{тр},i} + \Delta h'_{\text{тр},i}) \right) \right] \Delta t'; \quad (26)$$

$$\Delta h'_{д,i} = \left(1 + \frac{h'_{тр,i} + \frac{\Delta h'_{тр,i}}{2}}{h'_{д,i} + \frac{\Delta h'_{д,i}}{2}} \right) \frac{p_{тр} A \Delta t'}{P_{тр}}. \quad (27)$$

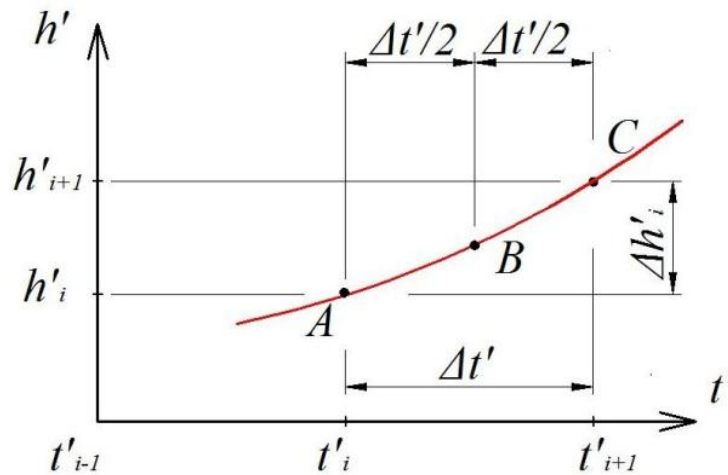


Рисунок 2 – Схема до пояснення визначення $\Delta h'_{тр}$ і $\Delta h'_{д}$ за методом кінцевих різниць

Отримали систему алгебраїчних рівнянь (26) і (27) з двома невідомими: $\Delta h'_{тр,i}$ і $\Delta h'_{д,i}$. З рівняння (27) отримуємо:

$$\left(\frac{p_{тр} \Delta h'_{д,i}}{p_{тр} A \Delta t'} - 1 \right) \cdot \left(h'_{д,i} + \frac{\Delta h'_{д,i}}{2} \right) = h'_{тр,i} + \frac{\Delta h'_{тр,i}}{2},$$

звідки можна отримати взаємозв'язок між $\Delta h'_{тр,i}$ та $\Delta h'_{д,i}$:

$$\Delta h'_{тр,i} = \left(\frac{p_{тр} \Delta h'_{д,i}}{p_{тр} A \Delta t'} - 1 \right) \cdot (2h'_{д,i} + \Delta h'_{д,i}) - 2h'_{тр,i}. \quad (28)$$

Для кожного значення безрозмірного часу t'_i за розробленою авторами програмою знаходили значення $\Delta h'_{тр,i}$ та $\Delta h'_{д,i}$, що задовольняють одночасно рівнянням (26) і (28). Далі обчислювали значення безрозмірних функцій $h'_{тр}$ та $h'_{д}$ в наступних вузлах безрозмірної часової сітки:

$$h'_{тр,i+1} = h'_{тр,i} + \Delta h'_{тр,i}; \quad (29)$$

$$h'_{д,i+1} = h'_{д,i} + \Delta h'_{д,i}. \quad (30)$$

Результати чисельного розрахунку наповнення ексфільтраційної траншеї в безрозмірних змінних. Чисельне моделювання процесу наповнення ексфільтраційної траншеї здійснювалося за умови постійного притоку дощових стічних вод до траншеї. Інтенсивність дощового стоку $q_{ст}$ розраховували за

методом граничних інтенсивностей за умови постійного в часі значення коефіцієнта стоку ψ_{mid} :

$$q_{\text{en}} = \psi_{\text{mid}} q_{20} (20/t_d)^n, \quad (31)$$

де t_d – розрахунковий час випадання дощу, хв.; n – показник степеня, для рівнинних областей України при $P \geq 1$ рік $n=0,71$.

Розрахункова інтенсивність випадання дощу приймалася рівною $q_{20}=100$ л/(с·га), період одноразового перевищення розрахункової інтенсивності – $P=1$ рік.

У роботі виконано моделювання наповнення ексфільтраційної траншеї непроточного типу з рівномірним надходженням до неї усього поверхневого стоку з майданчика площею $F_{\text{бас}}=1000$ м² з водонепроникною поверхнею (при $\psi_{\text{mid}}=0,95$).

Пористість завантаження траншеї та навколишнього ґрунту прийнято рівними відповідно $r_{\text{тр}}=0,4$; $r_{\text{г}}=0,3$. Коефіцієнт фільтрації ґрунту приймався рівним $k_{\text{ф}}=5 \cdot 10^{-5}$ м/с = 180 мм/год як середнє значення для середньозернистих пісків.

Відносна площа ексфільтраційної траншеї x_F визначалася як відношення площі траншеї в плані до загальної площі басейна стоку:

$$x_F = \Omega_{\text{тр}} / F_{\text{бас}}. \quad (32)$$

На рис. 3 представлено типові залежності безрозмірного наповнення ексфільтраційної траншеї $h'_{\text{тр}}$ та безрозмірної глибини h'_d від безрозмірного часу $t'=t/t_f$ при розрахунковій тривалості дощу $t_d=120$ хв, що відповідає $t'_d=2,4$ (рис. 3,а) та при $t_d=20$ хв, що відповідає $t'_d=1,43$ (рис. 3,б). Відносна площа траншеї в плані прийнята рівною 2% відповідно до рекомендацій [1, 2, 4]. Співвідношення сторін траншеї $L_{\text{тр}}/B_{\text{тр}}=20$.

Як видно з графіка $h'_{\text{тр}}(t')$ на рис. 3,а, при розрахунковій тривалості дощу $t_d=120$ хв максимальне наповнення траншеї становить лише $0,491H_{\text{тр}}$, тоді як для коротшого, але інтенсивнішого дощу тривалістю $t_d=20$ хв $h'_{\text{тр,max}}=0,875$ (рис. 3,б). Для розглянутих умов дощ тривалістю 20 хв та, відповідно, з інтенсивністю 100 л/(с·га) є критичним, тобто спричиняє максимально можливе наповнення траншеї.

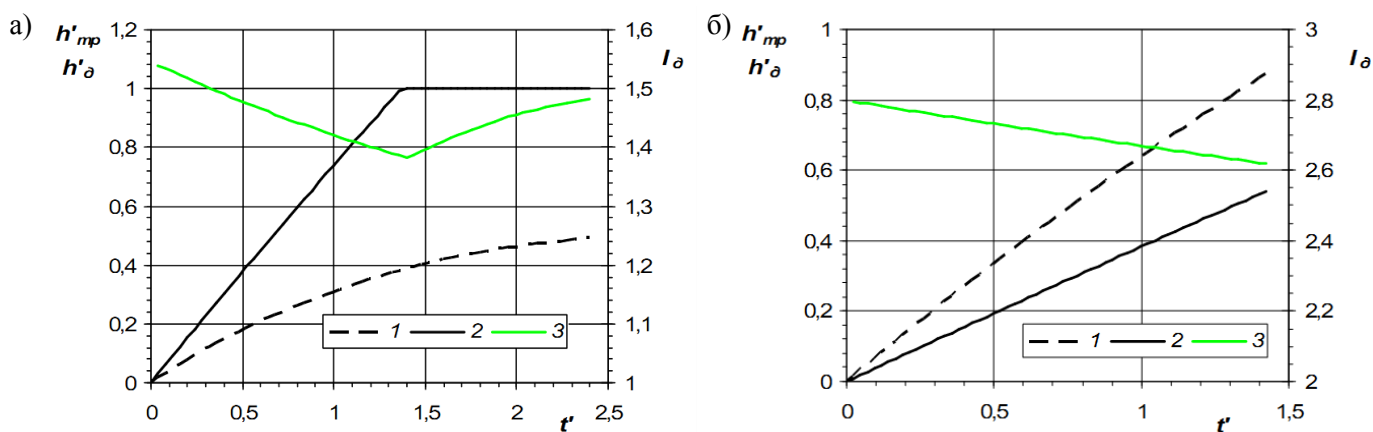


Рисунок 3 – Зміна в часі безрозмірної висоти наповнення ексфільтраційної траншеї $h'_{тр}$ (1); глибини ексфільтрації $h'_д$ (2) та гідравлічного похилу $I_д$ (3) при розрахунковій тривалості дощу $t_д=120$ хв; ($q_{20}=100$ л/(с·га); $F_{бас}=1000$ м²; $x_F=2\%$; $\psi_{mid}=0,95$; $k_ф=180$ мм/год; $p_{гр}=0,3$; $p_{тр}=0,4$; $H_{тр}=H_{РГВ}=1$ м; $L_{тр}/B_{тр}=20$)

Досліджено вплив розрахункової тривалості дощу та співвідношення сторін ексфільтраційної траншеї $L_{тр}/B_{тр}$ на її максимальне відносне наповнення $h'_{тр,маx}$ (рис. 4,а) та на максимальне відносне проникнення фільтраційного потоку під дно траншеї $h'_{д,маx}$ (рис. 4,а).

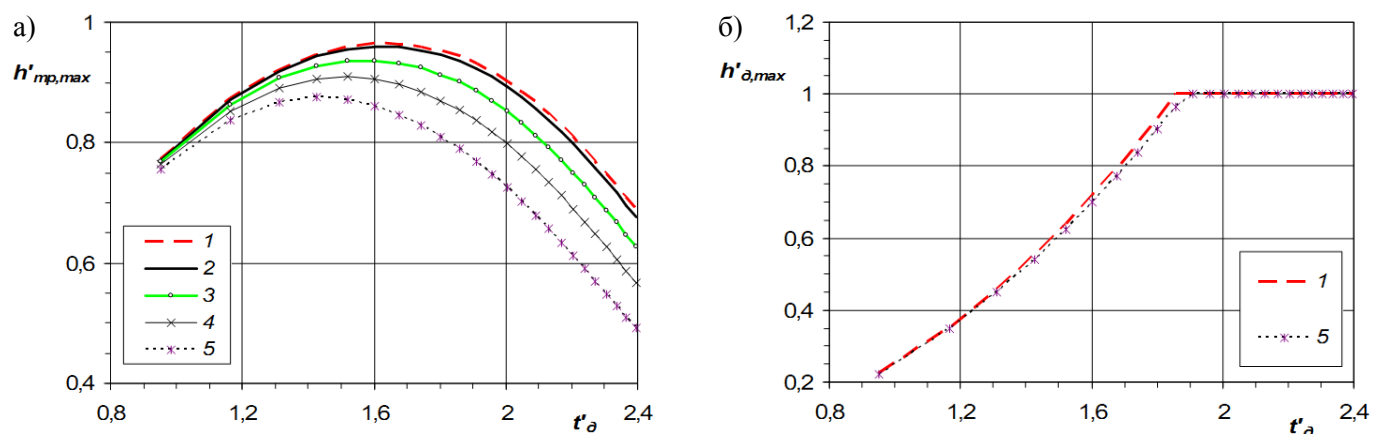


Рисунок 4 – Графіки залежності $h'_{тр,маx}$ та $h'_{д,маx}$ від безрозмірної тривалості дощу $t'_д$ при різних співвідношеннях $L_{тр}/B_{тр}$: 1 – 1; 2 – 2; 3 – 5; 4 – 10; 5 – 20 ($q_{20}=100$ л/(с·га); $F_{бас}=1000$ м²; $x_F=2\%$; $\psi_{mid}=0,95$; $k_ф=180$ мм/год; $p_{гр}=0,3$; $p_{тр}=0,4$; $H_{тр}=H_{РГВ}=1$ м;)

Критична тривалість дощу, який спричиняє максимальне наповнення траншеї, знаходиться в межах від 20 до 30 хв (при $t'_д$ від 1,43 до 1,6), що значно менше за рекомендоване [2] значення $t_{д,кр}=120$ хв, причому зі збільшенням співвідношення $L_{тр}/B_{тр}$ значення $t_{д,кр}$ зменшується (рис. 4,а). Зі збільшенням

співвідношення довжини і ширини траншеї $L_{тр}/B_{тр}$ її максимальне наповнення при всіх інших однакових параметрах зменшується. У розглянутому випадку при зміні $L_{тр}/B_{тр}$ від 1 до 20 значення $h'_{тр,маx}$ зменшується відповідно від 0,965 до 0,875, що становить 9,3%. З іншого боку, конфігурація траншеї в плані практично не впливає на динаміку зміни максимальної відносної глибини $h'_{д,маx}$ (рис. 4,б). Значення $h'_{д,маx}$ залежить від відносного часу від моменту початку дощу та від фільтраційних характеристик ґрунту (k_f і $p_{тр}$).

Висновки

Розроблено нову математичну модель наповнення одношарової ексфільтраційної траншеї, призначеної для регулювання дощового стоку з урбанізованих територій. Отримано систему диференціальних рівнянь (8) і (9), які описують матеріальний баланс води в траншеї та ґрунті під дном траншеї. Цю систему рівнянь записано через безрозмірні змінні (рівняння (22) і (23)). З використанням методу кінцевих різниць розроблено комп'ютерну програму для чисельного розрахунку процесу наповнення ексфільтраційної траншеї. Отримано графічні залежності максимального наповнення ексфільтраційної траншеї, влаштованої в піщаних ґрунтах середньої крупності, від безрозмірної тривалості дощу та співвідношення довжини та ширини траншеї при постійному в часі притоці дощових стічних вод.

Література

1. Storm Water Management Planning and Design Manual. / Ministry of the Environment. — Ontario: Queen's Printer for Ontario, 2003.
2. Georgia stormwater management manual. Volume 2: Technical handbook. — Atlanta: AMEC Earth and Environmental, Center for Watershed Protection, 2001. — 844 p.
3. Kuo C.Y. A Study of Infiltration Trenches. / C.Y. Kuo, J.L. Zhu, L.A. Dollard . — Blacksburg: Virginia Water Resources Research Center, Virginia Polytechnic Institute and State University. — Bull. 163 — 1989. — 73 p.
4. Mays L. W. Stormwater collection systems design handbook [Текст] / L. W. Mays. — New York: McGraw-Hill Professional, 2001. — 1008 p.
5. Smith A.A. Miduss. Version 2. Appendices / A.A. Smith. — Dundas, Ontario. — 2004. — 89 p.
6. Rossman L. A. Storm Water Management Model. User's Manual. Version 5.0. EPA/600/R 05/040. [Текст] / L.A. Rossman. Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory. — Cincinnati. — 2007. — 265 p.

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

ДОВГОСТРОКОВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ВЕЛИЧИНИ РІЧКОВОГО СТОКУ МЕТОДОМ SVD – РОЗКЛАДЕННЯ

Анотація. Наведені результати прогнозування середньорічних витрат води річок методом SVD – розкладення на довгострокову перспективу.

Ключові слова: гідрологічні часові ряди, річковий сток, довгострокове прогнозування.

Аннотация. Представлены результаты прогнозирования среднегодовых расходов воды рек методом SVD – разложения на длительную перспективу.

Ключевые слова: гидрологические временные ряды, речной сток, долгосрочное прогнозирование.

Annotation. In article are presented the results of the long-term forecasting mean-year expenses of water of the river. Method of the forecasting is based on use Singular Value Decomposition (SVD).

Keywords: hydrological time series, long-term forecasting.

Однією із основних задач гідрологічних розрахунків при проектуванні мостових переходів є довгострокове прогнозування максимальних витрат води у річках [1].

В інженерній практиці довгострокове прогнозування гідрологічних характеристик (витрат та рівнів води) традиційно розглядається з позицій впливу різного роду факторів на річковий сток [2-4].

Однак у різноманітності умов змін характеристик стоку досить складно виділити основні фактори, що призводить до застосування або спрощених методик розрахунку (наприклад, у вигляді залежностей тільки від одного фактора), або методик, перевантажених набором багатьох предикторів.

Дослідження часових гідрологічних рядів методами математичної статистики та теорії ймовірностей дали певний прогрес при аналізі багаторічних коливань стоку [5,6], але задача надійного прогнозування його характеристик (особливо на довготривалу перспективу) залишалася невирішеною.

Головною причиною незавбачності гідрологічних процесів є нелінійність, яку обов'язково слід враховувати при реалізації різного роду моделей стоку [7,8].

Як показали численні дослідження, нелінійні процеси та детермінований хаос спостерігаються у багаторічних рядах стоку переважної більшості річок, що протікають у різних місцевостях з досить відмінними кліматичними умовами [9,10].

Сучасний стан методів прогнозу часових рядів, які характеризуються складною (у тому числі і хаотичною) поведінкою, базується на використанні розробок нелінійної динаміки [11]. Це дозволяє проводити безпосереднє прогнозування на базі тільки конкретного часового ряду [12].

Застосування такого підходу до довгострокового прогнозування дає досить обнадійливі результати.

Як відомо, дослідження будь-яких динамічних систем (як і рядів, що породжуються ними) можливе із використанням як моделей на базі диференціальних рівнянь (так званих "потоків"), так і моделей на базі дискретних різницевих рівнянь ("каскадів").

Так, наприклад, модель часового ряду чисел Вольфа згідно [13] слід відносити до "потоків".

Гідрологічні ряди середньорічних значень витрат води річок мають достатньо "ламаний" вид (рис.1), тому можна припустити, що моделі цих рядів скоріше за все є "каскади".

Попередньо фільтрувати "каскадні" ряди при прогнозуванні їх методом SVD-розкладення слід у більшому ступені, ніж ряди "потоків".

На рис.1 чітко спостерігається відмінність фільтрованого від вихідного гідрологічного ряду. Зазначимо, що для попередньо фільтрованого та вихідного часових рядів чисел Вольфа така відмінність незначна [14].

Звісно, що ряди породжені "каскадами", прогнозуються значно гірше, ніж ряди, породжені "потоків". Тобто кількість років, на які може бути

"правдиво" подовжений такий вихідний ряд, буде менше кількості років, на які можливо подовжити ряд "потоків".

Розглянемо результати прогнозування середньорічних витрат води методом SVD – розкладення на довготривалу перспективу.

Вихідні часові ряди середньорічних витрат води, м³/с, приймали згідно [15].

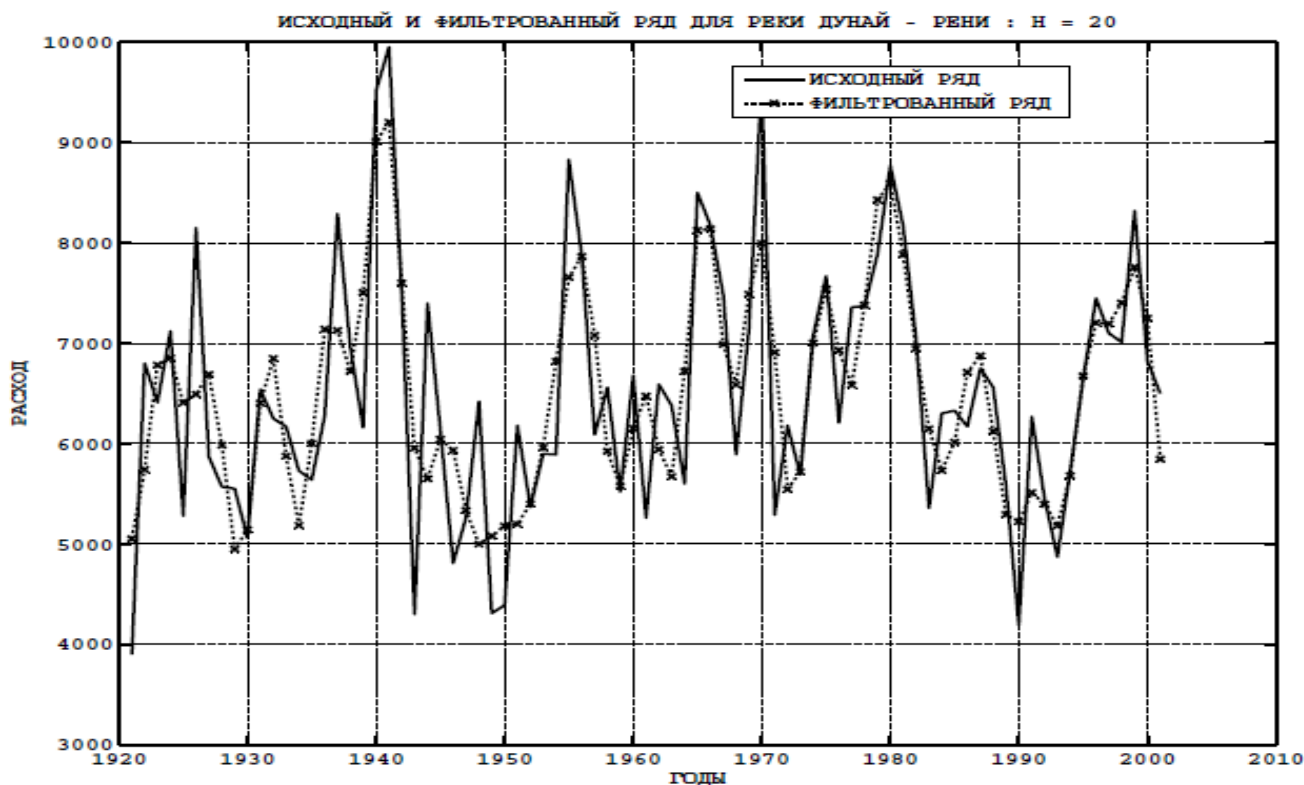


Рисунок 1

Так, для р. Дунай (п.Рені) довжина часового ряду середньорічних витрат води склала 81 значення (спостереження з 1921 по 2001р. включно).

Параметр Фур'є – фільтру при розрахунках дорівнював $N=20$.

На вхід процедури прогнозування подавали лише перші 70 значень (точок) вихідного фільтрованого ряду та подовжували цей ряд на 11 значень методом SVD – розкладення. Ці спрогнозовані 11 значень порівнювали із останніми 11 значеннями вихідного фільтрованого ряду та робили висновок щодо якості прогнозу.

На рис.2 наведені результати прогнозування для р. Дунай (п. Рені) при значенні розмірності траєкторної матриці $DIM=29$ та параметру прогнозування $NMC=28$.

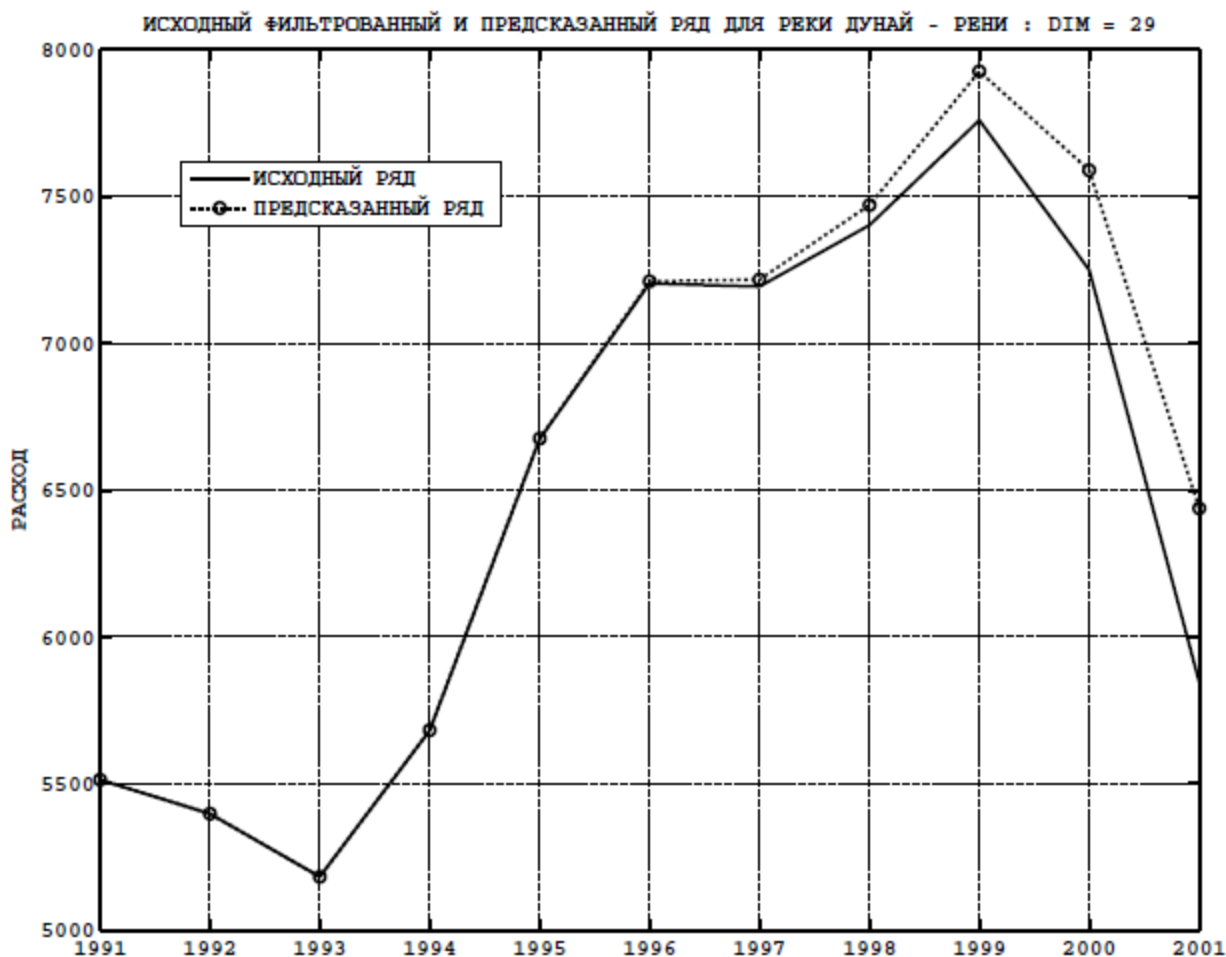


Рисунок 2

Як видно, дані прогнозу добре співпадають із дійсними даними на протязі перших 7 років, а далі спостерігається поступове відхилення даних прогнозу від дійсних даних.

Варіювання значень у межах $DIM=30...34$ практично не впливає на результати прогнозування.

При значенні $DIM=35$ похибки прогнозування для 8...11 року прогнозу дещо зменшуються. При цьому «прогнозна» крива проходить нижче кривої дійсних значень (див.рис.3).

При подальших розрахунках ($DIM=36...38$) одержуємо приблизно такі самі результати прогнозування, як і при значеннях $DIM=29...34$.

Тобто, при зміні величини DIM як мінімум у межах десяти значень ($DIM=29...38$) маємо досить сталі результати прогнозування.

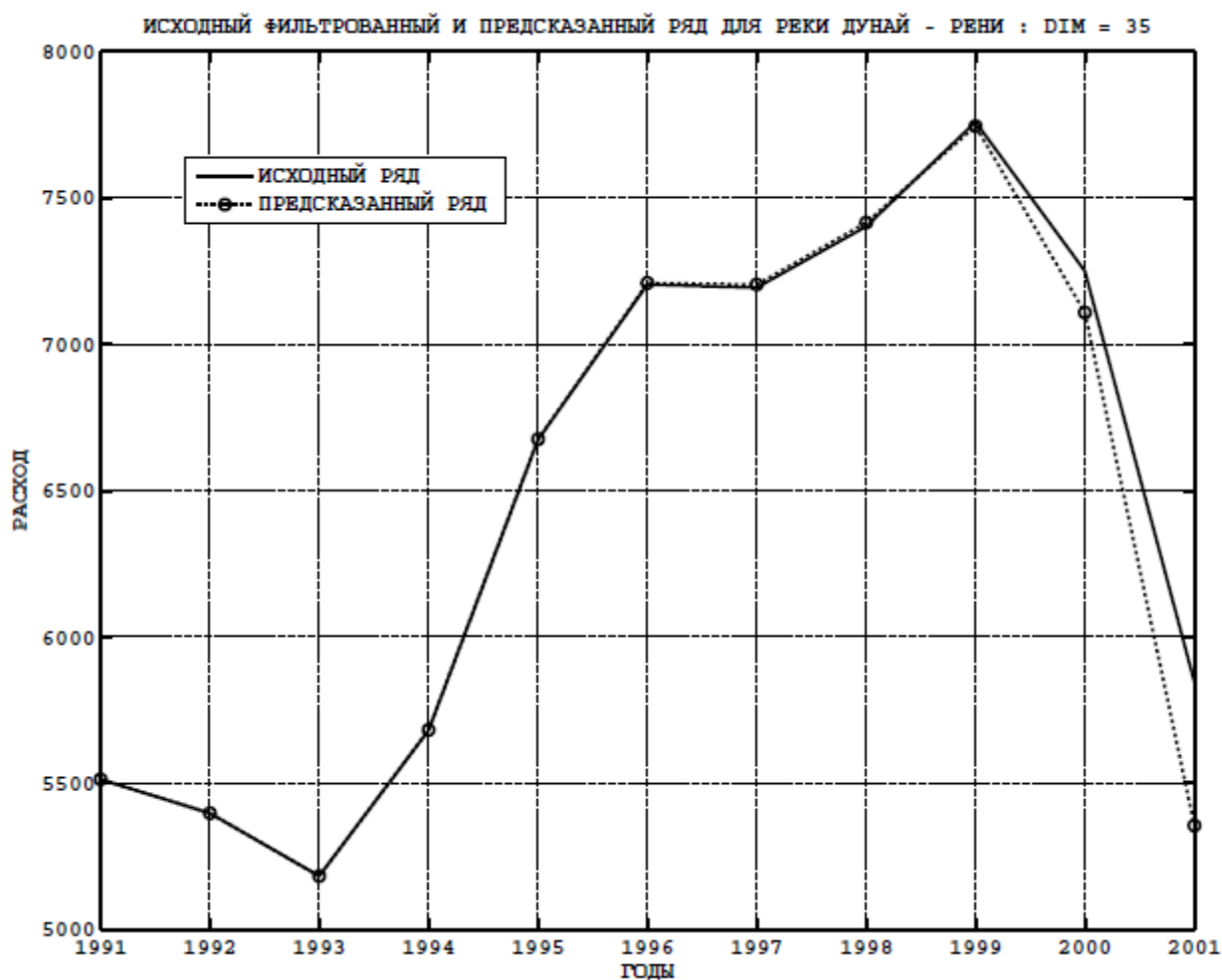


Рисунок 3

Висновки

Наведені результати прогнозування значень середньорічних витрат води р. Дунай (п. Рені) методом SVD – розкладення.

Як свідчать розрахунки, досить точно прогнозування витрат води можливе на період 7...8 років, а при деякому зниженні точності прогнозу (але все ж достатньому для практики) і на 9...11 років. При цьому розроблена авторами процедура дозволяє прогнозувати не тільки довгі, але також і відносно короткі ряди гідрометричної інформації.

Література

1. Андреев О.В. Проектирование мостовых переходов. – М.: Транспорт, 1980. – 215 с.
2. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 420 с.
3. Попов Е.Г. Гидрологические прогнозы. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 256 с.
4. Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 1. Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. – Л.: Гидрометеоздат, 1989. – 359 с.
5. Сванидзе Г.Г. Математическое моделирование гидрологических рядов для водноэнергетических и водохозяйственных расчетов. – Л.: Гидрометеоздат, 1977. – 296 с.
6. Привальский В.Е., Панченко В.А., Асарина Е.Ю. Модели временных рядов с приложениями в гидрометеорологии. – С-Пб.: Гидрометеоздат, 1992. – 226 с.
7. Найденов В.И. Нелинейная динамика поверхностных вод суши. – М.: Наука, 2004. – 318 с.
8. Khan S. Nonlinear dependence and extremes in hidrology and climate.- Theses and Dissertations...Ph.D. – University of South Florida. – 2007. – 182 p.
9. Jayawardena A.W., Lai F. Chaos in hydrological time series. – "Extreme Hydrological Events: Precipitation, Floods and Droughts." Proceedings of the Yokohama Symposium, July 1993 // IAHS, Publ. № 213, 1993. – P. 59 – 66.
10. Sivakumar B. Chaos theory in hidrology: important issues and interpretations // Journal of Hydrology, 2000, 227 (1 – 4). – P. 1 – 20.
11. Малинецкий Г.Г., Курдюмов С.П. Нелинейная динамика и проблемы прогноза // Вестник РАН. – 2001. – Том 71. – № 3. – С. 210 – 224.
12. Безручко Б.П., Смирнов Д.А. Математическое моделирование и хаотические временные ряды. – Саратов: Изд-во Гос.УНЦ "Колледж", 2005. – 343 с.
13. Петрович В.В., Артеменко В.А. Застосування апарата нелінійної динаміки для аналізу часових рядів гідрометеорологічної інформації // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Вип. 80. – К.: Вид-во НТУ, 2011. – С. 121 – 139.
14. Петрович В.В., Артеменко В.А. Прогнозування часових природних рядів на основі методу SVD – розкладення// "Автомобільні дороги і дорожнє будівництво". – Вип. 84. – К.: Вид-во НТУ, 2012. – С. 13 – 29.
15. Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. – К.: Ніка-Центр, 2003. – 324 с.

Савенко В.Я., д-р техн. наук, Славінська О.С., д-р техн. наук,
Козарчук І.А.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЧІЇ В ЗОНАХ РОЗГАЛУЖЕННЯ РІЧКОВОГО ПОТОКУ

Анотація. В статті проаналізовано основні моделі гідродинаміки річкових потоків. Розглянута двовимірна модель, і зроблено висновок про доцільність її застосування на практиці. Досліджується метод розрахунку вторинних течії поперечної циркуляції на основі двовимірної моделі руху рідини. Пропонується використовувати $k - \varepsilon$ модель для замикання рівнянь двовимірної моделі.

Ключові слова: математична модель, турбулентність, річковий потік, мостовий перехід.

Аннотация. В статье проанализированы основные модели гидродинамики речных потоков. Рассмотрена двумерная модель, и сделан вывод о целесообразности ее использования на практике. Исследуется метод расчета вторичных течения поперечной циркуляции на основе двумерной модели движения жидкости. Предлагается использовать $k - \varepsilon$ модель для замыкания уравнений двумерной модели.

Ключевые слова: математическая модель, турбулентность, речной поток, мостовой переход.

Annotation. The basic models of hydrodynamics of river streams are analyzed in the article. A two-dimensional model is considered, and conclusion about reasonability of its practical application is drawn. The calculation method of secondary flows of transversal circulation is researched on the basis of two-

dimensional model of fluid motion. It is suggested to use $k - \varepsilon$ model to closure the equalizations of two-dimensional model.

Key words: mathematical model, turbulence, river stream, bridge crossing.

Постановка проблеми

Сучасний рівень математичного моделювання течії безнапірних потоків визначається рівнем аналізу механізму турбулентного переносу. Незважаючи на великий досвід, накопичений в цій галузі, залишається ще чимало не вивчених до кінця питань. Їх дослідження ускладнюється тим, що досі не сформульована загальноприйнята замкнута система рівнянь турбулентного руху. Однак значний прогрес в сфері комп'ютерної техніки дав новий поштовх численному моделюванню турбулентності в задачах гідромеханіки і викликав її широке впровадження в практику інженерного проектування.

Математична модель руху річкового потоку дає змогу визначити його гідродинамічне поле швидкостей і тисків. А встановивши розподіл швидкостей по живому перерізу потоку, можна визначити розмив і розподіл витрати при розгалуженні потоку (наприклад, на мостових переходах з груповими отворами).

Основою для розробки математичної моделі руху річкового потоку в зоні впливу мостового переходу повинні бути рівняння динаміки реальної рідини в «напруженнях» або, що те ж саме, рівняння Нав'є-Стокса. Однак існуючі аналітичні і чисельні методи вирішення цих рівнянь розроблені лише для найпростіших задач, які мають дуже обмежене практичне застосування, – для ламінарного руху рідини [12].

Проте течія в зоні впливу мостового переходу – це випадок турбулентного режиму руху рідини, який характеризується тим, що при заданих граничних умовах швидкості і тиски в потоці є не визначеними, а випадковими функціями координат і часу. Визначеними функціями є тільки математичні сподівання. Випадкові функції, які виражають миттєві швидкості і тиски, а також їх математичні сподівання (які зазвичай називаються осередненими швидкостями

і тисками) неможливо знайти з рівнянь Нав'є-Стокса за сучасних методів вирішення цих рівнянь [4, 6].

Система рівнянь турбулентного руху, які описують гідродинамічні поля швидкостей і тисків у водотоках, є незамкнутою. Тому її інтегрування викликає значні труднощі, пов'язані з нелінійністю рівнянь руху, а також складністю апроксимації в кінцевих різницях на досить дрібній сітці з великою кількістю вузлів. Тому для вирішення прикладних задач гідродинаміки використовують наближені математичні моделі течій, в яких враховують тільки головні фактори, а другорядними нехтують [12]. Прикладом такої наближеної моделі є двовимірний модель.

Таким чином, **мета роботи** полягає в розробці математичної моделі течії в зоні розгалуження річкового потоку.

Аналіз досліджень і публікацій. В результаті поділу і злиття потоків різко змінюється гідродинамічна структура і транспортує здатність потоків, яка проявляється в: помітному викривленні планових струменів; утворенні значних (по відношенню до планових розмірів взаємодіючих потоків) рециркуляційних зон; появі значних швидкостей вторинних течій поперечної циркуляції; трансформації епюр розподілу швидкостей як по глибині, так і по ширині потоку; наявності відривних течій аперіодичного характеру, що обумовлюють істотне підвищення пульсаційних складових швидкостей; зміні транспортує здатності потоків, що призводить до виникнення розмивів і відкладень біля берегів.

Потік, що входить у відвід (відвідний потік), зазнає сильного стиснення. При прямолінійних стінках основного русла і відведення біля верхньої стінки відвідного русла утворюється область завихрень (водоверті). Якщо витрата, що відділяється, велика, то розширення потоку в основному руслі часто супроводжується утворенням другої зони завихрень біля стінки основного русла, протилежної до входу у відвідне русло (рис. 1).

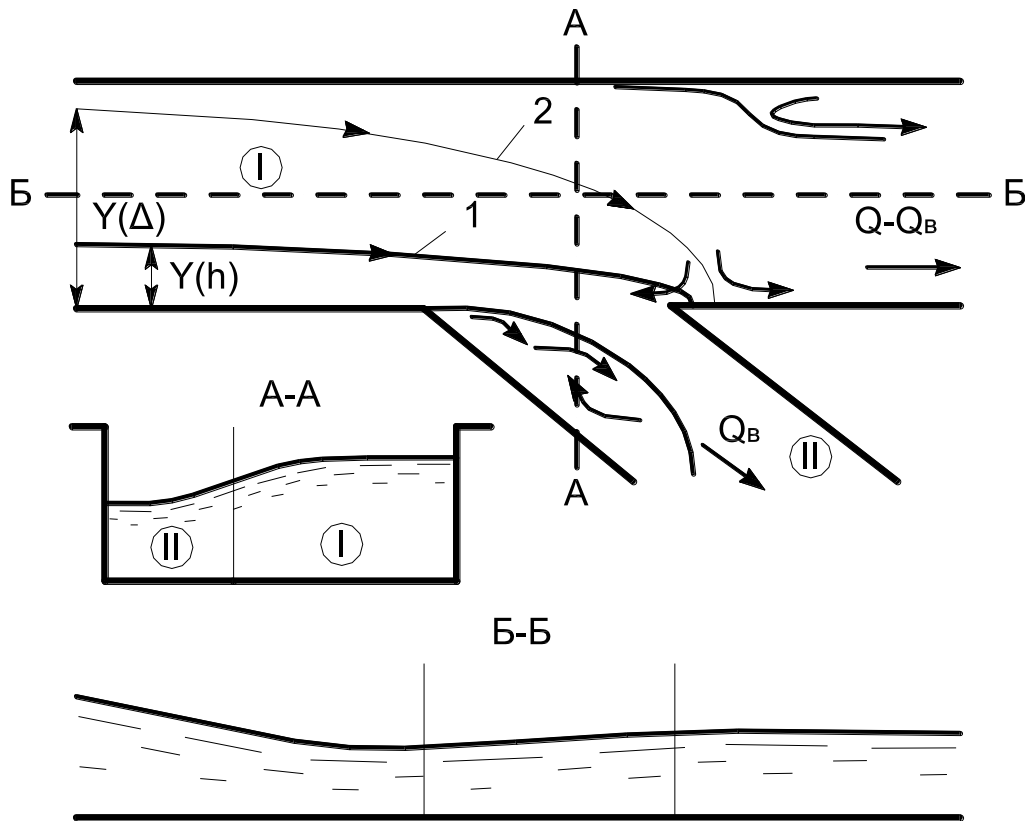


Рисунок 1 – Схема поділу відкритого потоку

Дослідження проблем гідродинаміки ґрунтується на використанні рівнянь руху, енергії, нерозривності і переносу рідкого середовища. Ці рівняння виражають фундаментальні закони механіки і встановлюють співвідношення між кінематичними і динамічними характеристиками течії рідини та її фізичними властивостями.

Рівняння руху рідини відображують один з основних законів механіки – другий закон Ньютона, згідно з яким маса, помножена на прискорення, дорівнює сумі всіх сил – об’ємних (масових) і поверхневих, – які діють на цю масу.

Прискорення маси рідини в свою чергу складається з локального прискорення $\frac{\partial u_i}{\partial t}$ (обумовленого зміною швидкості в часі у фіксованій точці простору) і трьох складових конвективного прискорення $\sum_{j=1}^3 u_j \frac{\partial u_i}{\partial j}$

(обумовленого зміною швидкості при переході від однієї точки простору до іншої).

До об'ємних сил належать сили, які діють на весь виділений об'єм рідини, наприклад сила тяжіння.

До поверхневих сил належать сили нормального τ_{ii} і дотичного τ_{ij} ($i \neq j$) напружень. Рівнодійна поверхневих сил, віднесена до одиниці об'єму, дорівнює $\sum_{j=1}^3 \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial j}$.

Враховуючи вище сказане, другий закон Ньютона можна представити у вигляді:

$$\rho \left(\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_i}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_i}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_i}{\partial z} \right) = X_i - \frac{\partial p}{\partial i} + \mu \left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_i}{\partial z^2} \right), i = x, y, z. \quad (1)$$

Вираз (1) є рівняннями гідродинаміки нестискуваної рідини, які також називаються рівняннями Нав'є-Стокса.

Для однорідної рідини закон збереження маси виражається рівнянням нерозривності (суцільності) рідкого середовища. Згідно з цим законом зміна маси в її елементарному об'ємі, зумовлена зміною густини рідини і перенесенням її через границі виділеного об'єму, повинна дорівнювати нулю.

Як зазначалося вище, швидкості і тиски неможливо знайти з рівнянь Нав'є-Стокса [4, 6, 15]. Але спроби створення суто статистичної теорії турбулентності, яка б не спиралася на рівняння Нав'є-Стокса, не призвели до суттєвих результатів [8].

Однак вирішення гідродинамічних задач пов'язане не тільки з подоланням математичних труднощів, а, головним чином, з проблемою турбулентності. Рух рідини в реальних водотоках є турбулентним. Такий рух характеризується безладною і безперервною пульсацією швидкостей і тисків.

Тому найбільш перспективним шляхом вирішення даної проблеми є використання диференціальних рівнянь осередненого руху, які мають практичне

застосування. Ці рівняння отримані Рейнольдсом з рівнянь Нав'є-Стокса на основі прийнятого ним припущення, що дійсний (актуальний) рух, незважаючи його нерегулярний і випадковий характер, все ж описується цими рівняннями. Для виведення рівнянь осередненого турбулентного руху Рейнольдс запропонував замінити актуальні швидкості V_i і тиски p на осереднені \bar{V}_i, \bar{p} і пульсаційні V'_i, p' .

При виведенні рівнянь турбулентний рух розглядається як квазістаціонарний, тобто в результаті осереднення, проведеного в різні моменти часу, отримується одні і ті ж значення осередненої величини.

Рівняння Рейнольдса відрізняється від рівнянь Нав'є-Стокса наявністю додаткового тензора турбулентних напружень. Фізична суть компонентів тензора полягає в тому, що вони є компонентами осередненого переносу кількості руху пульсаційного руху (імпульсу) пульсаційними швидкостями. Динамічний ефект цих складових проявляється у вигляді дотичних $\tau_{ij} = -\rho \bar{V}'_i \bar{V}'_j$ і нормальних $\tau_{ii} = -\rho \bar{V}'_i{}^2$ турбулентних напружень. Експерименти показують, що турбулентні напруження у всій товщі турбулентного потоку, за виключенням області в'язкого підшару, яка безпосередньо прилягає до твердих границь потоку, значно переважають в'язкі напруження і тому останніми в рівняннях Рейнольдса зазвичай нехтують, якщо не розглядати тонкий в'язкий підшар течії біля твердих границь [11, 12, 13, 15].

Рівняння Рейнольдса в скалярній формі в проекціях на осі декартових координат з урахуванням нехтування в'язкими напруженнями мають наступний вигляд:

$$\rho \frac{d\bar{V}_j}{dt} + \rho \sum_{j=1}^3 \frac{\partial(\bar{V}_i \bar{V}_j)}{\partial j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial j} - \rho \sum_{j=1}^3 \frac{\partial(\bar{V}'_i \bar{V}'_j)}{\partial j} + \rho X_i; \quad i = x, y, z; \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^3 \frac{\partial \bar{V}_i}{\partial j} = 0 \quad (3)$$

Така система рівнянь є незамкнутою, внаслідок чого її інтегрування викликає значні труднощі. Тому для вирішення прикладних задач використовують наближені математичні моделі, в яких враховують тільки головні фактори (наприклад, двовимірна модель).

Рівняння двовимірної моделі також повинні виражати фундаментальні закони механіки з урахуванням наближень, обумовлених тим, що реальні тривимірні течії розглядаються в двовимірній плановій ідеалізації. Допущення при використанні планової ідеалізації тривимірних течій в руслах можна аналізувати, якщо рівняння двовимірної моделі отримати внаслідок осереднення по глибині загальних рівнянь тривимірного турбулентного руху рідини [15].

Задачі розрахунку гідродинамічних полів швидкостей і тисків в природних і штучно стиснутих руслах відносяться до задач теорії мілкої води, тобто коли глибина потоку значно менша за горизонтальні планові розміри. Це дозволяє розраховувати розподіл середніх за глибиною швидкостей в плані.

У зв'язку з цим авторами [11, 12, 13, 15] пропонується виведення рівнянь двовимірної моделі гідравліки з рівнянь осередненого тривимірного турбулентного руху в декартових координатах. Рівняння двовимірної моделі при цьому отримуються шляхом інтегрування тривимірних рівнянь (2), (3) по вертикалі від відмітки дна до вільної поверхні, тобто по глибині потоку.

Під час інтегрування приймаються наступні припущення:

- рух приймається усталеним;
- нехтують складовими, які враховують вклад вторинних течій поперечної циркуляції;
- проекція об'ємної сили на вертикальну вісь z дорівнює $X_z = -g$, а на горизонтальні осі x та y $X_x = X_y = 0$;
- при оцінці порядку складових нехтують складовими вищого порядку малості порівняно з основними складовими;

- значення тиску на вільній поверхні потоку P_H приймається постійним, тобто не розглядаються барокліні течії;

- дно приймається таким, що не розмивається;

- при інтегруванні нелінійних конвективних складових нерівномірність розподілу швидкостей по вертикалі враховується за допомогою коефіцієнта α .

Таким чином після інтегрування загальні рівняння руху двовимірної моделі матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_x}{\partial t} + \alpha_h \left(\frac{\partial U_x^2}{\partial x} + \frac{\partial U_x U_y}{\partial y} \right) \\ = -g \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} (\langle \bar{V}_x'^2 \rangle - \langle \bar{V}_z'^2 \rangle) - \frac{\partial}{\partial y} \langle \bar{V}_x' \bar{V}_y' \rangle + \frac{1}{\rho h} (\tau_{x_H} - \tau_{x_{z_0}}); \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_y}{\partial t} + \alpha_h \left(\frac{\partial U_x U_y}{\partial x} + \frac{\partial U_y^2}{\partial y} \right) \\ = -g \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial y} (\langle \bar{V}_y'^2 \rangle - \langle \bar{V}_z'^2 \rangle) - \frac{\partial}{\partial x} \langle \bar{V}_x' \bar{V}_y' \rangle + \frac{1}{\rho h} (\tau_{y_H} - \tau_{y_{z_0}}); \end{aligned} \quad (5)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial U_x h}{\partial x} + \frac{\partial U_y h}{\partial y} = 0. \quad (6)$$

При русі річкового потоку виникають вторинні течії поперечної циркуляції двох видів [4, 9, 12, 13, 14]: вторинні течії першого виду, обумовлені відцентровими силами на повороті русла, і вторинні течії другого виду, що виникають як у скривленому, так і в прямолінійному потоці, обумовлені нерівномірністю розподілу турбулентних напружень по живому перерізу русла, а саме нестійкістю основного осередненого руху потоку. Перший вид циркуляції виникає не тільки на ділянках природних заокруглень потоку, а й у штучно стиснутих руслах, біля голови струмененапрямних дамб, а другий – при різномірній шорсткості і при різких змінах форми русла в поперечному перерізі. Роль вторинних течій у формуванні русла, перенесенні наносів в природних і

штучно стиснутих руслах досить суттєва, що підтверджується теоретичними і експериментальними дослідженнями [1, 2, 3, 5, 7, 16, 17]. Ці течії також здійснюють поперечне перенесення імпульсу в плані і при інтенсивній поперечній циркуляції, яка відбувається в зоні впливу мостових переходів та інших гідротехнічних об'єктів, цей ефект необхідно враховувати при вирішенні двовимірної моделі [12].

При розрахунку поперечної циркуляції в природних і штучно стиснутих руслах необхідно брати до уваги, що кривизна потоку в плані непостійна і змінює свій знак. Тобто буде відбуватися накладення поперечної циркуляції, яка «надходить» з вище розташованої ділянки, на поперечну циркуляцію, яка виникає на ділянці, що розглядається. В роботі [15] запропоновано математичний опис механізму поперечної циркуляції, який враховує «передісторію» осередненого руху в руслі, в тому числі і поперечну циркуляцію вище за течією.

Для визначення вкладу поперечної циркуляції [11, 12] при інтегруванні по глибині нелінійних складових рівнянь Рейнольдса виду $\frac{\partial}{\partial i} \overline{V_i V_j}$ в локальній поперечній швидкості виділяють складові вторинних течії поперечної циркуляції u_y та u_z , тобто \overline{V}_y і \overline{V}_z представлені у вигляді:

$$\overline{V}_y = U_y + u_y; \quad \overline{V}_z = u_z \quad (7)$$

При інтегруванні по глибині з виконанням умов:

$$\langle u_y \rangle \equiv 0; \quad u_z \Big|_{z=H} = u_z \Big|_{z=z_0} = 0 \quad (8)$$

складові виду $\frac{\partial}{\partial z} \overline{V_i V_z}$ ($i = x, y$) перетворюються на нуль.

Отже, рівняння двовимірної моделі з урахуванням впливу поперечної циркуляції:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial U_x}{\partial t} + \alpha_h \left(\frac{\partial U_x^2}{\partial x} + \frac{\partial U_x U_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \langle \bar{V}_x u_y \rangle = \\
= -g \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} (\langle \bar{V}_x'^2 \rangle - \langle \bar{V}_z'^2 \rangle) - \frac{\partial}{\partial y} \langle \bar{V}_x' \bar{V}_y' \rangle \\
+ \frac{1}{\rho h} (\tau_{x_H} - \tau_{x_{z_0}}); \quad (9)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial U_y}{\partial t} + \alpha_h \left(\frac{\partial U_x U_y}{\partial x} + \frac{\partial U_y^2}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \langle \bar{V}_x u_y \rangle + \frac{\partial}{\partial y} \langle u_y^2 \rangle = \\
= -g \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial y} (\langle \bar{V}_y'^2 \rangle - \langle \bar{V}_z'^2 \rangle) - \frac{\partial}{\partial x} \langle \bar{V}_x' \bar{V}_y' \rangle \\
+ \frac{1}{\rho h} (\tau_{y_H} - \tau_{y_{z_0}}); \quad (10)
\end{aligned}$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial U_x h}{\partial x} + \frac{\partial U_y h}{\partial y} = 0. \quad (11)$$

де $\frac{\partial}{\partial y} \langle \bar{V}_x u_y \rangle$, $\frac{\partial}{\partial x} \langle \bar{V}_x u_y \rangle$, $\frac{\partial}{\partial y} \langle u_y^2 \rangle$ – складові, які враховують вплив поперечної циркуляції.

$\langle \bar{V}_x u_y \rangle$ характеризує конвективне перенесення імпульсу вторинними течіями, може бути представлений у вигляді:

$$\langle \bar{V}_x u_y \rangle = \frac{U_x}{h} \int_{z_0}^H u_y dz \quad \text{і} \quad \langle u_y^2 \rangle = \int_{z_0}^H u_y^2 dz \quad (12)$$

При цьому також повинна виконуватися умова (8).

Система рівнянь двовимірної моделі (4)-(6) незамкнута, тобто в рівняннях руху присутні дотичні і нормальні турбулентні напруження. Наявність в рівняннях цих напружень призводить до необхідності апроксимації членів

турбулентного перенесення за допомогою певної моделі турбулентності. Виділяється два основних методи описання моделей турбулентності: інтегральні і диференційні. Для відповідності моделі турбулентності рівнянням двовимірної моделі для замикання цієї системи необхідно використовувати моделі, які займають проміжне положення між вищезазначеними двома моделями [12].

Згідно з даними численних досліджень [10, 12, 18, 19] для обчислення осереднених по глибині величин доцільно використовувати перетворену $k - \varepsilon$ модель. Використовуючи підхід, запропонований А. Растоджі та В. Роді [19], зміну осередненої за глибиною кінетичної енергії турбулентності і швидкості її дисипації можна описати наступними рівняннями перенесення:

$$\frac{\partial \tilde{k}}{\partial t} + \bar{U}_x \frac{\partial \tilde{k}}{\partial x} + \bar{U}_y \frac{\partial \tilde{k}}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\bar{v}_t \frac{\partial \tilde{k}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\bar{v}_t \frac{\partial \tilde{k}}{\partial y} \right) + P_{2d} - \tilde{\varepsilon}, \quad (13)$$

$$\frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial t} + \bar{U}_x \frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial x} + \bar{U}_y \frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\bar{v}_t \frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\bar{v}_t \frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial y} \right) + c_{\varepsilon_1} \frac{\tilde{\varepsilon}}{\tilde{k}} P_{2d} - c_{\varepsilon_2} \frac{\tilde{\varepsilon}^2}{\tilde{k}}. \quad (14)$$

Досить широко були апробовані алгебраїчні співвідношення для турбулентних напружень, отримані при використанні модельних апроксимацій на основі відповідних рівнянь перенесення других кореляційних моментів. Згідно із загальним підходом, з рівнянь для напружень Рейнольдса вилучається похідна за часом, спрощуються дифузійний, дисипативний члени і член кореляції пульсації. Внаслідок того, що впливом архімедових сил в даній задачі можна знехтувати, алгебраїчні співвідношення, які описують перенесення турбулентних напружень величини $\overline{V'_x V'_y}$, $\overline{V'_x V'_x}$, $\overline{V'_y V'_y}$, для випадку двовимірної ідеалізації можна привести до вигляду:

$$\langle \overline{V'_x V'_y} \rangle = \tilde{k} \left[\frac{(1 - \gamma) \left(\frac{P_{xy}}{\tilde{\varepsilon}} \right)}{c_1 + \frac{P_{2d}}{\tilde{\varepsilon}} - 1} \right],$$

$$\langle \overline{V'_x V'_x} \rangle = \tilde{k} \left[\frac{2}{3} + \frac{(1 - \gamma) \left(\frac{P_{xx}}{\tilde{\varepsilon}} - \frac{2}{3} \frac{P_{2d}}{\tilde{\varepsilon}} \right)}{c_1 + \frac{P_{2d}}{\tilde{\varepsilon}} - 1} \right],$$

$$\langle \overline{V'_y V'_y} \rangle = \tilde{k} \left[\frac{2}{3} + \frac{(1 - \gamma) \left(\frac{P_{yy}}{\tilde{\varepsilon}} - \frac{2}{3} \frac{P_{2d}}{\tilde{\varepsilon}} \right)}{c_1 + \frac{P_{2d}}{\tilde{\varepsilon}} - 1} \right]. \quad (15)$$

де \tilde{k} – турбулентна кінетична енергія;

$\tilde{\varepsilon}$ – дисипація кінетичної енергії;

γ – параметр релаксації;

P_i – члени генерації турбулентності;

c_i – емпіричні константи.

Висновки

Існуючі методи вирішення рівнянь Нав'є-Стокса розроблені лише для найпростіших задач, які мають обмежене практичне застосування. Тому найбільш перспективним є використання диференціальних рівнянь турбулентного осередненого руху – рівнянь Рейнольдса. Для широкого кола практичних задач доцільним є застосування двовимірної моделі руху річкового потоку, що враховує головні фактори, які впливають на формування поля швидкостей і тисків потоку. При розрахунку природних і штучно стиснутих русел необхідно також враховувати вплив вторинних течій поперечної циркуляції, оскільки вони відіграють важливу роль у формуванні русла і перенесенні наносів. Складність математичного моделювання течії при розгалуженні потоків полягає у врахуванні розподілу витрат і правильному призначенні граничних умов.

Література

1. Андреев О. В. Регулирование рек затапливаемыми сооружениями: Сообщение №11. – М.: Трансжелдориздат, 1950. – 20 с.

2. Болдаков Е. В. Переходы через водотоки. – М.: Транспорт, 1965. – 422 с.
3. Караушев А. В. Речная гидравлика. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 416 с.
4. Картвелишвили Н. А. Потоки в недеформируемых руслах. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 280 с.
5. Курганович А. А., Товбич О. В. Поперечная циркуляция и деформация русла у струенаправляющих дамб мостовых переходов // Гидротехн.стро-во., 1990. - №5. – С. 45-46.
6. Ламли Дж. Модели второго порядка для турбулентных течений // Методы расчета турбулентных течений. – М.: Мир, 1984. – С. 7-34.
7. Латышенков А.М. Струенаправляющие дамбы. – М.: ВНИИВОДГЕО, 1956. – 196 с.
8. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1987. – 840 с.
9. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. – М.: ИЛ, 1951. – 576 с.
- 10.Роди В. Модели турбулентности окружающей среды // Методы расчета турбулентных течений. – М.: Мир, 1984. – С. 227-322.
- 11.Рутковская И. А. Двумерная математическая модель и метод расчета течения жидкости в узлах разветвления открытых потоков. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – К.: 2000.
- 12.Савенко В. Я. Математичні моделі і методи розрахунку квазітрьохмірних безнапірних потоків. – К.: Техніка, 1995. – 188 с. Мова рос.
- 13.Савенко В. Я, Славинская Е. С. Моделирование процессов развития внутренних течений с учетом анизотропии открытых турбулентных потоков. – К.: НТУ, 2004. – 176 с.
- 14.Фидман Б. А. Гидродинамика речных течений // Динамика и термика речных потоков. – М.: Наука, 1972. – С. 5-15.
- 15.Шеренков И. А. Прикладные плановые задачи гидравлики спокойных потоков. – М. Энергия, 1978. – 240 с.
- 16.Fisher H. B. Longitudinal dispersion and turbulent mixing in open channel flow // Ann.Rev.Fluid Mech., 1973 – Vol.5. – P. 59-78.
- 17.Fukuoka S., Sayre W. W. Longitudinal dispersion in sinuous channels // J.Hydr.Div.Proc.ASCE, 1973. – Nr, HY1. – P. 195-217.
- 18.Li Fu-tian, Ni Hao-ging. Application and development of turbulence model for engineering practice // Journal of hydraulic engineering, 2001. – N5. – P. 22-31.
- 19.Rastogi A. K., Rodi W. Predictions of heat and mass transfer in open channels // J.Hydr.Div., ASCE, 1978. – №HY3. – P. 397-420.

Шпиг А.Ю.

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИПАДКОВИХ ФАКТОРІВ НА СТАН ПОКРИТТЯ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

Анотація. Розглядається комп'ютерна програма імітаційної моделі обґрунтування рівня втручання – значення експлуатаційного параметру, при якому потрібно виконувати певні ремонтно-відновлювальні заходи, та описується режим її роботи.

Ключові слова: комп'ютерна програма, імітаційна модель, стан покриття, випадкові фактори.

Аннотация. Рассматривается компьютерная программа имитационной модели обоснования уровня вмешательства - значение эксплуатационного параметра, при котором нужно выполнять определенные ремонтно - восстановительные мероприятия, и описывается режим ее работы.

Ключевые слова: компьютерная программа, имитационная модель, состояние покрытия, случайные факторы.

Annotation. Considered a computer program simulation model study level intervention - importance of operating parameters, which need to perform some damage control measures, and describes its mode of operation.

Key words: computer program simulation model, condition coverage, random factors.

Постановка проблеми

Проблема обґрунтування часу проведення робіт з підтримки стану покриття дорожнього одягу у відповідності до нормативних вимог є важливою

науковою задачею. У світі значна увага приділяється виконанню попереджувальних (превентивних) ремонтів покриття, коли його стан ще не досягає критичного рівня, наприклад, допустимої за нормативами рівності. Очевидно, що зміна стану покриття в часі є випадковим процесом. Тому важливо дослідити дію на стан покриття різних випадкових факторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для вирішення проблеми прогнозування процесу деградації дорожнього покриття у світі розроблено чимало емпіричних, механіко-емпіричних та ймовірнісних моделей [1, 2, 3], але дана проблема все ще має значну актуальність.

Постановка завдання. Розробити комп'ютерну програму, яка б дозволила врахувати вплив випадкових факторів на стан покриття дорожнього одягу та обґрунтувати періодичність планово-попереджувальних ремонтів.

Виклад основного матеріалу. З метою успішного управління мережею автомобільних доріг України було розроблено СУСП (систему управління станом покриття), в якій, зокрема, для нежорсткого дорожнього одягу визначається період, який залишився до: капітального ремонту [4], відновлення рівності покриття та зчепних якостей покриття [5]. Цей прогноз базується на чітко визначених, детермінованих вихідних даних і не враховує їх можливу випадковість. Тому, була розроблена комп'ютерна програма для обґрунтування оптимального рівня втручання на основі імітаційної моделі.

Завдання моделі полягає у дослідженні впливу випадкових факторів на стан покриття, до яких можна віднести, наприклад, початкову рівність; коефіцієнт запасу міцності в нульовий рік (після капітального ремонту); зміни середньорічного приросту інтенсивності руху; коефіцієнт дисконтування дорожньо-транспортних витрат та інші.

Головна екранна форма програми наведена на рис. 1.

Вихідні дані імітаційної моделі знаходяться в окремому файлі-шаблоні Microsoft Excel і зчитуються з нього за командою користувача. Вихідні дані мають певні значення, які відповідають детермінованому розрахунку. Період моделювання визначається строком служби дорожнього одягу до капітального

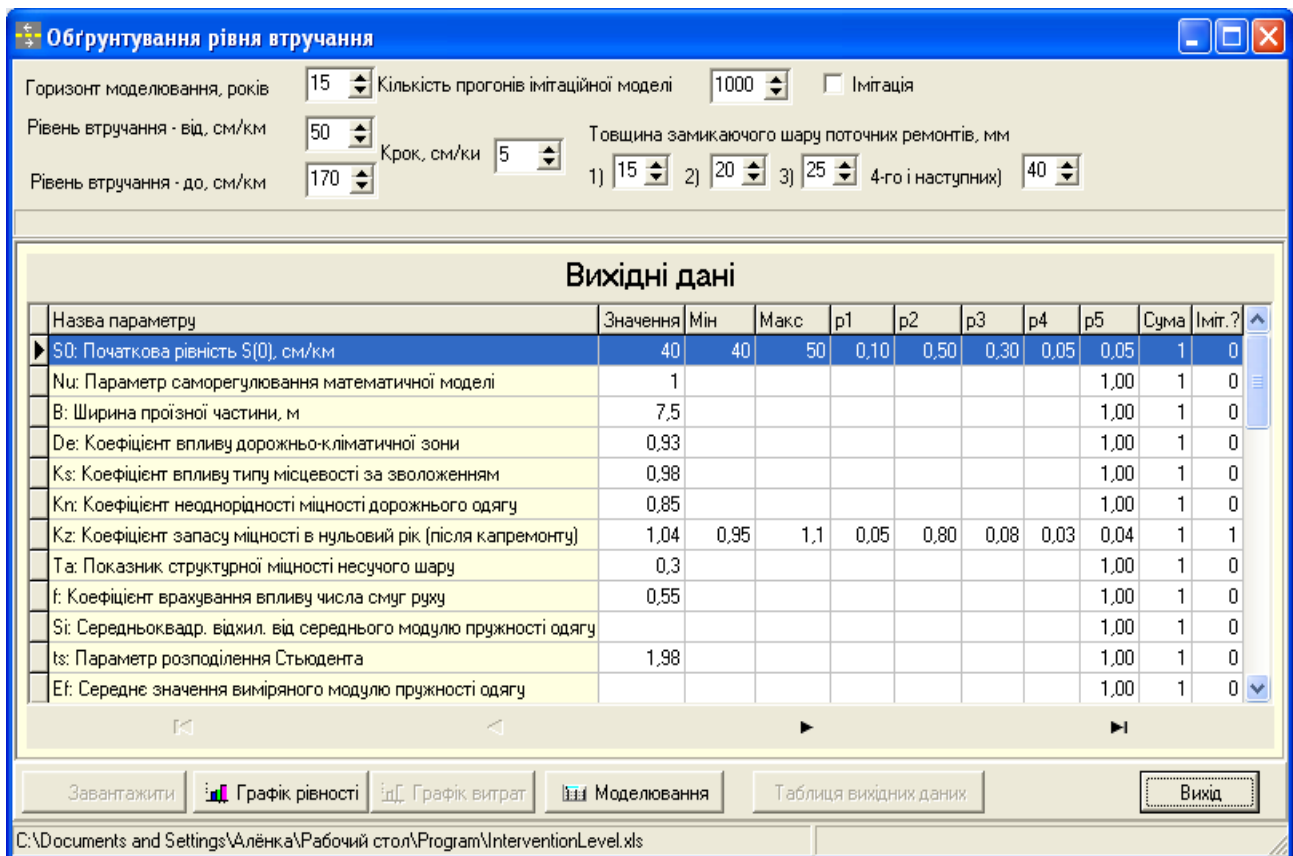


Рисунок 1 – Екранна форма імітаційної моделі обґрунтування рівня втручання

ремонту. Задаються мінімальний та максимальний рівень втручання та крок його зміни в цьому інтервалі. У якості критерію оптимальності обрано сумарні дорожньо-транспортні витрати. Окрім того, можна задавати товщини замикаючого шару при поточних ремонтах.

Модель працює також в детермінованому режимі (рис. 2), а для оцінки впливу випадкових факторів передбачено режим «імітація», в якому можна змінювати кількість прогонів імітаційної моделі. Їх повинно бути не менше 1000, а практично потрібно більше 3000.

Випадкова величина задається можливими мінімальним і максимальним значенням, відстань між якими при моделюванні розділяється на п'ять рівних інтервалів, яким ставиться у відповідність оцінка ймовірності попадання значення випадкової величини в кожен інтервал. Загальна сума ймовірностей автоматично перевіряється. Вона повинна бути рівною одиниці. Щоб включити

оцінку впливу певного випадкового фактору, в таблиці Microsoft Excel у графі «імітувати» потрібно поставити 1. У свою чергу, 0 означає, що дана величина не впливає на процес імітації та використовується тільки одне її значення. Значення випадкових величин моделюються методом Монте-Карло.

У результаті моделювання отримуємо інтегральну функцію розподілу вартості, в залежності від ймовірності (рис. 3) та гістограму приведеної до нульового року суми дорожньо-транспортних витрат (рис. 4).

На основі розрахованих даних програма дозволяє порівняти графік дорожньо-транспортних витрат за детермінованим розрахунком (рис. 5) та графік сумарних дорожньо-транспортних витрат з врахуванням випадкових факторів, в залежності від рівня втручання (рис. 6). Результати моделювання по кожному рівню втручання виводяться в таблицю Microsoft Excel.

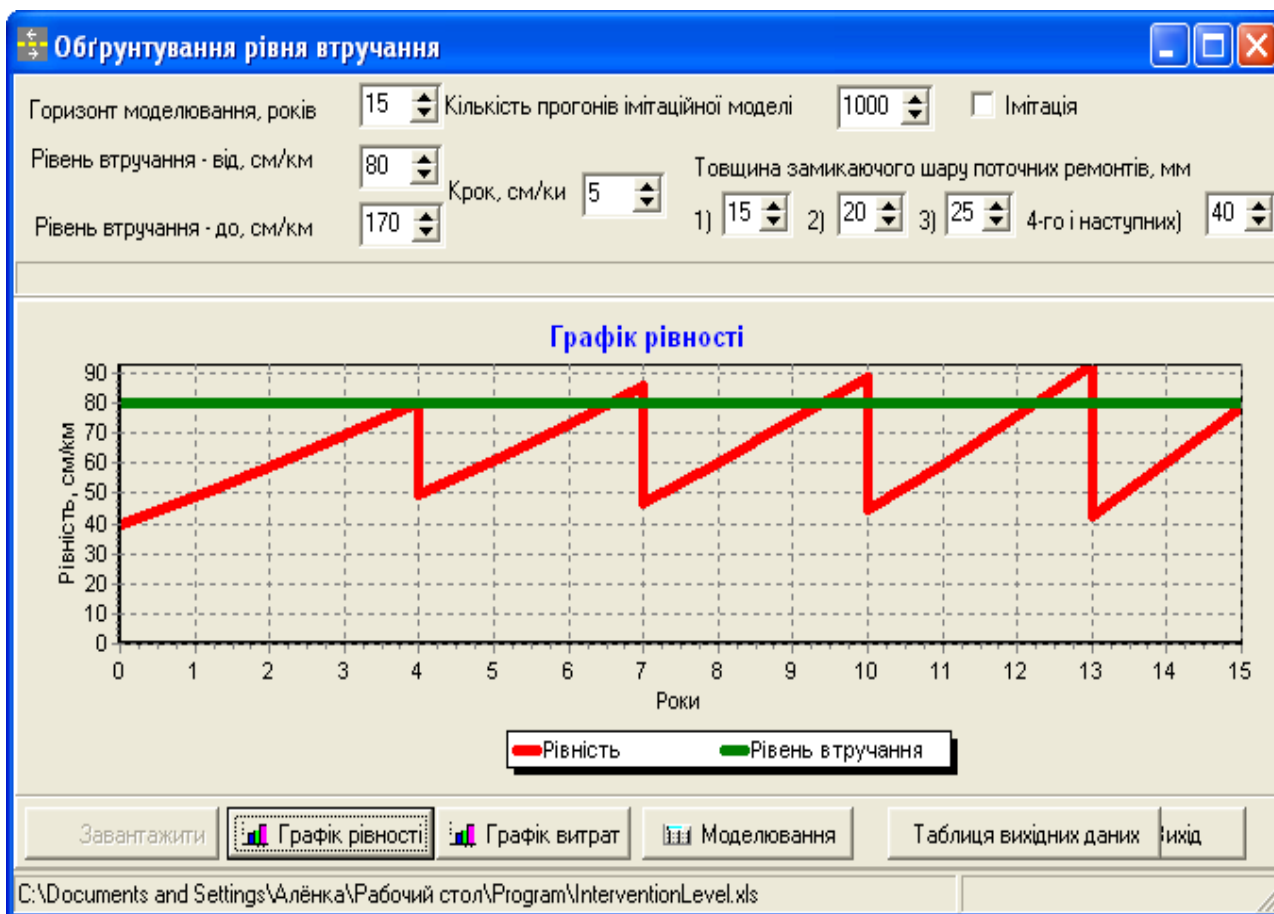


Рисунок 2 – Приклад графіка рівності при певному рівні втручання

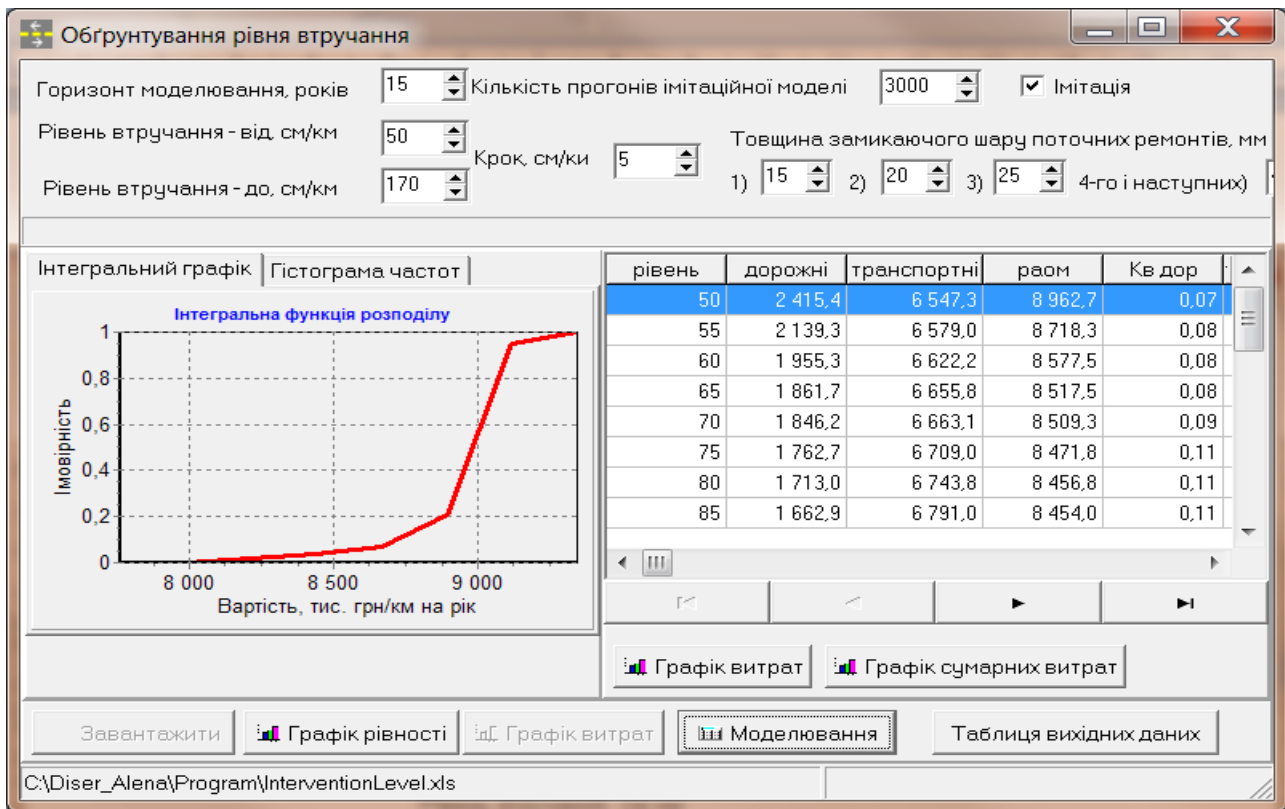


Рисунок 3 – Результати імітації – інтегральний графік розподілення

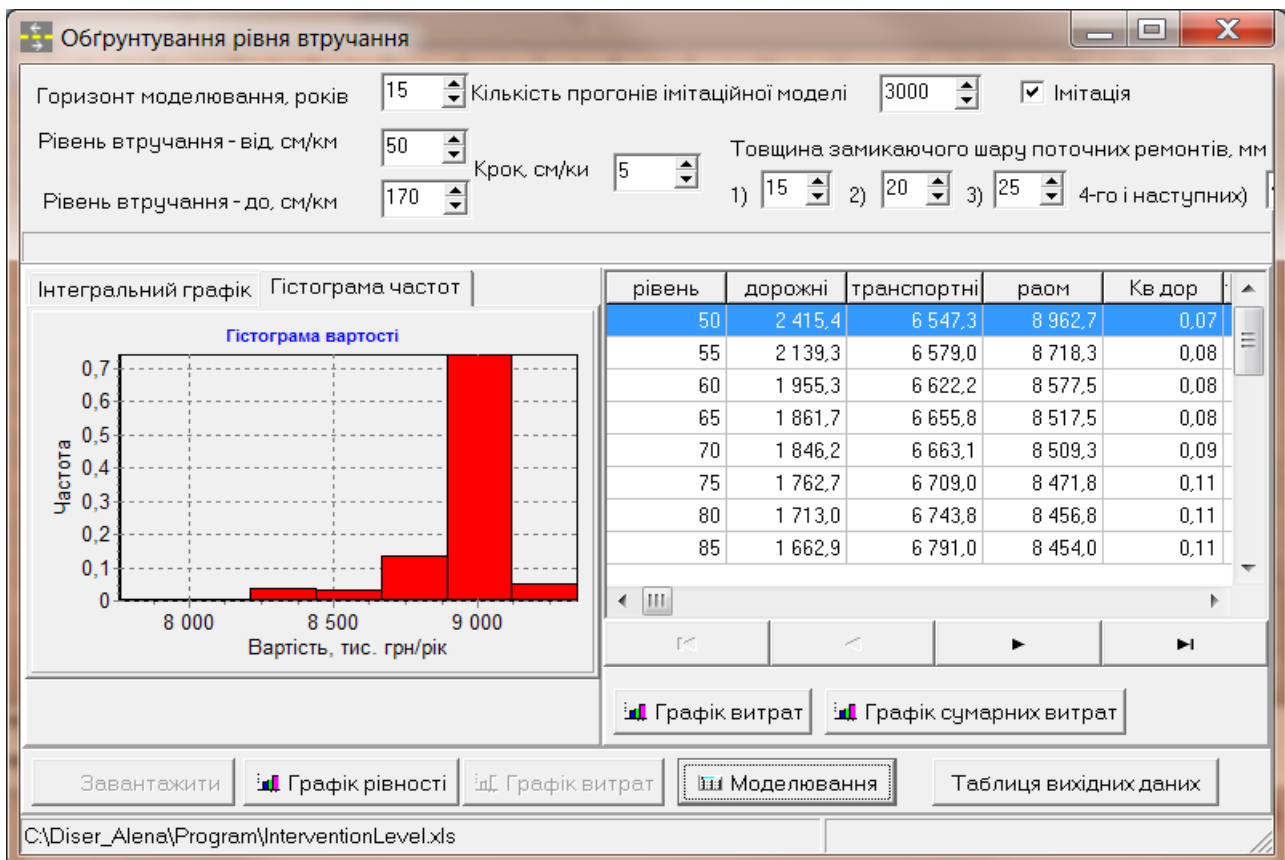


Рисунок 4 – Результати імітації – щільність розподілення

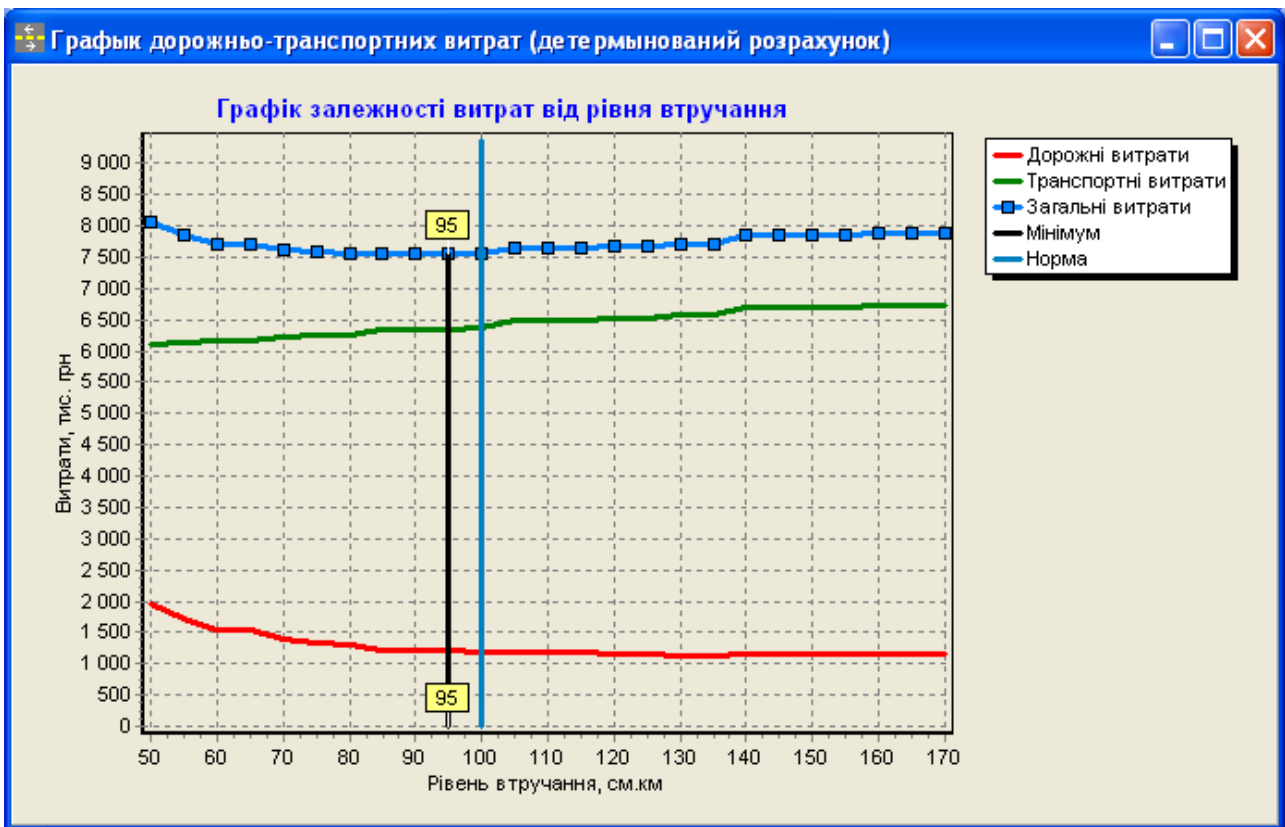


Рисунок 5 – Залежність дорожньо-транспортних витрат від рівня втручання

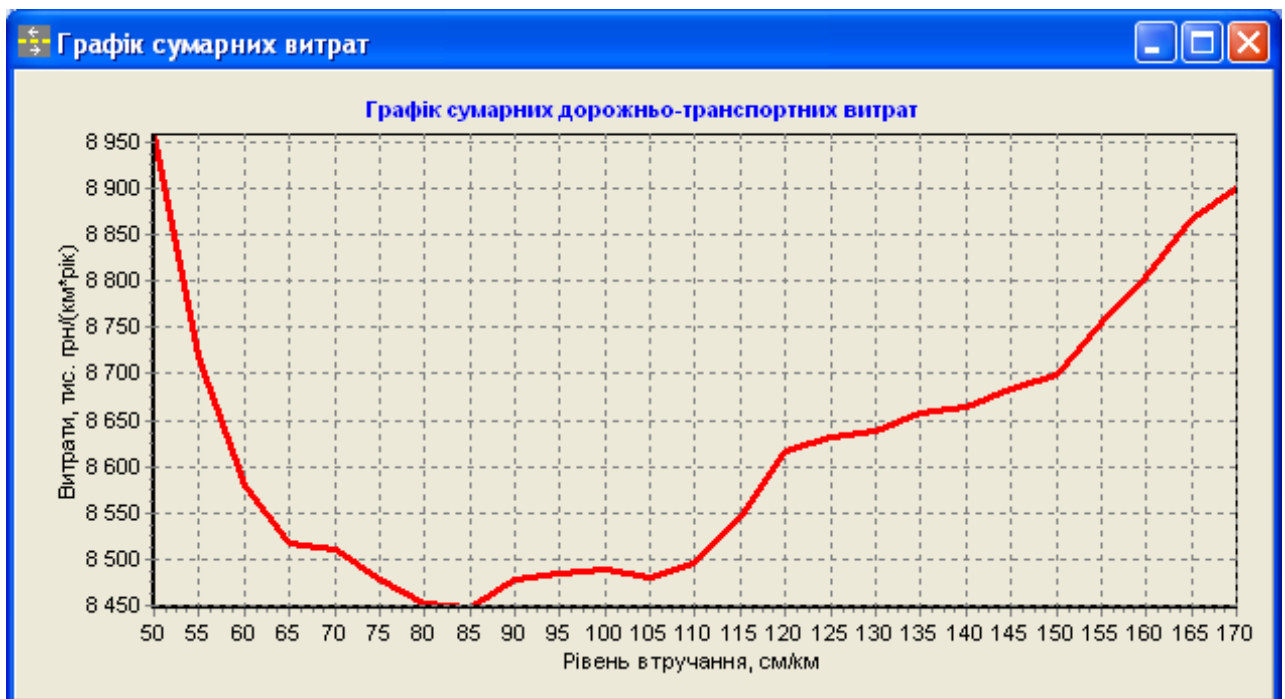


Рисунок 6 – Залежність дорожньо-транспортних витрат від рівня втручання в режимі імітації

Висновок

Використовуючи дану комп'ютерну програму, можливо дослідити вплив випадкових факторів на стан покриття дорожнього одягу та визначити оптимальний рівень втручання, при якому отримуємо найменшу вартість дорожньо-транспортних витрат. Для інших елементів доріг доцільним буде розширити даний програмний комплекс на основі прогнозування деградації стану елемента за допомогою ланцюгів Маркова.

Література

1. Rabbira Garba Saba. Performance Prediction Models for Flexible Pavements: A State-of-the-art Report. / Statens vegvesen Vegdirektoratet. Dep N – 0033 Oslo. 2006.
2. HDM-4 Technical User Guide. Part C: Analysis Tools. C-3 [Електронний ресурс] // Strategy Analysis, 1998. – 17 pp. - Режим доступу: http://www.asphaltwa.com/wapa_web/modules/08_evaluation/08_management.htm#pms.
3. Zairen Luo. Flexible Pavement Condition Model Using Clusterwise Regression and Mechanistic-Empirical Procedure for Fatigue Cracking Modeling: A Dissertation of Doctorate of Philosophy degree in Engineering. – The University of Toledo, December 2005. – 133 p.
4. Кизима С.С. Експлуатація автомобільних доріг. – К.: НТУ, 2009. – 272 с.
5. Кизима С.С. Закономерности процесса деградации ровности нежестких дорожных одежд. В сб. «Совершенствование транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог», Минск, 1996.
6. Інструкція по визначенню рівнів експлуатаційного стану автомобільних доріг державного значення та їх елементів. ІН В.3.1-218-336:2010 // Укравтодор. – 48 с.

ШТУЧНІ ТА ПІДЗЕМНІ ТРАНСПОРТНІ СПОРУДИ

УДК 625.74

Петрович В.В., канд. техн. наук, **Скрипник Т.В.**, канд. техн. наук,
Скрипник В.Ю.

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ТРУБ ДЛЯ РЕМОНТУ ШТУЧНИХ СПОРУД НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

Анотація. В статті проаналізовані особливості використання поліетиленових труб для ремонту штучних споруд на автомобільних дорогах. Проведено порівняльний аналіз поліетиленових труб вітчизняного та закордонного виробництва. Запропонована послідовність вибору труби-вкладишу для ремонтних робіт.

Ключові слова: реконструкція, водоперепускна труба, поліетиленова труба, труба-вкладиш

Аннотация. В статье проанализированы особенности использования полиэтиленовых труб для ремонта искусственных сооружений на автомобильных дорогах. Проведен сравнительный анализ свойств полиэтиленовых труб отечественного и иностранного производства. Предложена последовательность выбора трубы-вкладыша для ремонтных работ.

Ключевые слова: реконструкция, водопропускная труба, полиэтиленовая труба, труба-вкладыш

Annotation. The features of the use of polyethylene pipes for the repair of artificial structures on the roads are analyzed in this article. A comparative analysis of the properties of polyethylene pipes of domestic and foreign production has been done. The sequence of choice of pipe-liner for repair work has been carried out.

Key words: reconstruction, culvert, polyethylene pipe, the pipe-liner.

В зв'язку зі збільшенням інтенсивності руху та зміною складу транспортного потоку в бік вантажного транспорту, труби, що закладені під невисокими насипами (не більше 0,5 м від поверхні проїзної частини) піддаються зростаючому динамічному навантаженню, яке викликає їх руйнування. Досвід експлуатації водоперепускних труб на автомобільних дорогах України виявив необхідність проведення ремонтних робіт 80% водоперепускних споруд [1].

Класичний метод реконструкції труби є найбільш трудомістким з перерахованих, тому що потребує розкриття тіла насипу. Із існуючих варіантів ремонту метод монтажу «труба в трубі» або релейнінгу з наступним заповненням міжтрубного простору є безумовним рішенням проблеми, який складається з двох основних технологічних процесів:

- 1) введення в старий трубопровід нових пластмасових самонесучих труб-вкладишів;
- 2) заповнення міжтрубного зазору розчином.

Монтаж проводиться без виводу труби з експлуатації або з мінімальним обмеженням об'єму стоку. Монтуєма труба має власну несучу здатність і може слугувати опорою для існуючої труби.

До основних вимог до труб для релейнінгу відносять [2]:

- відповідність якості згідно DIN 16565, EN 14364;
- корозійна стійкість;
- низькі гідравлічні втрати – коефіцієнт шорсткості, $k \leq 0,01$ мм;
- стійкість до великих статичних навантажень при невеликій товщині стінки труби;
- можливість заповнення міжтрубного простору розчином без додаткового підсилення жорсткості або заповнення труби водою;
- простий монтаж;
- герметичність стикових з'єднань.

Усім перерахованим вимогам в повній мірі відповідає продукція компанії «НОВАС», «KWHPIPE» та поліетиленові труби вітчизняного виробництва, які широко застосовуються для прокладки методом релейнінгу в усьому світі.

Стандартний ряд продукції фірми «НОВАС» для релейнінгу наведено в табл. 1 та 2.

Як труби–вкладиші використовують стандартні труби, наприклад фірми KWH PIPE, з зовнішнім діаметром 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600 мм і більше.

В Україні поліетиленові труби випускаються згідно з ГОСТ 18599-83, в якому за основу нормалізації прийнятий зовнішній діаметр (Dн), який при зміні товщини залишається незмінним.

Зазначений ГОСТ передбачає наступний ряд зовнішніх діаметрів труб з поліетилену низького тиску: 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 75, 90, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 315, 355, 400, 450,

Таблиця 1 – Труби PN 1 для прокладки методом релейнінгу зі сталюною муфтою (типFS)

DN, мм	DA, мм	SN 5000		SN 10000		SN 16000		SN 20000	
		Товщина стінки, е, мм	Вага, кг/м	Товщина стінки, е, мм	Вага, кг/м	Товщина стінки, е, мм	Вага, г/м	Товщина стінки, е, мм	Вага, г/м
750	752	-	-	-	-	-	-	20	101
800	820	-	-	-	-	-	-	21	116
860	860	-	-	-	-	-	-	23	133
900	924	-	-	-	-	-	-	25	155
960	960	-	-	-	-	-	-	26	168
1000	1026	-	-	-	-	24	166	28	193
1100	1099	-	-	23	170	27	200	30	221
1200	1229	-	-	25	206	30	248	34	281
1280	10	-	-	27	234	32	276	36	309
1400	1434	23	222	29	280	34	329	38	366
1500	1499	25	250	30	308	35	354	40	403

Таблиця 2 - Труби PN 1 для прокладки методом релейнінгу з муфтою ПАС (тип M, L, XL)

DN, мм	DA, мм	SN 5000		SN 10000		SN 16000		SN 20000	
		Товщина стінки, е, мм	Вага, кг/м	Товщина стінки, е, мм	Вага, кг/м	Товщина стінки, е, мм	Вага, кг/м	Товщина стінки, е, мм	Вага, кг/м
900	924	-	-	-	-	-	-	25	155
960	960	-	-	-	-	-	-	26	168
1000	1026	-	-	-	-	-	-	28	193
1100	1099	-	-	-	-	27	200	30	221
1200	1229	-	-	-	-	30	248	34	281
1280	1280	-	-	-	-	32	276	36	309
1400	1434	-	-	29	280	34	329	38	3
1500	1499	-	-	30	308	35	354	40	403
1600	1638	-	-	33	362	39	430	43	473
1720	1720	30	344	36	417	42	486	46	531
1800	1842	31	382	37	466	44	546	49	607
2000	2047	33	455	41	573	49	676	54	743
2160	2160	34	499	43	628	52	756	57	827
2200	2252	35	540	44	673	54	819	59	892
2400	2400	38	614	47	764	57	921	63	1015

500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000 і 1200 мм. Залежно від номінального робочого тиску при транспортуванні води з температурою 20 °С поліетиленові труби поділяються на типи: легкі (Л), середньолегкі (СЛ), середні (С), важкі (Т), особливо важкі (ОТ).

Відповідно до міжнародних стандартів поліетиленові труби позначаються як ПЕ 100 (MRS = 10 МПа), ПЕ 80 (MRS = 8 МПа) і т.д.

Відновлювані труби, зокрема залізобетонні та сталеві, мають стандартний внутрішній діаметр $D_{вн}$.

Зменшення діаметра відновленого трубопроводу складає:

$$d=D - ((D_{вн} - D_{н}) + 2\delta), \quad (1)$$

де D – внутрішній діаметр залізобетонної труби;

$D_{вн}$ – внутрішній стандартний діаметр поліетиленової труби-вкладишу, мм;

$D_{н}$ – зовнішній стандартний діаметр поліетиленової труби-вкладишу, мм;

δ – товщина пластмасової труби-вкладишу, МПа.

Довжина труби-вкладиша залежить від довжини відновлюваної труби, яка розташована під насипом автомобільної дороги.

Необхідно відзначити, що максимально допустима товщина труби-вкладиша повинна визначатися сумою товщини поліетиленової труби-вкладиша плюс середня висота міжтрубного зазору; довжина труби-вкладиша повинна визначатися довжиною ділянки труби між вхідним та вихідним оголовками.

Порівнюючи труби різних виробників можна зробити наступні висновки.

По-перше, ці труби дорогі (табл.3), якщо порівнювати вартість 1 погонного метру труб різних виробників [3]. Але з урахуванням вартості додаткового обладнання для улаштування труби, збільшення трудомісткості технологічних операцій, вартості транспортування більш важких ланок труби вітчизняного виробництва та збільшення термінів розгортання-згортання спеціальних ремонтних потоків ця перевага стає сумнівною.

Таблиця 3 – Порівняння вартості труб різних виробників

Фірма «НОВАС»			Фірма «KWHPIPE»			Вітчизняний виробник		
зовнішній діаметр	од. виміру	ціна, у.е.	зовнішній діаметр	од. виміру	ціна, у.е.	зовнішній діаметр	од. виміру	ціна, у.е.
860 (190)	м	498,41	900 (100)	м	285,89	910 (100)	м	364,76
1099 (151)	м	600,19	1000 (250)	м	386,25	1050(230)	м	496,76
1280 (220)	м	835,82	1400 (100)		404,29	1300(100)	м	560,66

По-друге, для перепуску води під насипом автомобільної дороги не застосовують напірні конструкції, тому достатньо міцності самої труби «НОВАС» або «KWHPIPE».

По-третє, для запобігання ефекту спливання труби «НОВАС», при заповненні міжтрубного зазору бетоном, використовують кріплення в верхній частині труби двома металевими фіксаторами.

По-четверте, несуча здатність труби «НОВАС» достатня для ремонтно-відновлювальних робіт, а конструкція збірно-монолітної труби набуває (завдяки цементному розчину) додаткову несучу здатність.

По-п'яте, вироби фірм «НОВАС», «KWHPIPE» – це один з прикладів раціонального використання та утилізації полімерних відходів для виконання центральної частини водоперепускної труби .

Література

1. Чечуга О.С. Необхідність внесення змін в нормативні документи з проектування водопропускних труб під насипами автомобільних доріг / О.С.Чечуга, М.П. Кузьминець // Автошляховик України. – 2009. – № 5, № 6. – С. 45–48. С. 40–41.
2. Nobas. Трубы «Хобас» для прокладки методом релейнинга. – СПб.: Nobas, 2010. – 20 с.
3. Указания по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительство и реконструкцию автомобильных дорог (ВСН 21–75). – М.: Транспорт, 1976. – 63 с.

ВИЗНАЧЕННЯ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ ПРОГОНОВИХ БУДОВ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ МОСТІВ

Анотація. У статті розглянуто методику визначення вантажопідйомності сталевих залізобетонних мостів. Наведено результати розрахунку вантажопідйомності обстеженого стале залізобетонного автодорожнього мосту з прогоном 42 м.

Ключові слова: Прогонова будова, несна здатність, поперечна сила, загрузка, момент інерції.

Аннотация. В статье рассмотрена методика определения грузоподъемности стальных железобетонных мостов. Приведены результаты расчета грузоподъемности обследованного постоянного железобетонного автодорожного моста с пролетом 42 м.

Ключевые слова: пролетных строений, несущие способность, поперечная сила, загрузка, момент инерции.

Annotation. In the article the method for determining the carrying capacity of steel reinforced concrete bridges. The results of calculation of duty surveyed sustainable concrete road bridge with spans of 42 m

Key words: spans, nesna capacity, shear force, Downloads, moment of inertia.

Для уточнення експлуатаційного стану прогонової будови і визначення подальшого режиму експлуатації моста важливо знати його вантажопідйомність. При визначенні вантажопідйомності сталезалізобетонних прогонових будов слід враховувати постадійність її навантаження і роботи.

Оцінка вантажопідйомності прогонових будов полягає у порівнянні зусиль від характеристичних рухомих навантажень $P_{\text{тим}}$ з допустимими для перерізу зусиллями від тимчасових навантажень $P_{\text{доп}}$. Повинна виконуватись умова:

$$P_{\text{доп}} \geq P_{\text{тим}} \quad (1)$$

Найчастіше ця нерівність записується у вигляді відповідно до[1]:

$$q_e \geq p_e, \quad (2)$$

де q_e – граничне значення еквівалентного рухомого навантаження (допустиме);

p_e – значення еквівалентного навантаження від характеристичних тимчасових рухомих навантажень, що розглядаються.

При визначенні вантажопідйомності відносно навантаження типу НК або реальних навантажень, що обертаються:

$$q_e = \frac{[P] - \left(\sum_{i=1}^k \gamma_{fi} g_i^I + \sum_{i=1}^k \gamma_{fi} g_i^{II} \right) \cdot w}{\gamma_f \cdot (1 + \mu) \cdot KPP \cdot w_i'}, \quad (3)$$

де $[P]$ – несна здатність перерізу;

g_i^I – характеристичне значення інтенсивності рівномірно розподіленого постійного навантаження на погонний метр головної балки на I стадії роботи (навантаження сприймає металева частина конструкції);

g_i^{II} – те ж саме на II стадії роботи (навантаження сприймає сталезалізобетонна конструкція);

γ_{fi} – коефіцієнт надійності за постійним навантаженням;

w – сумарна площа ділянок лінії впливу, $w = \sum_{i=1}^n w_i$;

$\gamma_f, (1 + \mu)$ – коефіцієнти надійності та динамічності тимчасових навантажень, що розглядаються відповідно;

KPP – коефіцієнт поперечного розподілу колісного навантаження;

w_i' – площа ділянок лінії впливу одного знака;

k – кількість видів постійного навантаження;

n – кількість ділянок лінії впливу.

При визначенні вантажопідйомності відносно характеристичних навантажень типу АК для різних прогнотивних будов:

$$q_e = \frac{[P] - \left(\sum_{i=1}^k \gamma_{fi} g_i^I + \sum_{i=1}^k \gamma_{fi} g_i^{II} \right) \cdot w - \gamma_{fn} \cdot p_n \cdot KPP_n \cdot w_i'}{w_i' \cdot [(1 + \mu)_v \cdot \gamma_{fv} \cdot KPP_v \cdot \eta_1 + (1 + \mu)_b \cdot \gamma_{fb} \cdot KPP_b \cdot \eta_2]}, \quad (4)$$

де KPP_v – коефіцієнт поперечного розподілу від смугового навантаження;

KPP_b – коефіцієнт поперечного розподілу від тандему навантаження АК;

KPP_n – коефіцієнт поперечного розподілу від натовпу на тротуарі;

$(1 + \mu)_v, (1 + \mu)_b$ – коефіцієнти динамічності відповідно від смугового і тандему тимчасового навантаження АК;

γ_{fv}, γ_{fb} – коефіцієнти надійності для смугового і тандему тимчасового навантаження АК відповідно;

$\eta_1 = \frac{\xi}{\xi + 1}, \eta_2 = \frac{1}{\xi + 1}$ – коефіцієнти впливу відповідно смуги і тандему

навантаження АК (таблиця 1);

γ_{fn} – коефіцієнт надійності від натовпу на тротуарі;

p_n – характеристична інтенсивність рівномірно розподіленого навантаження від натовпу на тротуарі;

$\xi = \frac{v}{q_{b \text{ екв}}}$ – коефіцієнт, що дорівнює відношенню величини

характеристичної інтенсивності смугового навантаження АК до величини зведеного еквівалентного рівномірно розподіленого характеристичного навантаження від тандему АК.

Коефіцієнт ξ можна визначити за формулою

$$\xi = \frac{v \cdot \omega_i'}{P_b \cdot (y_1 + y_2)} = \frac{\omega_i'}{10 \cdot (y_1 + y_2)}, \quad (5)$$

де P_b – характеристичне навантаження на вісь тандему АК,

y_1, y_2 – ординати лінії впливу, що дають максимальне значення моменту або поперечної сили від тандему АК.

При визначенні вантажопідйомності розрізної балки прогонової будови за згинальним моментом в середині прольоту її коефіцієнти впливу η_1 та η_2 визначаємо за таблицею 1.

Таблиця 1 – Коефіцієнти впливу η_1 та η_2

Коефіцієнти впливу	Довжина прогону, м												
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
η_1	0,15 2	0,22 7	0,29 4	0,35 1	0,39 9	0,44 1	0,47 8	0,50 9	0,53 8	0,56 3	0,58 6	0,60 6	0,62 5
η_2	0,84 8	0,77 3	0,70 6	0,64 9	0,60 1	0,55 9	0,52 2	0,49 1	0,46 2	0,43 7	0,41 4	0,39 4	0,37 5

Примітка. Сума коефіцієнтів впливу $\eta_1 + \eta_2 = 1$

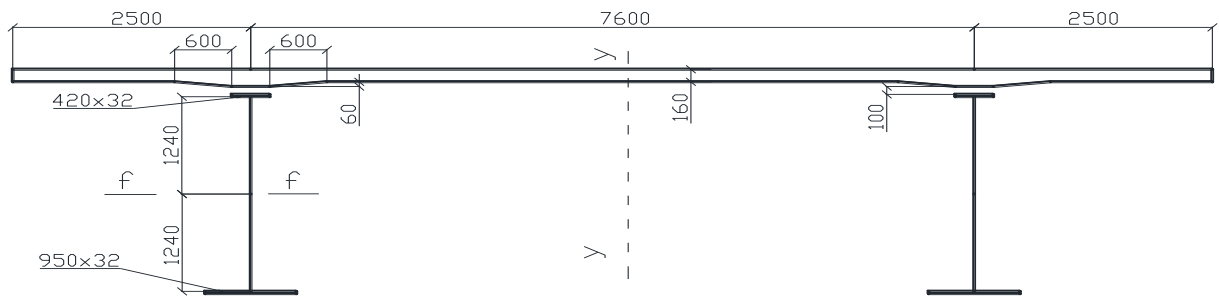


Рисунок 1 – Переріз сталезалізобетонної балки в середині прогону 42,0 м

Несна здатність перерізу сталезалізобетонної балки прогонової будови за згинальним моментом в середині її прогону (рис.1) відносно сталевому нижнього поясу визначається за формулою

$$M \leq (m \cdot R_y - \sigma_{s1,kr}) \cdot W_{s1,spb} + M_1 \cdot \left(1 - \frac{W_{s1,spb}}{W_{s1,s}} \right). \quad (6)$$

Несна здатність перерізу сталезалізобетонної балки за згинальним моментом в середині її прогону відносно сталевому верхнього поясу визначається за формулою

$$M \leq (m \cdot m_1 \cdot R_y - \sigma_{s2,kr}) \cdot W_{s2,stb} + M_1 \cdot \left(1 - \frac{W_{s2,stb}}{W_{s2,s}} \right). \quad (7)$$

де M_1 – розрахунковий згинальний момент в середині прогону балки на першій стадії роботи (навантаження сприймає сталеві частина конструкції);

$$W_{s1,s} = \frac{I_s}{z_{s1,s}}, \quad (8)$$

$$W_{s2,s} = \frac{I_s}{z_{s2,s}} \quad (9)$$

$W_{s1,s}$ і $W_{s2,s}$ – моменти опору площі металеві частини перерізу балки в середині прогону відповідно відносно її нижньої і верхньої граней;

I_s – момент інерції нетто поперечного перерізу сталеві балки відносно горизонтальної осі, що проходить через її центр ваги;

$z_{s1,s}$ і $z_{s2,s}$ – відстані від центра ваги металеві балки C_s до крайньої межі нижнього і верхнього поясів металеві балки відповідно;

$$W_{s1,stb} = \frac{I_{stb}}{z_{s1,s} + z_{s,stb}} \quad (10)$$

$$W_{s2,stb} = \frac{I_{stb}}{z_{s2,s} - z_{s,stb}} \quad (11)$$

$W_{s1,stb}$ і $W_{s2,stb}$ – моменти опору площі сталезалізобетонного перерізу балки в середині прогону приведені до металу відносно її нижньої и верхньої граней відповідно;

I_{stb} – момент інерції сталезалізобетонного перерізу балки відносно горизонтальної осі, що проходить через її центр ваги;

$$z_{s,stb} = \frac{A_b \cdot z_{b,s}}{A_{stb} \cdot n_b}, \quad (12)$$

$z_{s,stb}$ – величина зміщення центра ваги площі перерізу балки, викликане включенням у роботу залізобетонної плити;

A_b – площа перерізу залізобетонної плити балки, що враховується в роботі об'єднання перерізу;

A_{stb} – зведена до металу площа сталезалізобетонного перерізу балки згідно з [2];

$n_b = \frac{E_{st}}{E_b}$ – відношення модулів пружності матеріалу металевої частини

перерізу балки та залізобетонної плити;

$z_{b,s}$ – відстань від центру ваги залізобетонної плити C_{br} до центру ваги металевої балки C_s ;

m_1 – коефіцієнт умов роботи сталевих верхнього поясу, що враховує його розвантаження прилеглим недонапруженим бетоном і приймається не більшим за 1,2 відповідно до [2];

m – коефіцієнт умов роботи сталевих конструкції відповідно до [2];

$\sigma_{s1,kr}$ і $\sigma_{s2,kr}$ – внутрішні напруження від повзучості бетону в крайній фібрі нижнього і верхнього сталевих балки відповідно.

Згідно з [2] повзучість бетону можна не враховувати, якщо найбільші напруження у бетоні $\sigma_{bf,1}$ від постійного навантаження і дій не більші за $0,2 R_b$, де R_b – розрахунковий опір бетону на стиск.

Напруження $\sigma_{s1,kr}$ визначаємо згідно з [2] (розтяг або стиск) за формулою

$$\sigma_{s1,kr} = \sigma_{b,kr} \cdot A_b \cdot \left(\frac{1}{A_s} - \frac{z_{b,s}}{W_{s1,s}} \right); \quad (13)$$

а напруження $\sigma_{s2,kr}$ (стиск) за формулою

$$\sigma_{s2,kr} = \sigma_{b,kr} \cdot A_b \cdot \left(\frac{1}{A_s} + \frac{z_{b,s}}{W_{s2,s}} \right); \quad (14)$$

де A_s – площа перерізу сталевих частини балки;

$$\sigma_{b,kr} = -\alpha \cdot \sigma_{b1}, \quad (15)$$

$\sigma_{b,kr}$ – внутрішні напруження від повзучості бетону на рівні центра ваги бетонної частини перерізу (розтяг);

α і ν – параметри, що пов'язані з піддатливістю бетонної і сталевих частин перерізу балки та визначаються за формулами

$$\alpha = \frac{\varphi_{kr,d}}{0,5 \cdot \varphi_{kr,d} + \nu + 1}; \quad (16)$$

$$\nu = \frac{A_b}{n_b} \left(\frac{1}{A_s} + \frac{z_{b,s}^2}{I_s} \right). \quad (17)$$

Узагальнена характеристика повзучості бетону та стиск поперечних швів:

$$\varphi_{kr,d} = \varphi_{kr} + \frac{E_b \cdot \sum \Delta_d}{0,2 \cdot R_b \cdot L}, \quad (18)$$

де φ_{kr} – характеристика повзучості бетону, за відсутності обґрунтованих експериментальних даних може бути прийнята 1,5;

$$\Delta_d = 0,005 + 0,00035 \cdot b_d \text{ (см)} \quad (19)$$

Δ_d – величина стиску поперечного шва;

де b_d – ширина шва (відстань у просвіт торцями збірних плит);

L – довжина стиску постійними навантаженнями і діями залізобетонної плити;

$\sum \Delta_d$ – сумарна деформація стиснення поперечних швів, що розміщені на довжині L .

У якості несної здатності перерізу сталезалізобетонної балки прогонової будови моста за згинальним моментом в середині прогону приймаємо найменше значення, яке визначається за формулами (6) і (7).

Крім того необхідно враховувати, що при пружних розрахунках для стінки балки еквівалентні напруження мають не перевищувати розрахунковий опір сталі текучості. Тобто має виконуватись умова:

$$\sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y^2 + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \leq R_y \cdot m; \quad (20)$$

де σ_x – нормальні (додатні при стиску) напруження у точці, що перевіряється, серединної площини стінки, які паралельні осі балки;

σ_y – такі ж самі напруження, перпендикулярні до осі балки;

$\tau_{xy} \approx \tau_m$ – середні дотичні напруження в стінці балки.

Граничне значення еквівалентного навантаження q_e вираховуємо за формулами 3 - 4, підставляючи в них замість $[P]$ найменшу несну здатність перерізу сталезалізобетонної балки, яка визначається за формулами (6) і (7) або (22) і (23).

Якщо нерівність (2) не задовольняється, тобто $p_e > q_e$, то обчислюється величина зниження вантажопідйомності δ (у відсотках), за якою класифікується експлуатаційний стан. Значення δ вираховується за формулою

$$\delta = \left(1 - \frac{q_e}{p_e}\right) \cdot 100, \quad (21)$$

При визначенні вантажопідйомності розрізної балки прогонової будови за поперечною силою на опорі коефіцієнти впливу η_1' та η_2' визначаємо за таблицею 2.

Таблиця 2 – Коефіцієнти впливу η_1' та η_2'

Коефіцієнти впливу	Довжина прогону, м												
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
η_1'	0,12 8	0,21 3	0,28 3	0,34 2	0,39 2	0,43 5	0,47 2	0,50 5	0,53 4	0,5 6	0,5 8	0,60 3	0,6 22
η_2'	0,87 2	0,78 7	0,71 7	0,65 8	0,60 8	0,56 5	0,52 8	0,49 5	0,46 6	0,4 4	0,4 1	0,39 7	0,3 78

Примітка. Сума коефіцієнтів впливу $\eta_1' + \eta_2' = 1$

Несну здатність перерізу сталезалізобетонної балки на опорі за поперечною силою необхідно визначати на рівні центра ваги металеві частини перерізу балки і на рівні центра ваги приведенного перерізу балки і для подальшого розрахунку приймати найменшу з визначених величин.

Несна здатність перерізу сталезалізобетонної балки на опорі за поперечною силою на рівні центра ваги металеві частини площі перерізу визначається за формулою

$$Q = R_s \cdot m \cdot \chi_{2,f-f} \cdot \frac{I_{stb}^{on} \cdot t_w}{S_{f-f}^{II}} + Q_1 \cdot \left(1 - \frac{S_{f-f}^I}{S_{f-f}^{II}} \cdot \frac{I_{stb}^{on}}{I_s^{on}} \right) \quad (22)$$

де $R_s = 0,58 \cdot \frac{R_{yn}}{\gamma_m}$ – розрахункове значення опору сталі зсуву [2];

R_{yn} – нормативне значення опору сталі текучості;

$\gamma_m = 1,165$ – коефіцієнт надійності за матеріалом;

χ_2 – коефіцієнт, що визначається згідно з [2]

Q_1 – розрахункова поперечна сила на опорі балки на першій стадії роботи (навантаження сприймає сталева частина конструкції);

S_{f-f}^I і S_{f-f}^{II} – статичні моменти частини площі перерізу балки на опорі, що містяться нижче осі $f-f$, яка проходить через центр ваги металеві частини перерізу, відносно осі $f-f$ та осі $x-x$ відповідно (що проходить через центр ваги приведенного перерізу балки)[3,4];

I_s^{on} – момент інерції площі металеві частини перерізу балки на опорі відносно центра її ваги;

I_{stb}^{on} – момент інерції сталезалізобетонного перерізу балки на опорі, приведений до металу відносно центра ваги об'єднаного перерізу;

t_w – товщина вертикальної стінки балки.

Несна здатність перерізу сталезалізобетонної балки на опорі за поперечною силою на рівні центра ваги приведенного перерізу визначається за формулою

$$Q = R_s \cdot m \cdot \chi_{2,x-x} \cdot \frac{I_{stb}^{on} \cdot t_w}{S_{x-x}^{II}} + Q_1 \cdot \left(1 - \frac{S_{x-x}^I}{S_{x-x}^{II}} \cdot \frac{I_{stb}^{on}}{I_s^{on}} \right), \quad (23)$$

де S_{x-x}^I і S_{x-x}^{II} – статичні моменти частини площі перерізу балки на опорі, що містяться нижче осі $x-x$ (яка проходить через центр ваги приведенного перерізу балки) відносно осі $f-f$ та осі $x-x$ відповідно.

Усі інші позначення, як і у формулі (22).

Граничне значення еквівалентного навантаження q_e вираховуємо за формулами 3 - 4, підставляючи в них замість $[P]$ найменшу несну здатність перерізу сталезалізобетонної балки за поперечною силою на опорі, що визначається за формулами (22) і (23).

За цією методикою було визначено вантажопідйомність сталезалізобетонної прогонової будови розрізного автодорожнього мосту завдовжки 42,6 м, що експлуатується на автомобільній дорозі III технічної категорії з 1976 року.

Габарит мосту Г-10,0 з двома тротуарами по 1,0 м кожний. Прогонова будова має розрахунковий прогін $l_p=42,0$ м. Статична схема – розрізна балка. Несні конструкції прогонової будови мають вигляд двох зварних суцільно-стінчастих балок двотаврового перерізу з висотою стінки $h_w=2480$ мм, об'єднаних за допомогою жорстких упорів із залізобетонною плитою проїзної частини. У поперечному перерізі мосту головні балки розташовані на відстані 7,6 м. (рис.2). Поперечні в'язі виконано у вигляді плоских ферм із кутників, що розміщені через 5,25 м уздовж прогону. Прогін, що обпирається на поперечні в'язі прогонової будови виконано у вигляді зварної суцільно-стінчастої балки висотою 400 мм і розташовано по осі прогонової будови. Об'єднання металоконструкцій, що виготовлені на заводі – зварні, монтажні об'єднання - на високоміцних болтах М22. Матеріал головних балок та прогону – сталь

15ХСНД з розрахунковим опором $R_y=295\text{МПа}$ (3000 кгс/см^2). Головні балки прогонової будови мають монтажні блоки довжиною 5,55 м та 10,5 м.



Рисунок 2 – Поперечний переріз прогонової будови

Залізобетонна плита проїзної частини завтовшки 16 см у прольоті запроектована із збірних блоків з кінцевими ділянками з монолітного бетону. При монтажі таких прогонових будов найчастіше блоки плити обпирались на головні балки та прогін, утворюючи поздовжній шов над прогоном та поперечні шви між плитами. Поперечні шви уздовж мосту влаштовано через кожні 2,626 м. Ширина поперечного шву 12,5 см, поздовжнього – 6 см. Об'єднання головних балок з плитою проїзної частини виконано за допомогою монолітного бетону класу В-35 на мілкому заповнювачі через „вікна” упорів. Бетон залізобетонної плити класу В-35 з розрахунковим опором на осьовий стиск $R_b=17,5\text{МПа}$ (180 кгс/см^2). Пливу армовано арматурою класу А-ІІ. У стиках залізобетонних плит поздовжня арматура нестикована, тому при розрахунках поздовжню арматуру залізобетонної плити не враховуємо.

За проектом дорожній одяг на мосту складався з цементної стяжки завтовшки 30 мм, гідроізоляції – 10 мм, захисного шару – 40 мм та асфальтобетону – 80 мм.

Розрахункові проектні навантаження на міст - Н-30, НК-80 та натовп.

У результаті обстеження мосту виявлено ряд дефектів проїзної частини, прогонових будов, опор і опорних частин, спряження мосту з насипами підходів.

При розрахунку вантажопідйомності прогонової будови цього мосту було враховано такі основні дефекти:

- збільшення шару асфальтобетонного покриття проїзної частини до 18 см;
- ями та вибоїни покриття проїзної частини, що призводить до збільшення динамічного коефіцієнту в 1,1 рази;
- корозія металу поясів головних балок і прогону до 6% від площі поясів (загальна поверхнева корозія поясів головних балок і прогону завглибшки до 1 мм), що призводить до зменшення площі металу поясів.

У результаті розрахунку найменша несна здатність головної балки за згинальним моментом у середині прогону становить 26920 кНм, а за поперечною силою на опорі на рівні центру ваги приведенного перерізу – 5718 кН.

Величина зниження вантажопідйомності обстеженого мосту у відсотках за згинальним моментом становить:

- для навантаження типу А-11 – 38%;
- для навантаження типу Н-30 – 29,7%.

Навантаження НК-80 проходить без обмежень.

За поперечною силою на опорі вантажопідйомність мосту на тимчасові навантаження НК-80, А-11, Н-30 та натовп – забезпечено.

У відповідності до [1] обстежена прогонова будова мосту відноситься до четвертого експлуатаційного стану (обмежено працездатний).

Література

1. ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2009. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.
2. ДБН В.2.3-14:2006. Мости та труби. Правила проектування. – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства, 2006.
3. Снитко В.П. Проектування сталі залізобетонних мостів: навч. посібник. – К.: НТУ, 2005.
4. Снитко В.П. Проектування та розрахунок прогонових будов металевих мостів: навч. посібник. – К.: НТУ, 2010.

Шинкарук Л.А., канд. техн. наук, Ясінська Л.Р.

ЗАХИСТ МОСТОВИХ ОПОР ВІД РОЗМИВУ НА ПЕРЕДГІРСЬКИХ ДІЛЯНКАХ РІЧОК ЗА ДОПОМОГОЮ ПЕРЕПАДІВ

Анотація. У статті представлений метод захисту мостових опор на передгірських ділянках річок від розмиву за допомогою перепадів. Проаналізовані результати модельних досліджень.

Ключові слова: Мостова опора, руслові деформації, стабілізація русла, перепад, моделювання.

Аннотация. В статье представлен метод защиты мостовых опор на предгорных участках рек от размыва с помощью перепадов. Проанализированы результаты модельных исследований.

Ключевые слова: Мостовая опора, русловые деформации, стабилизация русла, перепад, моделирование.

Annotation. A method, to prevent the erosion of the bridge bearings at the foothill areas of the rivers by the drops, is presented in the article. The results of the model researches are studied.

Key words: bridge bearings, river bed deformations, stabilization of the river bed, drops, modeling.

Сучасний стан проблеми

Практика експлуатації автомобільних доріг на території Українських Карпат показує, що порушення стійкості мостових переходів на річках майже завжди відбувається в періоди проходження багатоводних паводків та повеней. Через несприятливий розвиток руслових деформацій підмиваються фундаменти мостових опор (рис.1), руйнуються підходи до мосту та ін. Збитки від

пошкодження і руйнування доріг під час проходження паводків визначаються мільйонами гривень.

На багатьох річках зазначеного регіону під час проходження паводків відбувалися просідання, зсув і руйнування руслових опор мостових переходів. Так, наприклад, під час проходження паводку сформувалися ями розмиву перед мостовими опорами на р.Прут м.Чернівці (рис.2) [1] та на р.Бистриця-Надвірнянська, с.Черніїв (рис.3), також були зруйновані мостові переходи через безіменний потік в с.Ілїнці, Косівського району (рис.4) та на залізниці на перегоні Завалля- Вижниця та інші [2].



Рисунок 1 – Мостові опори під час паводка зазнають значного гідродинамічного тиску і ударів від плаваючих предметів (р. Прут, м.Чернівці)



Рисунок 2 – Розмив дна біля мостових опор на р. Прут, м.Чернівці



Рисунок 3 – Мостовий перехід через р. Бистриця-Надвірнянська, с.Черніїв, Івано-Франківська обл.



Рисунок 4 – Зруйнований міст через потік у с.Ілінці, Івано-Франківська обл. (йде будівництво нового моста)

Ще один з багатьох мостових переходів, що зазнав руйнування в результаті проходження паводку - це міст на р. Рибниця в м. Косів (рис.5, 6).



Рисунок 5 – Міст на р. Рибниця у м. Косів до проходження катастрофічного паводку



Рисунок 6 – Зруйнований міст через р. Рибниця у м. Косів (2008 р.)

Під час проходження паводків передгірська ділянка річки Дністер в межах м.Ст.Самбір Львівської області теж зазнає значних розмивів. Відбувається пониження відміток дна русла біля мостових опор, що може призвести до руйнування автодорожнього мосту (рис.7).



Рисунок 7 - Автодорожній міст на р.Дністер м.Ст.Самбір Львівської області

Для вивчення причин виникнення такої ситуації був проведений гідроморфологічний моніторинг р.Дністер [3]. Результати моніторингу, що охоплював період з 1957 показали, що не тільки природні фактори мають негативний вплив, а й добування та вилучення ґрунтових матеріалів з русла і заплави річки, що здійснює ВАТ «Старосамбірський кар'єр». В результаті такого довготривалого антропогенного впливу починаючи з 1944 року природній похил дна річки змінився (від 0,003...0,004 до 0,006...0,008), що призвело до значного збільшення швидкості течії. Другою причиною зазначеної ситуації є ґрунти русла – аргіліти, які зазнають інтенсивного руйнування внаслідок дії води, наносів та атмосферних чинників.

Таким чином, стабілізація та регулювання русла – першочергова проблема, яка потребує негайного вирішення. Щоб забезпечити нормальну роботу мостового переходу необхідно зупинити ерозійні процеси на даній ділянці русла.

Регулювання русла річки. Проектною організацією ТзОВ «Маккаффері СНД» було розроблено проект стабілізації русла р. Дністер від водної ерозії з метою захистити існуючі мостові переходи, що передбачав будівництво трьох перепадів, укріплення лівого та правого берегів, а також виконати розчищення русла на окремих ділянках річки.

Залізобетонні перепади висотою 1,5 м мають своєю метою стабілізувати русло р. Дністер на ділянці довжиною близько 3 км, яка піддається інтенсивним водним деформаціям. Ширина водозливної частини перепаду (80,0м) повинна забезпечувати пропуск розрахункової витрати 1% забезпеченості, яка дорівнює 805 м³/с. Нижче споруд передбачено влаштувати кам'яне кріплення, що захистить перепади від розмиву. Берегові укоси планують виконати з закладанням 1:2.

За причини високої вартості будівництва перепадів на р.Дністер, складної руслової ситуації та геологічної будови основи було прийнято рішення про необхідність моделювання ділянки русла річки з метою детальної перевірки проектного рішення в лабораторних умовах.

Методика досліджень. Експериментальна установка була побудована у лабораторії кафедри гідротехнічних споруд Національного університету водного господарства та природокористування (м.Рівне). На ній було змодельовано ділянку р. Дністер у лінійному масштабі $\alpha_l=30$ (без спотворення масштабів) (рис.8). Загальна довжина лотка становить 14,00 м. Поперечний

переріз лотка має прямокутну форму шириною 2,70 м і висотою 0,50 м. Загальна довжина модельного криволінійного русла р. Дністер складає 13,5 м [4].

Розміри експериментальної установки дозволили прийняти рішення змодельовати ділянку русла р. Дністер від мосту вниз за течією. На цій ділянці розташовано перепад №2, а роботу третього перепаду імітували за допомогою клапанного затвору. Під час дослідів контролювали подачу потрібної витрати на модель, вимірювали глибини в різних створах та швидкості потоку. Поздовжні похили водної поверхні визначали за допомогою шпіценмасштабів. Для вимірювання осереднених швидкостей застосовували мікровертушки.

Основною метою експериментів було визначення максимальної швидкості біля мостових опор та вплив регуляційних споруд на її зміну. Дослідження проводились на жорсткій моделі виходячи з критерію Фруда (подібність потоків у випадку переважаючої дії сил тяжіння), а числа Рейнольдса при цьому становили більше 10 000 (зона автомодельності).

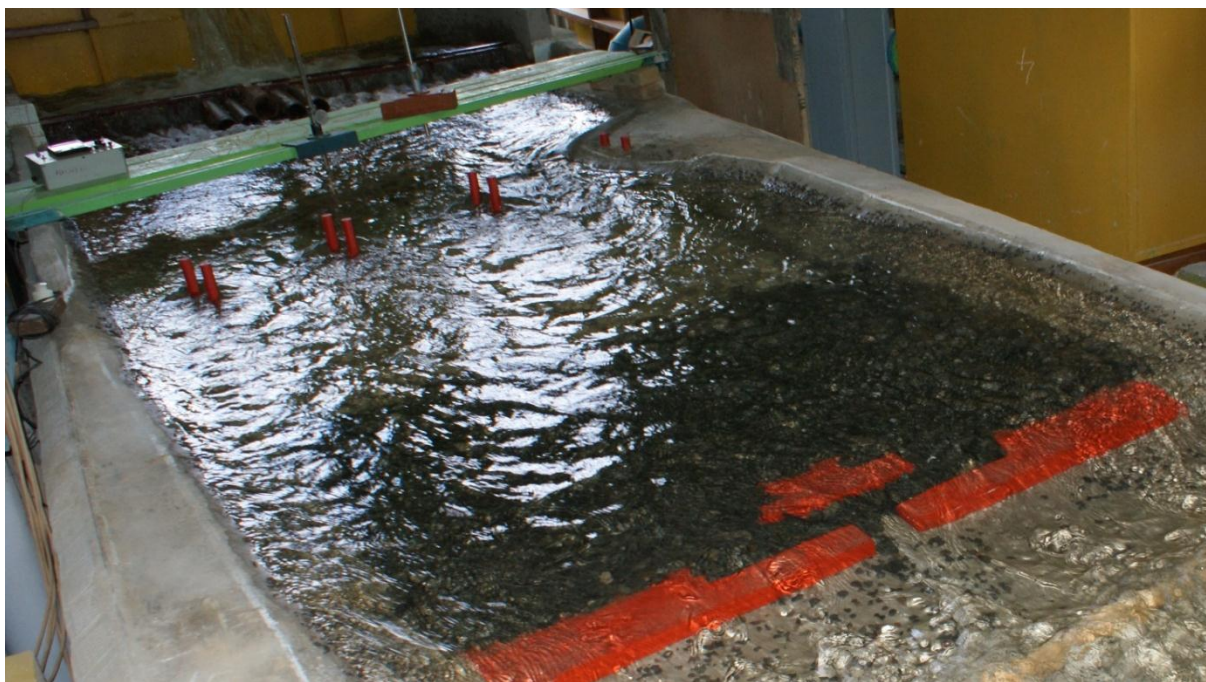


Рисунок 8 – Дослідження роботи перепаду

Під час гідравлічних досліджень виконано чотири серії експериментів. При максимальній розрахунковій витраті 1% забезпеченості було виконано дослідження природного русла річки (без влаштування перепадів), русла річки

з перепадами та з влаштуванням перед спорудами кам'яного накиду, спільної роботи перепадів та прорізної водобійної стінки.

Результати модельних досліджень. В результаті проведених досліджень було відмічено, що при відсутності перепадів на всій довжині моделі, спостерігаються значні швидкості потоку за мостом, пов'язані з початковим несиметричним протіканням потоку між мостовими опорами (рис.6), що відповідає ситуації у натурних умовах. Встановивши перепади було виявлено, що вони виконують свою функцію щодо зниження максимальних швидкостей у верхньому б'єфі та сприяють рівномірному розподілу питомих витрат та швидкостей по ширині русла, що повинно призвести до стабілізації русла. Однак, при сході потоку з перепаду режим руху переходить із спокійного в бурхливий ($Fr = 1,61$), що потребує влаштування гасника енергії. В якості гасника енергії було запропоновано прорізну водобійну стінку з висотою 0,5 м.

Висновок

На основі проведених модельних досліджень перепадів на р.Дністер в межах м.Ст.Самбір Львівської області було вивчено вплив даних споруд на протікання потоку під час проходження паводків біля мостових опор і підтверджена їх ефективність. Після будівництва комплексу заходів щодо захисту русла річки на досліджуваній ділянці можна буде забезпечити його стабілізацію і гарантувати надійну роботу мостових переходів.

Література

1. http://ru.molbuk.ua/photo_news/38838-rus_mist-cherez-prut-rozbirajut-foto.html
2. Звіт про науково-дослідну роботу «Аналіз, узагальнення та розробка рекомендацій щодо протипаводкових заходів в умовах Прикарпаття на основі наукових досліджень університету». – Рівне: НУВГП, каф.ГТС, 2008. – 123 с.
3. Шинкарук Л.А., Хлапук М.М., Якушев А.І. Гідроморфологічний моніторинг і регулювання р.Дністер в межах м.Старий Самбір Львівської області// Водне господарство України. – 2011. – №2. – С. 41-47
4. Звіт про науково-дослідну роботу «Протипаводкові заходи на ділянці р.Дністер м.Старий Самбір, Старосамбірського району Львівської області (РП). Гідравлічне моделювання протиерозійної споруди». – Рівне: НУВГП, каф.ГТС, 2011. – 101 с.

Чечуга О.С., канд. техн. наук, Каськів В.І., канд. техн. наук, Петрович В.В.

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ
КРУГЛОЇ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ТРУБИ З ҐРУНТОМ СЕРЕДОВИЩА ПІД
ДІЄЮ ЗОВНІШНЬОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

Анотація. У статті розглянуто результати розрахунків за математичною моделлю конструкції «насип – труба – основа». Проведено дослідження впливу жорсткості основи системи та наявності фундаменту, впливу обхвату труби спланованим ложем або фундаментом.

Ключові слова: напружено-деформований стан, навантаження, жорсткість, напруження, переміщення, основа, труба, насип.

Аннотация. В статье рассмотрены результаты расчетов по математической модели конструкции “насыпь - труба – основание”. Проведено исследование влияния жесткости основания системы и наличия фундамента, влияния обхвата трубы спланированным ложем или фундаментом.

Ключевые слова: напряженно - деформированное состояние, нагрузки, жесткость, напряжение, перемещение, основаие, труба, насыпь.

Annotation. The article deals with the results of calculations for construction of mathematical models "mound - trumpet - the foundation." Influence of foundation rigidity of the system and the presence of base, the impact of planned coverage pipe bed or foundation.

Key words: mode of deformation, stress, stiffness, stress, displacement, base pipe embankment.

Досвід експлуатації малих штучних споруд і великомасштабні польові обстеження останніх років показали, що побудовані за застарілими нормативами земляне полотно і труба згодом втрачають свої споживчі якості, що призводить до утворення дефектів та руйнувань.

Аналіз наявних розрізнених даних по об'єктам із деформаціями і проектним розробкам показав, що сьогодні проектувальники не володіють надійним апаратом теоретичної оцінки міцності і розрахунку тиску на водопропускні труби, обмежуючись у своїй роботі, як правило, альбомами типових рішень минулого сторіччя. Технологічні прийоми створення конструкції земляного полотна недостатньо пов'язані з будівництвом водопропускної труби, що завжди було проблемним фактором при подальшій роботі цього об'єкта.

На теперішній час постає проблема у зв'язку з якісним і кількісним ускладненням умов будівництва та експлуатації сучасних автомобільних доріг (зростання осьових навантажень, швидкостей руху і вантажопідйомності), зміною структури і властивостей ґрунтів внаслідок дії природних факторів і зовнішніх навантажень, а також процесом старіння конструкції труби і земляного полотна.

На основі математичної моделі розрахунку напружено-деформованого стану(1) було виконано серію розрахунків дослідження роботи конструкції «насип – труба – основа».

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= p_{0v} + p_1 \cos \theta + p_{2v} \cos 2\theta + p_3 \cos 3\theta; \\ \tau_{r\theta} &= -p_1 \sin \theta + t_2 \sin 2\theta + p_3 \sin 3\theta; \\ M &= \frac{R^2}{6} [(2p_{2v} + t_2) \cos 2\theta + p_3 \cos 3\theta]; \\ N &= \frac{R}{6} [2(p_{2v} + 2t_2) \cos 2\theta + 3p_3 \cos 3\theta - 6p_{0v}]; \\ u^R &= \frac{p_{0v} R^2}{E_0 s} + \frac{R^4 (1 - \nu_0^2)}{E_0 s} \left[\frac{4}{3} \left(p_{2v} + \frac{t_2}{2} \right) \cos 2\theta + \frac{1}{4} p_3 \cos 3\theta \right]; \\ v^R &= \frac{2R^4 (1 - \nu_0^2)}{E_0 s^3} \left[\frac{1}{3} (p_{2v} - 2t_2) \sin 2\theta + 8p_3 \sin 3\theta \right]. \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де σ_r , $\tau_{r\theta}$ – нормальні радіальні і тангенціальні напруження по контуру труби;

p_{0v}, p_{2v} – коефіцієнти, що враховують вплив зовнішнього навантаження;

p_1, p_3, t_3 – коефіцієнти, що враховують жорсткість системи, геометричні параметри труби, властивості матеріалів труби і ґрунту тощо;

M, N – згинаючі моменти і нормальні сили;

u^R, v^R – радіальні і тангенціальні переміщення;

R – радіус труби;

s – товщина стінки труби;

ν_0, E_0 – коефіцієнт Пуассона і модуль деформації матеріалу труби.

Також виконано дослідження впливу жорсткості основи системи та наявності фундаменту, впливу обхвату труби спланованим ложем або фундаментом. Розрахунки велись для таких вихідних даних:

- а) з врахуванням зовнішнього навантаження – НК-80 і НК-100 та без нього;
- б) ґрунт основи: супісок, суглинок;
- в) ґрунт засипки: пісок, супісок, суглинок та їх варіація;
- г) труба із залізобетонним фундаментом та без нього;
- д) діаметр труби, м: 0,75; 1,00; 1,25; 1,50;
- е) висота засипки (насипу), м: 0,50; 1,00; 1,50; 1,75; 2,00; 2,50; 5,00; 6,00; 10,00; 12,00.

Дослідження впливу жорсткості основи системи та наявності фундаменту, а також вплив обхвату труби спланованим ложем або фундаментом виконували за залежностями запропонованими Малишевим у [1] з врахуванням отриманих у роботі залежностей (2 - 4):

- згинальні моменти

$$M(\theta) = \sum_{k=2}^{\infty} p_k \frac{R^2 \cos k\theta}{k^2 - 1} + \sum_{k=2}^{\infty} \frac{t_k R^2 \cos k\theta}{k(k^2 - 1)} = R^2 \sum_{k=2}^{\infty} \left(p_k + \frac{t_k}{k} \right) \frac{\cos k\theta}{k^2 - 1}; \quad (2)$$

- нормальні сили

$$N(\theta) = R \sum_{k=2}^{\infty} \frac{p_k + kt_k}{k^2 - 1} \cos k\theta - p_0 R; \quad (3)$$

- переміщення

$$u_k = p_0 \frac{R^2}{E_0 F} + \sum_{k=2}^{\infty} A_k \left(p_k + \frac{t_k}{k} \right) \cos k\theta; \quad v_k = \sum_{k=2}^{\infty} \left(\frac{A_k}{k} p_k + B_k t_k \right) \sin k\theta. \quad (4)$$

де
$$A_k = \frac{R^4(1 - \mu_0^2)}{(k^2 - 1)^2 E_0 I} \left[1 + \frac{i^2}{R^2} (1,2ak^2 - 1) \right];$$

$$B_k = \frac{R^4(1-\mu_0^2)}{(k^2-1)^2 E_0 I} \left[1 + \frac{i^2 k^2}{R^2} (k^2 - 2 + 1,2a) \right],$$

де R – радіус труби;

E_0 – модуль деформації матеріалу труби;

I – модуль інерції труби (кільця);

F – площа поперечного перетину погонної довжини труби;

μ_0 – коефіцієнт Пуассона матеріалу труби;

$$i^2 = \frac{s^2}{12}$$

де s – товщина стінки труби;

$$a = 2(1 + \mu_0).$$

Якщо труба, яка має кільцевий переріз, влаштована на бетонний фундамент, то визначення згинаючих моментів в нижньому напівкільці у перерізі $\frac{\pi}{2} \geq \theta \geq \beta$ виконували за формулою:

$$M_{\theta \geq \beta} = K_1 N_1 R. \quad (5)$$

$$N_1 = R \left(\frac{p_2 + 2t_2}{3} + p_0 \right), \quad (6)$$

де K_1 – коефіцієнт отриманий у [1]

При обпиранні труби на сплановане ложе:

$$M_{\theta \geq \beta} = K_2 N_1 R, \quad (7)$$

де K_2 – коефіцієнт отриманий у [1]

Деякі характерні результати розрахунків наведені на рис. 4–7.

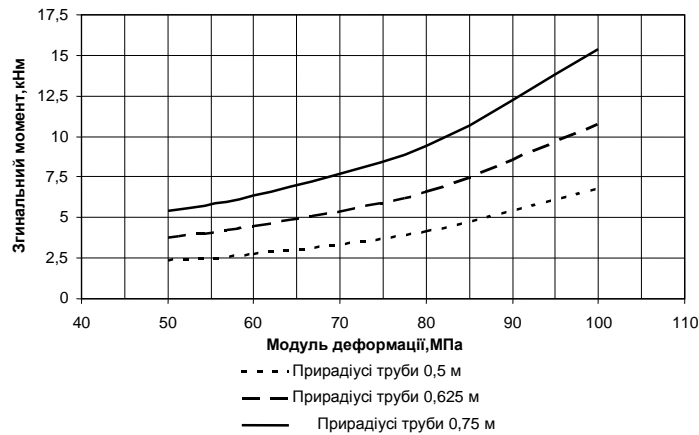


Рисунок 4 – Залежність згинального моменту від модуля деформації основи та радіуса труби при жорсткій основі

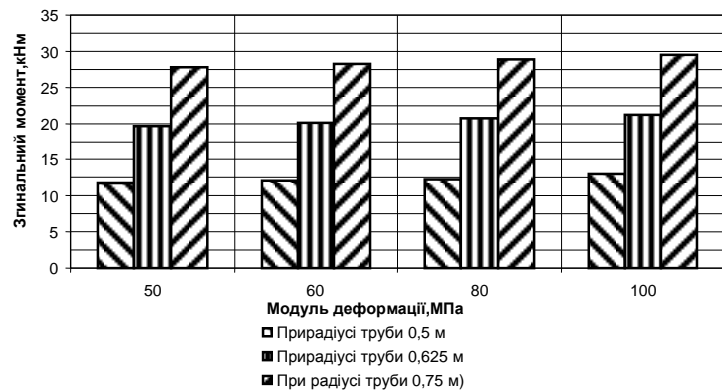


Рисунок 5 – Залежність згинального моменту від модуля деформації основи та радіуса труби при нежорсткій основі

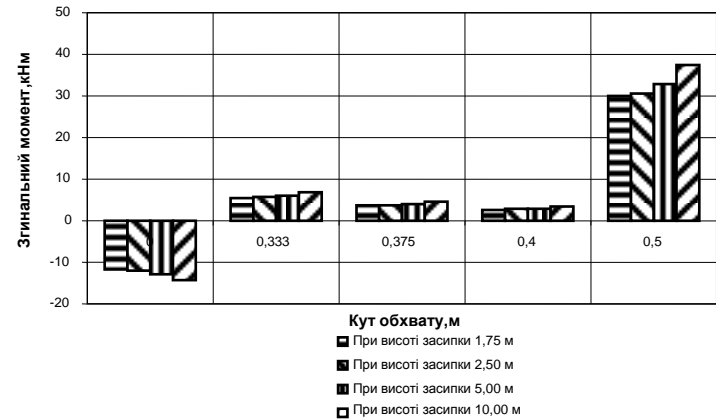


Рисунок 6 – Залежність згинальних моментів від висоти насипу та кута обхвату при жорсткій основі

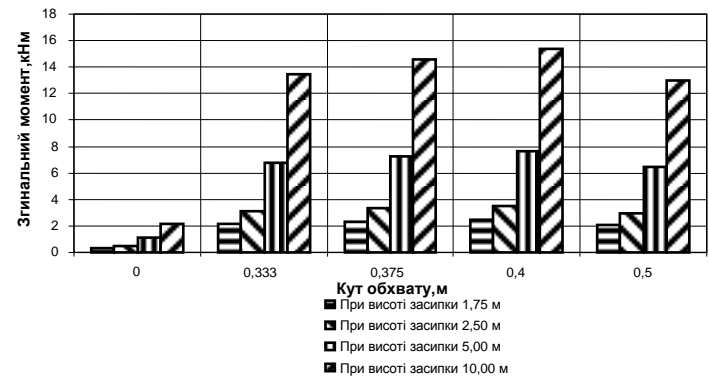


Рисунок 7 – Залежність згинальних моментів від висоти насипу та кута обхвату при нежорсткій основі

З отриманих результатів математичного моделювання видно, що при зміні висоти засипки (висоти насипу) спостерігається збільшення тиску на споруду. Причому при збільшенні висоти з 0,5 м до 1,0 м всі показники (напруження, моменти в перерізі кільця, поперечні сили тощо) зростають майже у 1,5 рази, а при збільшенні від 1,0 м до 12 м величини цих показників зростають майже на порядок і сягають для супіску напруження близько 38 тс/м^2 ; згинаючий момент без врахування зовнішнього навантаження 3,3 тсм, при навантаженні НК-80 і НК-100 – 4,5 тсм при нормованому згідно з [2] – з умови міцності – 6,58 тсм, з умови розкриття тріщин – 8,33 тсм. При одній і тій же висоті засипки труби з меншим діаметром знаходяться у кращому НДС (всі компоненти менші) порівняно із трубами більших діаметрів. Наприклад, для супіску напруження на трубу діаметром 0,75 м без врахування навантаження складає $2,33 \text{ тс/м}^2$, а для діаметра – 1,5 м – $3,29 \text{ тс/м}^2$. А при збільшенні діаметра труби і висоти засипки напруження навколо труби зростає більш плавно і в меншу кількість разів, ніж моменти і нормальні сили. Моменти, що виникають у трубі при 0° і 90° , майже однакові, але протилежні за знаком. Точка переходу зусиль через нуль лежить в перерізі біля 45° . Напруження і моменти при збільшенні висоти засипки до 1,0 м зменшуються, а потім зростають. Нормальні сили, при збільшенні навантаження постійно зростають. Глибина активної зони для навантаження НК (при умові $z_{akt}=0,1\sigma_z$) складає близько 4 м, проте уже з глибини 3 м різниця між напруженнями, що створює НК-80 і НК-100 зменшується до 2,5 % і зменшується до нуля при збільшенні висоти засипки. На нежорсткій основі зусилля в трубі залежать від її діаметра і зростають з його збільшенням (зростання не пропорційне). А от при жорсткій основі зусилля змінюються різкіше, але значення їх менші ніж при нежорсткій основі. Нормальні зусилля при низьких насипах майже співрозмірні як при жорсткій, так і нежорсткій основах, а при високих насипах майже у 2 рази менші ніж при жорсткій основі. При невисоких насипах на жорсткій основі моменти, які виникають в трубі більші ніж на нежорсткій основі. У високих насипах вони майже однакові, але зростання при жорсткій основі більш плавно ніж при нежорсткій. При

жорсткій основі моменти при збільшенні насипу у 5 разів збільшуються у 2 рази, а при нежорсткій основі – у 6 разів. Тому при жорсткій основі труба працює у більш сприятливому напружено-деформованому стані. Раціональним кутом обхвату труби при нежорсткій основі є кут 180° , в незалежності від висоти насипу і діаметра труби. На жорсткій основі раціональним є кут обхвату близький до 90° і при цьому ґрунт засипки немає значення. Для засипки труби краще використовувати ґрунт, що має більші модуль пружності (деформації) і кут внутрішнього тертя (наприклад пісок), про що свідчать менші величини компонентів НДС.

Математична модель процесу взаємодії круглої залізобетонної труби з ґрунтом середовища під дією зовнішнього навантаження дає можливість встановити реальні силові фактори та оцінити напружено-деформований стан насипу, який є визначальним при розрахунку труб на міцність. Проектування круглих залізобетонних водопропускних труб на автомобільних дорогах за допомогою математичної моделі дозволяє врахувати дію різних видів зовнішнього навантаження та різні умови роботи труби у тілі насипу.

Література

1. Малышев М.В. Методика статического расчета коллекторов хвостохранилищ и трубопроводов, укладываемых под высокими насыпями / М.В. Малышев // Труды ВОДГЕО. – 1963. – Вып. 4. – С. 3–40.
2. Звенья железобетонные круглых и прямоугольных водопропускных труб под железные и автомобильные дороги. Технические условия: ОСТ 35-27.0-85. - Введ. 01.07.86 до 01.07.91 Группа Ж33. – М.: Минтранс СССР, 1986. – 32 с.
3. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи: ДБН В.1.2-15:2009. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 22 с.
4. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування ДБН В.2.3-22:2009. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 52 с.

УДК 625.731

Висоцький С.П., д-р техн. наук, **Столярова Н.О.**, канд. техн. наук.,
Коновальчик М.В., **Чмихалова Ю.Ю.**

ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ІЗ СИСТЕМ ВОДОВІДЕННЯ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

Анотація. У статті проаналізовано склад стічних вод із систем водовідведення на автомобільних дорогах. Рекомендовано здійснювати окремий збір липневих та комунальних вод, що значно спрощує їх наступне використання. Досліджені умови обробки стічних вод вапном для видалення важких металів. Запропоновано застосування для інтенсифікації процесу відстоювання дозування мікропіску (процес «Actiflo»)

Ключові слова: стічні води, коагуляція, завислі речовини, нафтопродукти, вапно, добуток розчинності, процес «Actiflo»

Аннотация. В статье проанализирован состав сточных вод из систем водоотведения на автомобильных дорогах. Рекомендовано осуществлять отдельный сбор ливневых и коммунальных вод, что значительно упрощает их последующее использование. Исследована обработка сточных вод известью для удаления тяжелых металлов. Предложено применение метода интенсификации процесса отстаивания и дозирования микропеска (процесс «Actiflo»).

Ключевые слова: сточные воды, коагуляция, взвешенные частицы, нефтепродукты, известь, произведение растворимости процесс «Actiflo»

Annotation. Composition and methods of waste water cleaning after road water collection systems are analyzed. The separate collection of rain and snow water (precipitation) and municipal wastes are well-founded. It makes easier their further using. Methods of waste water treatment with lime is investigated. Water treatment clarification of rain and snow water after road systems by process «Actiflo» is recommended.

Key words: waste water, coagulation, suspended matters, oil products, lime treatment, «Actiflo» process

В процесі будівництва і експлуатації автомобільних доріг відбувається порушення екологічного балансу і постійне збільшення техногенного навантаження на довкілля. В Україні основну забруднюючу дію на довкілля надає транспортний комплекс, екологічний збиток від автомобілів складає 63%. Викиди транспортних засобів є дуже високою долею всіх викидів: більше 80% всіх свинцевих викидів, більше 40% всіх викидів оксидів азоту і більше 20% всіх летких органічних складових [1]. Дії транспортних засобів на довкілля найчастіше зводяться до оцінки забруднення повітряного середовища і шумового рівня, при цьому незначна увага приділяється забрудненню прилеглої до автомобільних доріг та мостових переходів території, водоймищ і ґрунтових вод дорожніми поверхневими стоками [1]. У крупних містах і на позаміських швидкісних автомобільних дорогах поверхневий стік є значними об'ємами забруднених вод, які найчастіше без очищення, із значеннями гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин, що перевищують норму у декілька разів, потрапляють у водні об'єкти і на прилеглу територію, що протирічить природоохоронним вимогам.

Одним із способів зниження негативної дії забруднених поверхневих стоків з автомобільних доріг на прилеглу територію і водні об'єкти є своєчасний організований збір поверхневих стічних вод в систему водовідводу з їх подальшим очищенням. Проте наявні в нашій країні системи поверхневого водовідводу часто непрацездатні і не відповідають вимогам нормативних документів [1]. Лише у 2000 р. на території України об'єм скидання забруднених стічних вод з автомобільних доріг у водоймища склав 81 тис. т завислих речовин, 3 тис. т нафтопродуктів і більше 350 тис. т протиожеледних матеріалів. Найбільшу небезпеку при попаданні стічних вод з покриття автомобільних доріг на прилеглу територію і у водоймища представляють

нафтопродукти, до складу яких входять бензол, стирол, толуол, ксилол та ін. Встановлено, що 1 г нафти здатний повністю погубити життя в 1 м³ води [2].

Поверхневі стоки, що містять в своєму складі нафтопродукти, сприяють утворенню на поверхні водоймища нафтової плівки товщиною 0,4 - 1 мм і зниженню кількості розчиненого кисню, що діє згубним чином на життєдіяльність водних організмів. Важкі залишки нафтопродуктів, що осідають у водоймищі, розкладаючись, забруднюють воду продуктами розпаду, а частина з них виноситься на поверхню у вигляді бульбашок газу, які, лопаючись, утворюють нафтову пляму.

Стоки талих вод з поверхні автомобільних доріг мають в своєму складі розчинені хімічні речовини протиожеледних матеріалів, природа дії яких на довкілля до цих пір детально не вивчена. Як протиожеледні матеріали найчастіше використовують реагенти, що містять хлористий натрій; залістисті ціаниди, ціаниди натрію і жовті ціаниди вуглекислого натрію (для гранулювання реагентів); гіпс; солі кальцію і магнію; карбамід та ін. Зарубіжними дослідниками [3, 4] було виявлено, що хлориди натрію, що концентруються в ґрунтах прилеглої до автомобільної дороги території, здатні заміщати катіони кальцію, магнію і калію, що приводить до зміни характеристик ґрунтів, пептизації гранул, рівня рН і видозміні рослинності, а вірогідність проростання багатьох типів рослин на цих ґрунтах може складати всього 50% [5]. У США при проведенні досліджень величини вмісту забруднюючих речовин у водоймищах, розташованих на відстані 50 - 100 м від автомобільної дороги, було встановлено, що у водних об'єктах, розташованих в місцях, де поздовжній профіль автомобільної дороги має увігнутий контур, рівень вмісту хлоридів в 31 раз більший, ніж у водоймищах, розташованих біля ділянок автомобільних доріг з опуклим поздовжнім профілем, що зумовлено тим, що увігнутий поздовжній профіль діє як своєрідний акумулятор в якому накопичуються забруднення [6]. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, до 80% захворювань людини пов'язано з вжитком неякісної води, при цьому більше 95% води, що використовують з господарсько-питною метою добувається з поверхневих джерел. В зв'язку з цим дія автомобільних доріг як техногенних споруд на природне середовище виявляється досить значною, оскільки вона знижує самоочищення природних систем.

Водний баланс території проходження автомобільної дороги формується в результаті взаємодії складових його показників, тобто об'єму зливого і

снігового стоку, об'єму інфільтрації і величини випару, які впливають на зміну запасів вологи на водозборі. В даному випадку очисні споруди, на які поступає закумуляований на поверхні автомобільної дороги і мостового полотна зливовий і сніговий стік, виконують роль конструкцій, що дозволяють зберегти екологічний баланс та є водобалансними спорудами. При будівництві очисних споруд і використанні особливостей прилеглої до автомобільної дороги території особливу увагу необхідно приділяти сполученню цих конструкцій з системою дорожнього поверхневого водовідводу. Стічні води з двохскатного поперечного профілю дороги збираються у лотках вздовж проїзної частини. По водоприймальному колектору забруднений сток подається у приймальний лоток водоочищуючої споруди.

Середньостатичний склад дощового стоку: завислі речовини - 400 мг/дм³, БПК₂₀ - 40 мг/дм³, нафтопродукти - 8 мг/дм³; талого стоку: завислі речовини - 2000 мг/дм³, БПК₂₀ - 70 мг/дм³, нафтопродукти - 20 мг/дм³. Сольовий склад суттєво залежить від місця розташування.

Злилові води в більшості випадків мають відносно малу мінералізацію, що дозволяє змішувати їх з деякими шахтними водами підвищеної мінералізації та використовувати для зрошування сільськогосподарських угідь.

В сучасних умовах злилові та комунальні стоки об'єднуються та піддаються сумісному очищенню, що впливає як на ефективність очищення, так і на витрати [8]. Суттєва відмінність якості поверхневих зливових та комунальних стоків вказує на доцільність їх розділення та використання різних технологій очищення.

У зв'язку з забрудненням поверхневих водоймищ та дефіцитом води стоки з систем водовідведення автомобільних доріг доцільно використовувати після попереднього очищення для потреб промисловості або сільського господарства.

Основними забруднювачами стічних вод є завислі речовини. Вони досить ефективно видаляються методами коагуляції [7]. Пластівці, що утворилися в процесі коагуляції та флокуляції видаляються з води осадженням у вертикальних відстійниках або фільтруванням.

Скоагульовані забруднення зазвичай виділяють з води в процесі її відстоювання або флоатації з наступним фільтруванням освітленої води через зернисту загрузку [10]. Тривалість процесу відстоювання у вертикальних, горизонтальних та радіальних відстійників, а також освітлювачів різних

конструкції складає 1 – 1,5 години. При використанні пластинчатих або трубчастих відстійників тривалість відстоювання скорочується до 30–40 хвилин. Перевагами використання комбінованих споруд в схемах фізико-хімічної очистки є можливість рециркуляції стічної води та осаду. Ефективні тонкошарові відстійники з механічною камерою утворення пластівців. Використання методу відстоювання у тонкому шарі дозволяє значно інтенсифікувати процес виділення механічних домішок та забезпечити високий ступінь освітлення для споруд, що потребують компактності розташування.

Розрахунковий час перебування води у камері утворення пластівців складає приблизно від 5 до 15 хвилин незалежно від способу перемішування, проте залежить від тривалості та інтенсивності. Градієнт швидкості у камерах утворення пластівців можна розрахувати за формулою:

$$G = \left(\frac{N}{W \cdot \eta} \cdot 2\pi n \right)^{1/2}, \quad (1)$$

де N – початкова потужність, що витрачається на обертання, Вт;

W – об'єм камери, м³;

η – динамічна в'язкість води, Па·с;

n – частота обертання мішалки.

Серед прогресивних технічних рішень, що заслуговують впровадження у найближчій перспективі є метод інтенсифікації процесу відстоювання шляхом дозування мікропіску (процес «Actiflo»). Систему «Actiflo» можна використовувати для очищення стоків з систем водовідведення на автомобільних дорогах для збільшення продуктивності та зменшення капітальних витрат.

Тривалість очищення на існуючих спорудах складає приблизно від однієї до трьох годин, а безпосередньо коагуляція може займати від 20 до 40 хвилин [7]. Технологія "Actiflo" дозволяє інтенсифікувати процес, не втрачаючи якісних характеристик (рис. 1). Ця технологія поєднує в собі процеси коагуляції, флокуляції та седиментації. Відмінністю останньої є те, що в зону реакції подається високодисперсний пісок, який сприяє збільшенню ваги пластівців шламу при використанні флокуляції. Останній рециркулює завдяки використанню гідроциклону. Як наслідок період кристалізації скорочується, густина осаду збільшується. Технологія передбачає перемішування на трьох стадіях (коагуляції, флокуляції та в камері утворення пластівців).

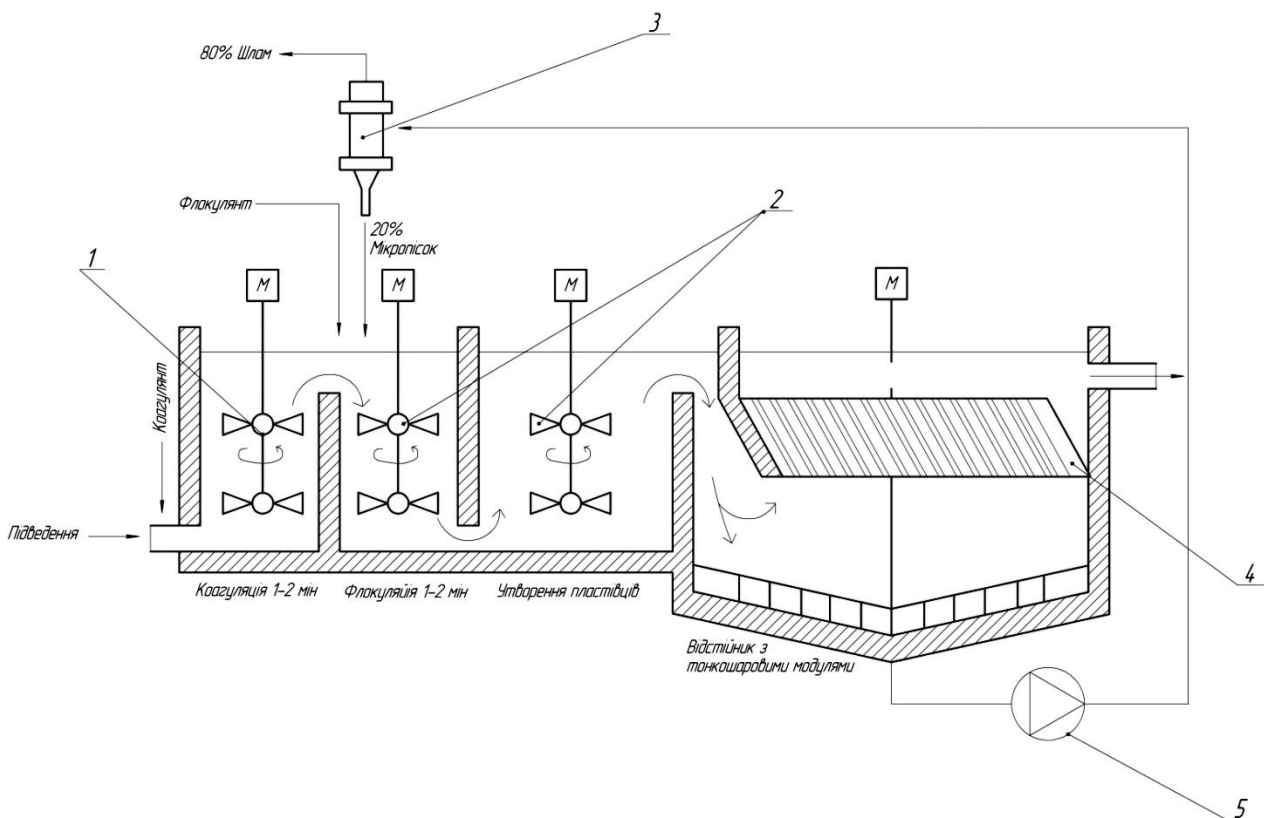


Рисунок 1 – Схема обробки води з рециркуляцією шламу та піску

- 1 – зона коагуляції – перемішування води, що поступає на очищення з коагулянтном;
- 2 – зона флокуляції – агрегація часток після коагуляції;
- 3 – зона дозрівання – подальше укрупнення шламу;
- 4 – зога видалення часток шламу в тонкошарових модулях.
- 5 – насос відкатки шламу на гідроциклон.

Установка ефективна для видалення важких металів (свинець), присутніх у стоках з систем водовідведення автомобільних доріг.

Продуктивність процесу "Actiflo" складає до 20000 м³ для стічної води. Основні параметри процесу наведено у табл. 2.

Таблиця 1 – Основні показники процесу коагуляції

Показник	Стічні води	Традиційні методи
Тривалість процесу	5-6 мин.	1-4 ч
Тривалість коагуляції	3-5 мин.	20-40 мин.

При використанні Actisand Actiflo процес очищення досягає найкращих результатів в порівнянні зі всіма існуючими освітлювальними процесами, показує стійке видалення каламутності, кольоровості, загального органічного вуглецю, водоростей, колоїдних частинок, хвороботворних мікроорганізмів, окисленого заліза, марганцю, миш'яку і ін [6]. Очищена вода може бути використана для відновлення води зворотної промивки від швидкісних гравітаційних фільтрів. Це значно зменшує втрати води і експлуатаційні витрати. Експлуатаційні характеристики для поверхневої і очищеної води, очищеної методом «Actiflo» наведено у таблиці 3.

Таблиця 2 - Експлуатаційні характеристики для поверхневої і очищеної води.

Назва	Вода (значення на вході), мг/л	Ступінь очищення води у процесі «Actiflo», %
Каламутність	0 - 2000	95-99
Завислі речовини	0 - 3000	90-99
Кольоровість	0 - 350	85-97
ТОК (загальний органічний вуглець)	1 - 30	30 - 60 %
Хлорофіл А	0 - 100	90 - 99 %
Марганець	0 - 2,5	60 - 95 %
Миш'як	0 – 2,0	50 - 90 %
Залізо	0 – 5,0	60 - 98 %
Водорості	0 - $1 \cdot 10^5$ клітин/мл	90 - 99 %

Характеристики дощового та талого стоків з систем водовідведення на автомобільних дорогах відрізняються від комунально-побутових стоків тому необхідно здійснювати окремий збір цих стоків. Система «Actiflo» ефективна практично на всіх етапах обробки комунальних стоків. Видалення фосфору становить більш 90%.

В поверхневих водах, що збираються з автомобільних доріг суттєву масу забруднень складають важкі метали. Важкі метали відносяться до найбільш небезпечних для здоров'я та найменш зрозумілих за своєю дією сполук. При

визначених низьких концентраціях деякі з них важливі для забезпечення нормальної життєдіяльності організму людини, інші ж настільки токсичні, що дози, які не перевищують 1 мг можуть призводити до фатальних наслідків.

Проблемі видалення сполук токсичних металів із стоків приділяється достатньо велика увага. Відповідно до існуючих у нашій країні достатньо жорстких норм необхідно практично повне видалення сполук важких металів з стоків перед їх скиданням у поверхневі водоймища.

Віддають перевагу методу очищення промислових стоків від сполук важких металів шляхом їх осадження. У процесі осадження одержують достатньо компактним відхід, який можна направити на захоронення чи на використання у інших галузях промисловості. При цьому можливе одержання відносно мало забруднених сполук металів, що сприяє їх утилізації. Осадження може бути автоматизовано та виконано у вигляді безперервного процесу у освітлювачах та відстійниках.

При осадженні важливо у якості осаджувача вибрати такі реагенти, які були б недефіцитними, нетоксичними та недорогими. Одним з таких реагентів є вапно. Із відомих хімічних сполук вона має найменшу еквівалентну масу (28), що забезпечує малу питому витрату цього реагенту на осадження металів.

Більшість гідроокисів металів мають відносно велику щільність, що сприяє їх сепарації в осаджувальних сепараторах.

Особливості видалення важких металів в процесі їх висадження вапном наведено в таблиці 4

Таблиця 3 – Результати дослідів за видаленням сполук важких металів вапном

Метал	РН	Кількість додатку СаО, мг/кг	Концентрація дзабруднень перед очищенням, мг/кг	Концентрація після очищення, мг/кг	Ступінь очищення, %
1	2	3	4	5	6
Хром у вигляді CrCl ₃ ·6H ₂ O	3,45	-	-	-	-
	5,6	0,15	92	55	40,2
	6,95	0,165	92	< 0,1	> 99,9
	8,1	0,175	92	< 0,1	> 99,9
	9,6	0,185		< 0,1	> 99,9

Кінець табл. 3

1	2	3	4	5	6
	10,25	0,2	92	< 0,1	> 99,9
	10,95	0,25	92	< 0,1	> 99,9
	11,1	0,3	92	< 0,1	> 99,9
	11,2	0,4	92	< 0,1	> 99,9
	11,35	0,5	92	< 0,1	> 99,9
Мідь у вигляді $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	5,15	-	93	-	-
	6,55	0,05	93	35	62,4
	6,85	0,075	93	5,3	94,3
	8,0	0,090	93	< 0,1	> 99,9
	9,52	0,1	93	< 0,1	> 99,9
	10,9	0,15	93	< 0,1	> 99,9
	11,1	0,2	93	< 0,1	> 99,9
	11,3	0,3	93	< 0,1	> 99,9
	11,62	0,4	93	< 0,1	> 99,9
Залізо у вигляді $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2,8	-	109	-	-
	3,0	0,1	109	95	12,8
	3,7	0,15	109	19	82,6
	4,4	0,165	109	6,7	93,8
	5,2	0,168	109	< 0,1	> 99,9
	6,55	0,17	109	< 0,1	> 99,9
	7,0	0,172	109	< 0,1	> 99,9
	7,5	0,175	109	< 0,1	> 99,9
	10,25	0,2	109	< 0,1	> 99,9

При наявності у воді сполук свинцю їх доцільно видаляти за рахунок присадки в розчин еквівалентної кількості сульфїду натрію після висадження вапном основної маси забруднювачів. Це зумовлено тим, що добуток розчинності $\text{PbS}[6,3 \cdot 10^{-29}]$ значно менший порівняно з $\text{Pb}(\text{OH})_2[6,3 \cdot 10^{-13}]$ на 16 порядків. Відповідно розчинність цих сполук складає $8,2 \cdot 10^{-15}$ та $5,510^{-5}$ моль/л. Деякі метали (наприклад $\text{Fe}^{2+}, \text{Cu}^+$) доцільно окислювати перед їх висадженням вапном, наприклад за рахунок подачі в освітлювач відповідної кількості розчину хлорного вапна. В табл. 5 наведено характеристики процесу видалення деяких важких металів при наявності в розчині сполук різної валентності

Таблиця 4 – Добуток розчинності та розчинність малорозчинних сполук окремих металів

Метал	Символ	Гідроксиди Me(OH) ₂			Сульфіди, MeS		
		Добуток розчинності	Розчинність, моль/кг	Розчинність, мкг/кг	Добуток розчинності	Розчинність, моль/кг	Розчинність, моль/кг
Залізо	Fe ²⁺	1,64·10 ⁻¹⁴	1,6·10 ⁻⁵	8,94·10 ²	3,8·10 ⁻²⁰	2,0·10 ⁻¹⁰	1,12·10 ⁻²
Залізо	Fe ³⁺	1,1·10 ⁻³⁶	4,5·10 ⁻¹⁰	2,5·10 ⁻²	-	-	-
Хром	Cr ³⁺	5,4·10 ⁻³¹	1,2·10 ⁻⁸	0,62	-	-	-
Хром	Cr ⁶⁺	-	-	-	-	-	-
Цинк	Zn ²⁺	1,0·10 ⁻¹⁷	3,2·10 ⁻⁹	0,21	7,9·10 ⁻²⁶	2,8·10 ⁻¹³	-
Никель	Ni ²⁺	8,7·10 ⁻¹⁹	6,0·10 ⁻⁷	35,2	1,4·10 ⁻²⁴	1,2·10 ⁻¹²	-
Мідь	Cu ⁺	-	-	-	26·10 ⁻⁴⁹	4,1·10 ⁻¹⁷	-
Мідь	Cu ²⁺	5,6·10 ⁻²⁰	2,4·10 ⁻⁷	15,25	3,2·10 ⁻³⁸	1,8·10 ⁻¹⁹	-

Розглянуті способи очищення мають свої переваги та недоліки, а також сферу застосування, що визначається комплексом гідрологічних, геологічних, кліматичних і метеорологічних характеристик території вулиць міста та автомобільних доріг.

За очисними спорудами, які знаходяться у експлуатації необхідно здійснювати постійний нагляд та лабораторний контроль за концентрацією речовин у очищених стоках, не допускаючи перевищення встановлених нормативів.

Висновки

1. Увігнутий поздовжній профіль автомобільної дороги сприяє накопичуванню забруднень дощових та талих стоків з систем водовідведення автомобільної дороги у нижніх точках її профілю. Накопичення доцільно здійснювати у ставках (секціонованих ємностях). Після ретельного контролю, накопичена вода піддається очищенню, в першу чергу, від завислих речовин та нафтопродуктів, а в окремих випадках, і від сполук важких металів. Очищена вода може використовуватися для зрошення у сільському господарстві.

2. Автомобільні дороги можна розглядати як накопичувач дощового та талого стоків, з відносно малою мінералізацією (при великих об'ємах талого стоку у зимовий період).
3. Доцільно здійснювати окремих збір ливневих та комунальних вод, тому що технологія їх очищення суттєво відрізняється. Комунальні стічні води потрібно очищувати з використанням біохімічної технології та коагуляції, а ливневі – методами коагуляції та висадження важких металів та знезаражування.
4. Для очищення ливневих стоків пропонується застосовувати технологію "Actiflo", з використанням вапна для висадження сполук важких металів, які змиваються з поверхні автомобільних доріг.

Література

1. Ильина А.А. Экологические аспекты очистки поверхностных стоков с автомобильных дорог. - М., 2004. - (Сб. науч.-метод. Работ по повышению уровня обоснованности проектов автомоб. дорог и сооружений на них / Союздорпроект; Вып. 7).
2. Fleck A.M., Lacki M.J., Sutherland J. Response by white birch (*Betula papyrifera*) to road salt applications at Cascade Lakes, New York // *Journal of Environmental Management*. - 1988.
3. Hofstra G., Smith D.W. The effects of road de-icing salt on the levels of ions in roadside soils in southern Ontario // *Journal of Environmental Management*. - 1984.
4. Isabelle P.S., Fooks L.J., Keddy P.A., Wilson S.D. Effects of roadside snowmelt on wetland vegetation: An experimental study // *Journal of Environmental Management*. - 1987.
5. Demers C.L., Sage Jr. R.W. Effects of road de-icing salt on chloride levels in four Adirondack streams // *Water, Air and Soil Pollution*. - 1989.
6. <http://www.veoliawaterst.com/actiflo/en/actiflo.htm>
7. Физико-химическая очистка городских сточных вод. Г.Н. Луценко, А.И. Цветкова, И.Ш. Свердлов.
8. Отведение и очистка поверхностных сточных вод: Учеб. Пособие для вузов / В.С. Дикаревский, А.М. Курганов, А.П. Нечаев, М.И. Алексеев. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 224 с.
9. Технологический регламент центральных канализационных очистных сооружений г. Горловки, 2009 г.
10. Ксенофонов Б.С. Очистка сточных вод: флотация и сгущение осадков. – М.: Химия, 1992. – 144 с.

Литвиненко Т.П., канд. техн. наук, Ткаченко І.В.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВОГО РОЗМІЩЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ БЛАГОУСТРОЮ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. В статті описується хід моделювання просторового розміщення елементів благоустрою автомобільної дороги в запропонованих коридорах. Перевірено параметри просторових коридорів та запропоновано розміщувати елементи благоустрою четвертого рівня важливості в третьому коридорі, а п'ятого рівня – в четвертому. Остаточо визначено параметри чотирьох просторових коридорів для автомобільної дороги третьої категорії.

Ключові слова: моделювання, автомобільна дорога, елементи благоустрою, просторовий коридор, візуальне сприйняття.

Аннотация. В статье описывается ход моделирования пространственного размещения элементов благоустройства автомобильной дороги в предложенных коридорах. Проверено параметры пространственных коридоров и предложено размещать элементы благоустройства четвертого уровня важности в третьем коридоре, а пятого уровня – в четвертом. Окончательно определено параметры четырех пространственных коридоров для автомобильной дороги третьей категории.

Ключевые слова: моделирование, автомобильная дорога, элементы благоустройства, пространственный коридор, визуальное восприятие.

Annotation. In this article describe course of modeling the spatial placement of beautification elements of automobile roads. Was verified of parameters of spatial placement and was proposed placement of beautification elements of automobile roads in the four spatial corridors.

Keywords: modeling, automobile road, elements of beautification, spatial corridor, visual perception.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.

Автомобільні дороги України характеризуються недостатнім забезпеченням елементами благоустрою та водночас надмірно насичені окремими їх видами, розміщення яких архітектурно-невпорядковане (рис. 1). Це призводить до інформаційного перевантаження та психологічного напруження водія, чим негативно впливає на безпеку руху [1]. Тому питання розміщення елементів благоустрою і створення комфортних міжміських комунікаційних просторів є однією із важливих проблем сучасного містобудування. З розвитком комп'ютерно-інформаційних технологій відкрилися нові можливості для дослідження таких складних систем як дорожній комплекс, та для прийняття рішення щодо його подальшого розвитку. Тому пропонується, виконуючи моделювання дорожнього середовища, перевірити результати попередніх теоретичних досліджень та зробити висновки про їх якість.

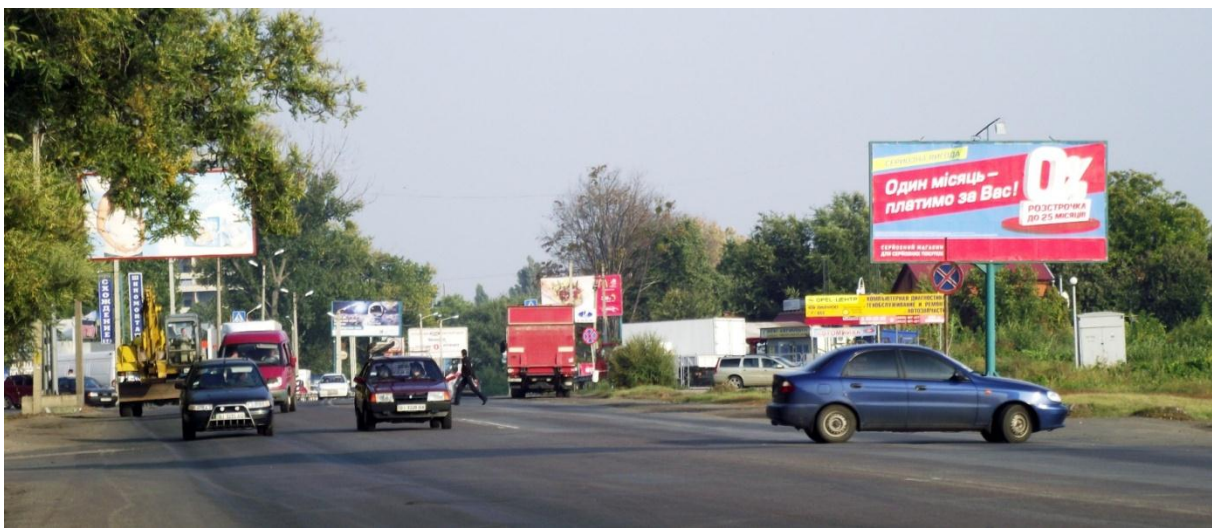


Рисунок 1 – Безсистемне розміщення елементів благоустрою на автомобільній дорозі Київ-Харків-Довжанський км 337+900

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.

На теперішній час теорія, методи, технології створення (використання) різних класів моделей розвинуті достатньо добре. Дослідження в даній галузі наукових знань активно продовжуються, охоплюючи все нові й нові класи моделей і предметні області. Вчені різних країн світу пересвідчилися в необхідності моделювання при проектуванні складних систем. Білоруський архітектор Сардаров А. С. вважає побудову перспектив траси майбутньої дороги обов'язковою умовою ландшафтного проектування і візуальної оцінки траси та навколишнього середовища. В Росії архітектурно-ландшафтний аналіз автомобільних доріг з використанням моделей запропонував Бабков В. Ф. Бочкова Р. Л. розглядає побудову панорами автомобільних шляхів в ізоциліндричній проекції з точки зору водія. Кудрявцев Г. П. для якісної оцінки проекту запропонував фотографію навколишнього ландшафту об'єднати з перспективним зображенням ділянки дорожнього полотна, отриманої за допомогою комп'ютерного моделювання.

Отже, на сьогоднішній день існує багато напрацювань щодо гармонічного вписування автомобільної дороги в навколишній ландшафт за допомогою комп'ютерних технологій, але, при цьому, не використовується метод розташування елементів благоустрою у чітко виділених просторових коридорах, який пропонується застосувати при моделюванні в даній роботі.

Формулювання цілей статті (постановка завдання).

Велика кількість елементів благоустрою та пов'язана з цим складність правильного їх розміщення вимагають застосування сучасних методів проектування. Метою роботи є перевірка та уточнення запропонованих авторами [2] параметрів просторових коридорів, призначених для розміщення елементів благоустрою автомобільних доріг, шляхом моделювання.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Реалізацію завдання вирішено виконати за допомогою системи автоматизованого проектування Allplan. Використовуючи модуль «3D моделювання» було створено тримірне тіло дороги, перетворене в архітектурну площину, до якої прив'язувались дорожнє покриття та елементи благоустрою, що були змодельовані в модулі «Архітектура» та функціями 3D моделювання.

Побудована автомобільна дорога третьої категорії з поворотом радіусом 2000 м, що проходить в насипі висотою 1 м по рівнинній ділянці місцевості. На малюнку 2 показано всі змодельовані елементи благоустрою автомобільної дороги та межі коридорів в яких вони розміщуються.

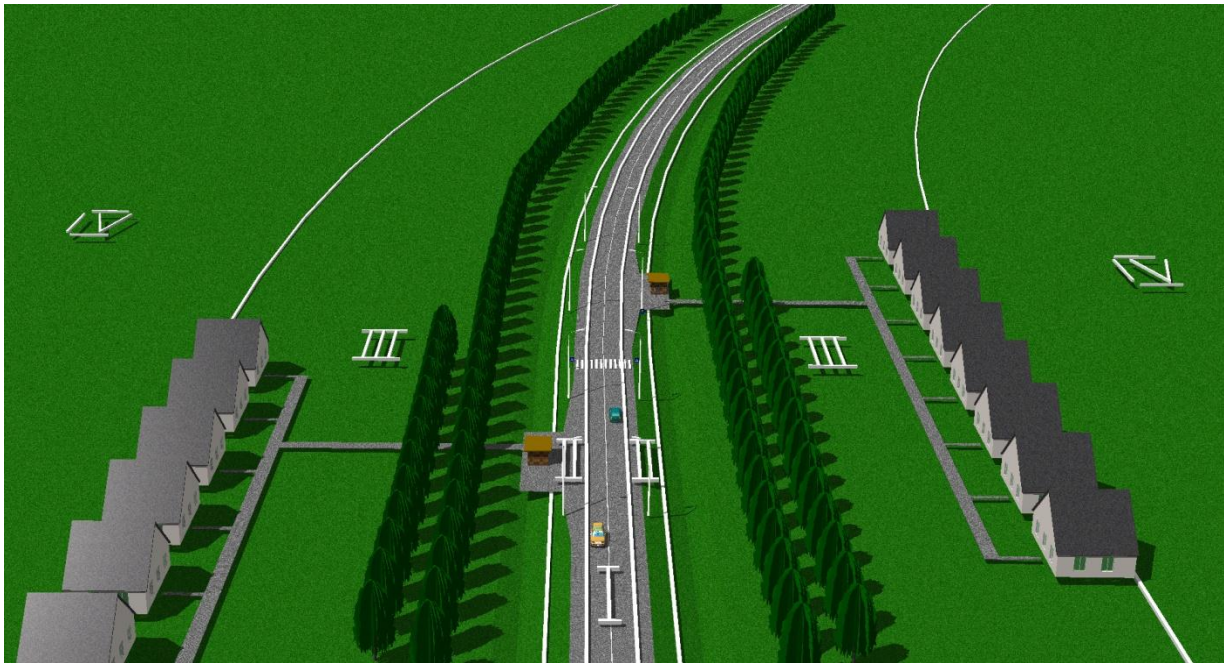


Рисунок 2 – Просторові коридори розміщення елементів благоустрою

Ширина просторового коридору B визначена наступним чином: для першого – 7 м (призначається рівною ширині проїзної частини третьої категорії дороги, за ДБН В.2.3-4:2007), для другого – 5 м (дорівнює найбільшій нормативній відстані розміщення елементів благоустрою другого рівня важливості від крайки проїзної частини (ДСТУ 4100_2002, п. 10.2.5); для третього – 60 м (дорівнює нормативній ширині території призначеної для розміщення елементів благоустрою третього рівня важливості, шляхом інтеграції відповідно до категорії дороги (ДБН 360-92**, п. 7.17); для четвертого B_{IV} – безкінечна. *Висота просторових коридорів H* визначена наступним чином: для першого – 5,5 м (дорівнює найменшій допустимій висоті споруд над дорогою (ДБН В.2.3-22:2009, додаток В); для другого – 20 м (дорівнює найбільшій висоті елементів другого рівня важливості (ДБН В.2.5-28:2006, п. 4.54); для третього – потребує визначення (немає нормативних значень), для четвертого – безкінечна.

Автомобільна дорога обладнана дорожньою розміткою 1.1, 1.8, 1.5, 1.14.1 [3] (елемент благоустрою I рівня важливості), дорожніми знаками 5.35.1, 5.35.2, 5.41, що позначають зупинку та пішохідний перехід [4], освітленням (елементи благоустрою II рівня важливості), автобусними зупинками в прямому і протилежному напрямку [5] (елемент благоустрою III рівня важливості), меморіальною спорудою (елемент благоустрою IV рівня важливості), яка проходить в рівнинній місцевості, що відноситься до V рівня важливості. Використовуючи модуль «Візуалізація» та функцію «побудова окремого зображення методом трасування променя» було створено фотографію дороги з точки зору водія (рис. 3). На якій можна спостерігати упорядковане розташування елементів благоустрою відповідно до просторових коридорів розміщення. Виявлено, що елементи IV рівня важливості доцільно розміщувати в III просторовому коридорі, тому що маючи розміри не більші ніж елементи третього коридору і розташовуючись за ним взагалі не сприймаються суб'єктами руху.



Рисунок 3 – Моделювання сприйняття дорожнього середовища водієм

Для аналізу сприйняття розміщення елементів благоустрою в русі було виконано моделювання руху по дорозі та записано відео ролик. Час і рух - фактори, що мають першочергове значення для методу дорожнього проектування, в основі якого лежить проблема врахування зміни вражень.

Завдання проектувальника полягає в тому, щоб композиційне рішення розміщення елементів благоустрою відповідало швидкостям переміщення глядача. Різна швидкість переміщення пов'язана з часом сприйняття, тому просторово-часове моделювання об'ємів і просторів повинно виконуватись з точним розумінням цього часу.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.

Під час моделювання автомобільної дороги III-ї категорії обладнаної елементами благоустрою було перевірено параметри просторових коридорів та запропоновано розміщувати елементи благоустрою четвертого рівня важливості в третьому коридорі, а п'ятого рівня – в четвертому. Отже, пропонується кількість просторових коридорів зменшити до чотирьох, об'єднуючи елементи III та IV рівня важливості. В наступних дослідженнях планується перевірити розміщення елементів благоустрою в запропонованих коридорах [2] на автомобільних дорогах I-а, I-б, II, IV, V категорій з чотирма типами поперечних профілів (насип та виїмка до 1 м, насип та виїмка до 6 м) та в дорожніх ситуаціях в яких будуть використані всі елементи дорожнього благоустрою [1].

Література

1. Литвиненко Т. П. Архітектурно-ландшафтний та інженерний благоустрій автомобільних доріг: Навч. посібник / Т. П. Литвиненко, О. Б. Кошлатий, І. В. Вітринська. – Полтава: ПолтНТУ, 2010. – 184 с.
2. Литвиненко Т. П. Формування просторових коридорів для розміщення елементів благоустрою автомобільних доріг / Т. П. Литвиненко, І. В. Ткаченко // Проблеми розвитку міського середовища: Наук.-техн. збірник. – К.: НАУ, 2011. – Вип. 5, 6. – С. 314–315.
3. ДСТУ 2587-2010 Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні вимоги. Методи контролювання. Правила застосування.
4. ДСТУ 4100-2002 Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування.
5. ДБН В.2.3-4:2007 Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування.

Тютюнник Я.С.

АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕК ПОВ'ЯЗАНИХ З РОБОТОЮ АВТОЗАПРАВНИХ СТАНЦІЙ

Анотація. Автозаправні станції віднесені до об'єктів, що становлять підвищену виробничу та екологічну небезпеку, яка пов'язана з використанням легкогорючих речовин – палива для автомобілів та можливістю виникнення аварій на них.

Ключові слова: АЗС, аварія, вибухонебезпека.

Аннотация. Автозаправочные станции отнесены к объектам, которые представляют повышенную производственную и экологическую опасность, которая связана с использованием легкогорючих веществ - топлива для автомобилей и возможностью возникновения аварий на них.

Ключевые слова: АЗС, авария, взрывоопасность.

Annotation. Petrol stations assigned to objects of increased production and environmental risks which associated with the using of inflammable substances - fuel for cars and the possibility of arising accidents at them.

Keywords: gas stations, accident, explosion hazard.

Аналіз безпеки та ризику аварій на об'єкті підвищеної безпеки включає такі основні етапи:

- постановка завдання аналізу безпеки та оцінки ризику;
- аналіз безпеки та умов виникнення аварій;
- оцінка ризику (ймовірності) виникнення аварій;
- аналіз умов і оцінка ймовірності розвитку аварій;
- визначення масштабів наслідків;
- оцінка ймовірності наслідків аварій;
- оцінка прийнятності ризику та прийняття рішень щодо зменшення ризику.

Декларацію безпеки складають на основі досліджень ступеня небезпеки та оцінки рівня ризику виникнення аварій (включаючи відомості про аварії, аналіз основних причин і чинників виникнення аварій, оцінку можливих негативних наслідків на людей, майно і навколишнє середовище), пов'язаних з експлуатацією об'єкта.

Для виділення об'єктів, для яких необхідно при виконанні дослідження ризику з метою розробки Декларації виконати аналіз небезпеки та ризику, належить:

- визначити ті апарати чи установки, на яких можливі аварії з найбільшим викидом небезпечних речовин;
- визначити ті з них, на яких аварії з ураженням та нанесенням збитків можливі за межами підприємства;
- установити зони максимального ураження, вид і масштаб можливих наслідків негативних впливів;
- визначити реципієнти, що потрапляють у зону ураження, і визначити об'єкти “турботи” .

Головним об'єктом “турботи” є людина, Необхідно визначити загрозу для населення, для чого виділити місця проживання людей, розташування підприємств та організації, що потрапляють у зону ураження. Як інші об'єкти “турботи” слід розглядати соціально важливі об'єкти (місця великого скупчення людей – стадіони, кінотеатри, лікарні тощо), об'єкти життєзабезпечення (об'єкти енергопостачання, транспортні магістралі тощо).

Для кожного результату визначаються можливі умови реалізації (параметри витікання чи інші умови викиду, час витікання чи викиду, маса викиду, площа протоки, погодні умови тощо), за яких моделюються аварії та визначаються значення уражаючих факторів, зони їх дії та можливі наслідки у фізичному вираженні.

Визначення масштабів наслідків аварій включає аналіз можливих впливів на людей, майно і довкілля. Для оцінки можливих наслідків і наступної оцінки ризику необхідно моделювати аварії для кожного можливого її результату, визначеного при виконанні аналізу розвитку аварій.

Під час моделювання вибухів рекомендується розглядати:

- вибухи при руйнуванні оболонки чи апаратів трубопроводів у результаті підвищення тиску в устаткуванні внаслідок неконтрольованих фізичних чи хімічних процесів;

- вибухи при руйнуванні оболонки і скипанні зріджених газів, що знаходяться в апаратах під тиском, чи перегрітих рідин;
- вибухи конденсованих речовин в устаткуванні, в атмосфері при викидах;
- об’ємні вибухи газових і парових хмар при викидах стиснутих чи зріджених газів перегрітих рідин;
- інші вибухові явища, можливі на розглянутому об’єкті в разі виникнення аварійних ситуацій.

При моделюванні пожеж рекомендується розглядати:

- горіння вільних і обмежених розливів горючих і легкозаймистих рідин;
- дифузійне чи дефлаграційне згорання незмішаних хмар при викидах зріджених газів під тиском і перегрітих рідин (“вогняна куля”);
- факельне горіння струменя пари, газу або диспергованої рідини;
- інші види пожежі, можливі на розглянутому об’єкті в разі виникнення аварійних ситуацій.

При моделюванні викидів шкідливих і токсичних речовин в атмосферу враховуються погодні умови, стан атмосфери, напрямок і швидкість вітру, умови викиду й інші параметри.

При розробленні сценаріїв виникнення та розвитку аварії слід проаналізувати причини, що обумовлюють виникнення аварії та розглянути конкретні наслідки певного виду аварії.

У процесі аналізу виявляються інші небезпечні фізичні та хімічні процеси, що можуть реалізуватися при виникненні і розвитку аварії, і оцінюється їх негативний вплив на населення, соціально важливі об’єкти, елементи екосистеми, майно юридичних і фізичних осіб і інші об’єкти “турботи” суспільства.

При аналізі наслідків використовуються такі моделі:

- розрив ємності під тиском;
- вибух газових і парогазових хмар у відкритому просторі;
- згорання парогазових хмар (вогняні кулі), пожежі розливу;

Також для оцінки безпеки об’єкта слід розрахувати загальний енергетичний потенціал та категорію вибухонебезпеки технологічного блоку.

Найбільшу небезпеку для людей і матеріальних цінностей чинять вражаючі фактори вибуху та вогневих куль.

Енергію вибуху парогазових середовищ визначають за теплою згорання горючих речовин в суміші з повітрям (окислювачем). Важливою

характеристикою енергії вибуху є сумарне енерговиділення. В офіційній нормативно-технічній документації цей показник називається енергетичним потенціалом і входить у всі параметри, що характеризують масштаби та наслідки вибуху.

Для кожного конкретного підприємства для запобігання аварійності необхідний аналіз енергетичного потенціалу і рівня небезпеки.

Утворення вибухонебезпечних сумішей газів і пари з повітрям відбувається, як правило, за порівняно короткий час і вибухи цих сумішей володіють великою руйнівною силою. Сила такого вибуху визначається умовно розрахованою енергією, приведеною до тротилового еквівалента. Сумарний енергетичний потенціал підприємства оцінюється по загальній кількості небезпечних речовин, що знаходяться в одноразовому обігу.

Загальний енергетичний потенціал вибухонебезпеки технологічного об'єкта, стадії, блоку "Е" характеризується сумою енергій адіабатичного розширення парогазової фази (ПГФ), повного згорання пари, що утворюється з рідини при аварійній розгерметизації ємностей і апаратів. В скороченому виді "Е" визначається:

$$E = E_1 + E_2, \text{ кДж},$$

де E_1 – сума енергій згорання ПГФ, яка знаходиться в аварійному блоці (апараті), кДж; $E_1 = \sum G_1 \cdot q_1$ (G_1 – маса газу чи пари рідини в апараті, q_1 – питома теплота згорання речовини, кДж/кг); E_2 – енергія згорання ПГФ, яка надійде до місця розгерметизації від суміжних об'єктів, $E_2 = \sum G_2 \cdot q_1$ (G_2 – маса газу чи пари рідини, яка поступить до місця розгерметизації від суміжних об'єктів (блоків)).

За значеннями загальних енергетичних потенціалів вибухонебезпеки визначаються величини інших показників, які характеризують рівень вибухонебезпеки технологічних блоків:

– загальна маса горючих парів (газів) вибухонебезпечної парогазової хмари (m), приведена до єдиної питомої енергії згорання, яка дорівнює 46000 кДж/кг:

$$m = \frac{E}{4,6 \cdot 10^4}, \text{ кг} \quad (1)$$

– відносний енергетичний потенціал вибухонебезпеки (Q_v) технологічного блоку, який знаходиться за формулою:

$$Q_{\text{в}} = \frac{1}{16,534} \sqrt[3]{E}. \quad (2)$$

За значеннями відносних енергетичних потенціалів ($Q_{\text{в}}$) і приведеної маси парогазового середовища (m) здійснюється класифікація (категорування) технологічних блоків (стадій).

Таблиця 1 - Класифікація технологічних стадій за вибухонебезпекою

Категорія вибухонебезпеки	$Q_{\text{в}}$	m , кг
I	більше 37	більше 5000
II	27-37	2000-5000
III	менше 27	менше 2000

Сумарний енергетичний потенціал E визначається наступним чином:

$$E = G * q_i, \quad (3)$$

де $q_i = 44520$ кДж – питома теплота згоряння бензину,

$$G = z * M, \quad (4)$$

де $z = 0,05-0,1$ – коефіцієнт переходу рідкої фази у пароподібну (в даному випадку приймаємо $z = 0,1$).

$$M = V * k * \rho, \quad (5)$$

де k - ступінь заповнення резервуарів, ρ - густина бензину в середньому дорівнює 730 кг/м³. Тоді,

$$E = z * V * k * \rho * q_i, \quad (6)$$

звідки видно, що E залежить від об'єму резервуарів та ступеню їх заповнення бензином.

Для прикладу візьмемо k рівним $0,8$ та V від 10 до 200 м³. Таким чином отримаємо залежності m та $Q_{\text{в}}$ від V зіступенем заповнення резервуарів $0,8$ виражені наступними графіками.

Висновок

Провівши такий аналіз для різних видів палива можна розробити рекомендації, щодо можливого загального об'єму резервуарів з паливом для певного класу вибухонебезпеки.

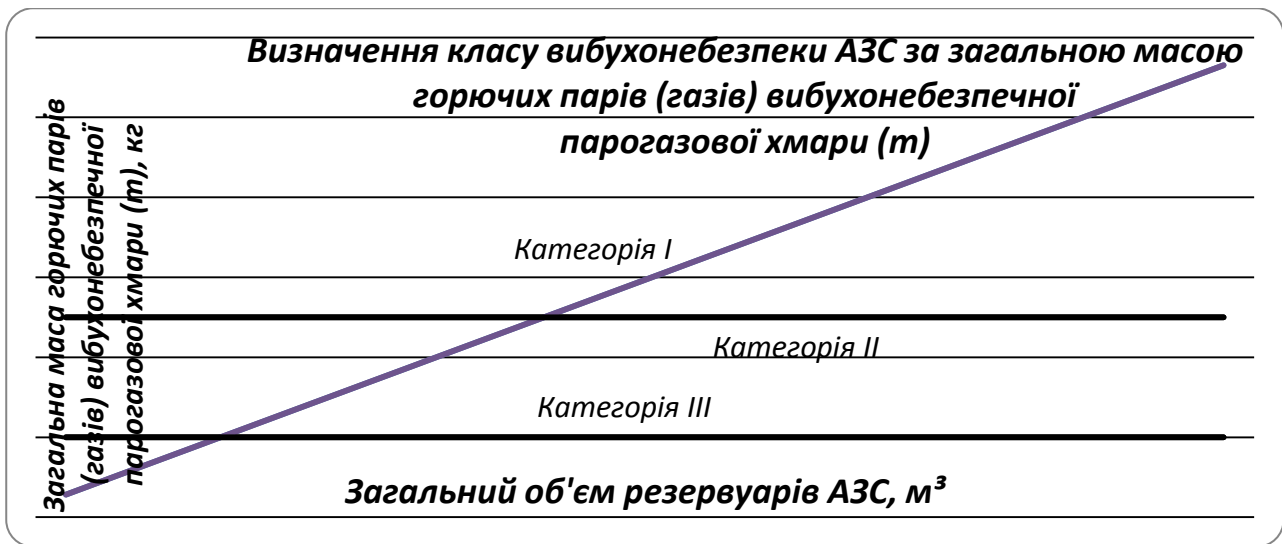


Рисунок 2 – Графік залежності m (загальної маси горючих парів (газів) вибухонебезпечної парогазової хмари) від V (загального об'єму резервуарів АЗС).

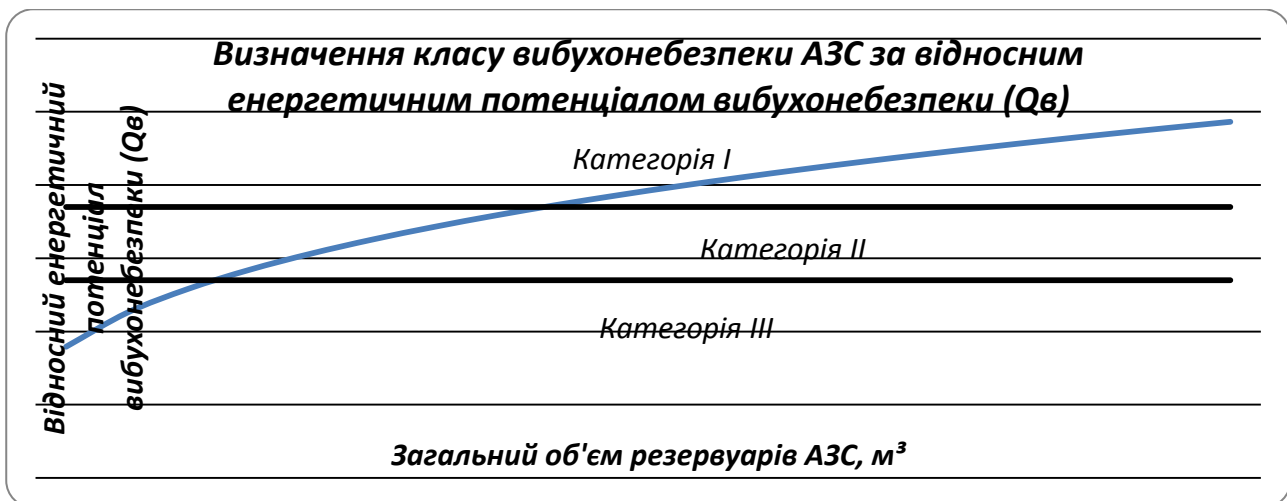


Рисунок 3 – Графік залежності Q_v (відносного енергетичного потенціалу вибухонебезпеки) від V (загального об'єму резервуарів АЗС).

Література

1. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки затверджено наказом Міністерства праці та соціальної політики України від 04.12.2002 N 637.
2. Закон України № 2245-III від 18.01.2001 р. “ Про об'єкти підвищеної небезпеки ”.
3. Постанова Кабінету Міністрів України № 956 від 11.07.2002 р. “ Порядок ідентифікації та обліку об'єктів підвищеної небезпеки ”.
4. Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій. Т.1. Техногенна та природна небезпека / За загальною редакцією В.В. Могильниченка. – К.: КІМ, 2007. – 636 с.
5. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ.изд.: В 2-х кн. / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. – М.: Химия, 1990. – Кн. 1 – 496 с., Кн. 2 – 384 с.

УДК 656.13.05

Дудніков О.М., канд. техн. наук

ОСНОВНЕ РІВНЯННЯ БАГАТОРЯДНОГО ЩІЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ НА ДІЛЯНЦІ ДОРОГИ ВИЗНАЧЕНОЇ ДОВЖИНИ

Анотація. У статті показані основні теоретичні положення при синтезі основного рівняння багаторядного щільного транспортного потоку, розкриті співвідношення інтенсивності, щільності та швидкості однорядних транспортних потоків та відповідні співвідношення для багаторядного транспортного потоку у визначених умовах дослідження за часом та простором, запропонований запис основного рівняння багаторядного щільного транспортного потоку.

Аннотация. В статье показаны основные теоретические положения при синтезе основного уравнения многорядного плотного транспортного потока, раскрыты соотношения интенсивности, плотности и скорости однорядных транспортных потоков, соответствующие соотношения для многорядного транспортного потока в определенных условиях исследования во времени и в пространстве, предложенная запись основного уравнения многорядного плотного транспортного потока.

Annotation. In article the basic theoretical provisions at synthesis of the main equation of a much ryadny dense transport stream are shown, ratios of intensity,

density and speeds of the single-row transport streams, the corresponding ratios for a much rjadny transport stream in certain conditions of research in time and in the space, the offered record of the main equation of a much rjadny dense transport stream are opened.

Безпека дорожнього руху є однією з головних проблем на автомобільному транспорті у розвинутих країнах світу. Сьогодні автомобільний транспорт визнаний як найбільш небезпечний з усіх інших видів транспорту. Згідно даних статистики країн Європейського союзу (ЄС) переміщення людини за допомогою автомобіля в десять разів небезпечніше ніж в літаку та в двадцять разів небезпечніше ніж в вагоні потягу. За один рік в країнах ЄС спостерігається близько 1 млн. 300 тис. дорожньо-транспортних пригод (ДТП), в яких гине понад 45 тис. осіб та травмується біля 1 млн. 700 тис. осіб [1,2]. Вказані цифри розкривають значну актуальність розгляду проблеми безпеки дорожнього руху.

В Україні в період останніх десяти років щорічно спостерігається коливання загальної кількості ДТП в межах 27...38 тис., в яких гине біля 4...6 тис. осіб та отримує поранення – 30...45 тис. осіб. Відносна кількість ДТП порівняно з країнами ЄС в Україні в 4...10 разів більша. Кількість загиблих у ДТП складає 8...13% від загиблих у ДТП всієї Європи, тоді як кількість автомобілів – лише 2% від всього європейського автомобільного парку. Тяжкість наслідків ДТП в п'ять разів вище ніж у країнах ЄС [1,2]. Питомі показники аварійності та тяжкості наслідків ДТП є одними з найгірших у Європі. В таких умовах актуальність проблеми безпеки дорожнього руху в Україні є найбільш суттєвою серед країн ЄС.

Існуючі методи та стандартизовані заходи забезпечення безпеки руху на ділянках доріг, що застосовуються у світі та в Україні, за розглянутими наявними на теперішній час показниками аварійності не дозволяють вирішити практичну проблему підвищення безпеки руху на автомагістралях шляхом розробки заходів зі зниження кількості та тяжкості ДТП. В свою чергу, зазначене розкриває наявність наукової проблеми щодо розробки теоретичних основ та практичних методів забезпечення безпеки руху на автомагістралях.

У роботі [3] було запропоноване основне рівняння однорядного транспортного потоку, який спостерігається певний час на відповідній довжині смуги руху:

$$\frac{L}{\Delta t} [q_L \cdot \bar{V}_L - q_{L0} \cdot \bar{V}_{L0}] = N_1 \cdot \bar{V}_1 - N_2 \cdot \bar{V}_2 + \frac{\bar{V}_L - \bar{V}_{L0}}{\Delta t}, \quad (1)$$

$$\bar{a}_L = \frac{\bar{V}_L - \bar{V}_{L0}}{\Delta t}, \quad (2)$$

$$\frac{L}{\Delta t} [q_L \cdot \bar{V}_L - q_{L0} \cdot \bar{V}_{L0}] = N_1 \cdot \bar{V}_1 - N_2 \cdot \bar{V}_2 + \bar{a}_L, \quad (3)$$

де L - довжина ділянки дороги, де досліджуються зміни характеристик однорядного транспортного потоку;

Δt - приріст часу дослідження змін характеристик однорядного транспортного потоку;

q_{0L} , q_L - миттєві усереднені значення щільності однорядного транспортного потоку на довжині ділянки дороги L , які були розраховані на початку відрахування часу спостереження Δt та після його відрахування;

\bar{V}_{L0} , \bar{V}_L - миттєві швидкості однорядного транспортного потоку за довжиною досліджуваної ділянки дороги L , які були розраховані на початку відрахування часу спостереження Δt та після його відрахування;

N_1 , N_2 - усереднені значення інтенсивності руху транспортного потоку в перетинах 1 та 2 на границях ділянки дороги, які отримані за приріст часу спостереження Δt ; \bar{V}_1 - швидкість транспортного потоку у перетині 1 ділянки дороги за час спостереження $t = \Delta t$; \bar{V}_2 - швидкість транспортного потоку у перетині 2 ділянки дороги за час спостереження $t = \Delta t$; \bar{a}_L - прискорення однорядного транспортного потоку на довжині досліджуваної ділянки дороги за час $t = \Delta t$.

Відповідно до результатів (3) з'явилася потреба введення нового поняття „прискорення однорядного транспортного потоку” – зміна швидкості транспортного потоку на довжині досліджуваної ділянки дороги за час спостереження.

$\bar{V}_{1\Sigma}$, $\bar{V}_{2\Sigma}$ - швидкості багаторядного транспортного потоку у перетинах 1 та 2 на межі досліджуваної ділянки дороги, які отримані усередненням швидкостей поодиноких транспортних потоків за часом спостереження Δt за всіма смугами руху m .

Рівняння (4) сумісно з запропонованими поняттями, що характеризують однорядний й багаторядний рух, являє собою теоретичну основу для відповідної оцінки станів багаторядного транспортного потоку на ділянці дороги. Пропонується вказане рівняння називати, як „основне рівняння багаторядного транспортного потоку”.

Дослідження, що проведені у [5], вказали на наявність стійкої тенденції нелінійного зменшення швидкості багаторядного транспортного потоку зі зростанням його щільності. Для прямих горизонтальних ділянок доріг з чотирма та шістьма смугами руху у [5] була отримана залежність швидкості руху багаторядного транспортного потоку від поточного значення щільності для переважно легкового складу потоку:

$$V = \frac{V_0}{\left(\frac{q}{a}\right)^3 + 1} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{q}{q_{\max}} \cdot n\right)^2}, \quad (5)$$

де V - швидкість транспортного потоку, км/год.;

V_0 - швидкість руху транспортного засобу у вільних умовах, км/год.;

n - кількість смуг руху в одному напрямку, од.;

q - щільність транспортного потоку на окремій смузі руху, авт./км;

q_{\max} - максимальна щільність транспортного потоку на окремій смузі руху, авт./км;

a - константа, що приймає наступні значення [5]: для чотирьох смугових доріг $a = 90$ од., а для шістьох смугових $a = 135$ од.

Експериментальні дані [5], що характеризують залежність швидкості руху від щільності транспортних потоків, свідчать, що у всьому діапазоні зміни щільності не спостерігається строго лінійний характер залежності. Лінійна модель прийнятна лише для центральної частини кривої [5]: для доріг з чотирма смугами при щільності руху 50-110 авт./км, для доріг з шістьма смугами 72-160 авт./км. При щільностях руху менш і більш зазначених прийнятна нелінійна модель, що враховувала би кривизну. Отримані залежності дозволили у [5] встановити границі окремих станів транспортних потоків на дорогах з чотирма та шістьма смугами руху. Приведені дослідження розкривають наявність монотонної залежності між зростанням щільності багаторядного транспортного потоку та зменшення швидкості руху. Максимуми, мінімуми та розломи в залежності відсутні. Це вказує на наявність послідовних дій водіїв багаторядного транспортного потоку у сприйнятті збільшення щільності транспортного потоку.

Явище постійної швидкості на початкових ущільненнях потоку розкривається у співвідношенні довжини досліджуваної ділянки дороги з дистанцією між транспортними засобами, при якій спостерігається поява взаємного впливу на швидкості руху транспортних засобів, тому ущільнення транспортного потоку, що спостерігається, не викликає відповідного зменшення швидкості руху до того моменту, коли зменшення дистанцій оказує вплив на швидкості руху у бік зменшення. Вказане явище було досліджено Ю.М. Ситниковим у [6] та прокоментована наступним чином, відстань на якій відбувається зрівняння швидкостей транспортного засобу, що намагається виконати обгін та транспортного засобу, що обганяють:

$$d = 6,5 \cdot e^{0,09 \cdot \bar{V}_{cb}}, \quad (6)$$

де d - відстань між транспортними засобами в момент початку зрівнювання швидкостей між транспортними засобами, м;

\bar{V}_{cb} - швидкість вільного руху, м/с.

Значення (6) можливо застосувати для синтезу граничного значення щільності транспортного потоку, з якого починається реальне його існування у вигляді сукупності транспортних засобів:

$$q_0 = \frac{1}{6,5 \cdot e^{0,009 \cdot \bar{V}_{cb}}} \quad (7)$$

У разі, якщо щільність транспортного потоку не зростає більше значення (7) відсутні інженерно-психологічні прояви у залежностях між характеристиками потоку, відсутній транспортний потік в класичному розумінні.

Зазначені умови (5) та (7) потрібно враховувати у синтезованому основному рівнянні багаторядного транспортного потоку (4), як математичної теоретичної основи на інженерно-психологічному рівні дослідження:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{L}{\Delta t} \left[\left(q_{L1} \pm \frac{n_{p1-2}}{L} \right) \cdot \bar{V}_{L1} - q_{L01} \cdot \bar{V}_{L01} \right] = N_{1,1} \cdot \bar{V}_{1,1} - N_{2,1} \cdot \bar{V}_{2,1} + \bar{a}_{L1}, \\ \frac{L}{\Delta t} \left[\left(q_{L2} \pm \frac{n_{p1-2}}{L} \pm \frac{n_{p2-3}}{L} \right) \cdot \bar{V}_{L2} - q_{L02} \cdot \bar{V}_{L02} \right] = N_{1,2} \cdot \bar{V}_{1,2} - N_{2,2} \cdot \bar{V}_{2,2} + \bar{a}_{L2}, \\ \dots \\ \frac{L}{\Delta t} \left[\left(q_{Lm} \pm \frac{n_{pm}}{L} \right) \cdot \bar{V}_{Lm} - q_{L0m} \cdot \bar{V}_{L0m} \right] = N_{1,m} \cdot \bar{V}_{1,m} - N_{2,m} \cdot \bar{V}_{2,m} + \bar{a}_{Lm}, \\ \sum_{r=1}^m N_{1,r} = N_{1\Sigma}, \quad \frac{1}{m} \sum_{r=1}^m \bar{V}_{1,r} = \bar{V}_{1\Sigma}, \\ \sum_{r=1}^m N_{2,r} = N_{2\Sigma}, \quad \frac{1}{m} \sum_{r=1}^m \bar{V}_{2,r} = \bar{V}_{2\Sigma}, \\ q_{L0r} \geq \frac{1}{6,5 \cdot e^{0,009 \cdot \bar{V}_{cb}}}, \\ \bar{V}_{Lr} = \frac{\bar{V}_{L0r}}{\left(\frac{q_{Lr}}{a} \right)^3 + 1} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{q_{Lr}}{q_{\max}} \right)^2}. \end{array} \right. \quad (8)$$

Висновок

У роботі синтезоване основне рівняння багаторядного щільного транспортного потоку, яке визначає взаємозалежність основних характеристик однорядних транспортних потоків та загальні тенденції зміни характеристик багаторядного руху в залежності від часу спостереження та довжини відповідної ділянки дороги. Вказане рівняння можливо розвинути до рівнянь забезпечення безпеки руху багаторядних щільних транспортних потоків з застосуванням понять мікроскопічного підходу до аналізу транспортних потоків й з застосуванням положень відповідного ситуаційного аналізу.

Література

1. <http://zastraxuy.com.ua/?tag=statistika-dtp>.
2. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2008 році.
3. Дудніков О.М. Рівняння зміни кінематичних характеристик транспортного потоку на ділянці дороги визначеної довжини / О.М. Дудніков // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник / НТУ. – К.: НТУ, 2009. – Випуск 77. – С. 75 – 81.
4. Дрю Д., Теория транспортных потоков и управление ими. – М.: транспорт, 1972. – 424 с.
5. Красников А.Н. Закономерности движения на многополосных автомобильных дорогах / А.Н. Красников. – М.: Транспорт, 1988. – 111 с.
6. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. - М.: Транспорт, 1977. – 303 с.

Кожушко В.В., канд. техн. наук, **Кожушко В.П.**, канд. техн. наук,
Перістий О.О.

**ДОСВІД ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В МІСЦЯХ
КОНЦЕНТРАЦІЇ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД ТА МІСЦЯХ
ЛІВОВІДНЕСЕНИХ РОЗВОРОТІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ І
ПІДХОДАХ ДО НИХ ТА ДЕЯКІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ПО ЙОГО
УДОСКОНАЛЕННЮ**

Анотація. у статті викладено досвід Київської області по організації дорожнього руху в місцях концентрації дорожньо-транспортних пригод та місцях лівовіднесених розворотів, запропоновані нові схеми організації дорожнього руху в цих місцях та проаналізовано динаміку зменшення аварійності завдяки їх впровадженню, наведені дані по облаштуванню цих місць засобами організації дорожнього руху.

Ключові слова: місця (ділянки) концентрації дорожньо-транспортних пригод (ДТП), лівовіднесені розвороти транспортних засобів, аварійність, каналізування транспортних потоків, інформаційні пано, схеми організації дорожнього руху.

Анотация. В статье изложено опыт Киевской области по организации дорожного движения в местах концентрации дорожно транспортных происшествий и местах левоотнесенных разворотов, предложены новые схемы организации дорожного движения в этих местах, проанализировано динамику уменьшения аварийности в связи с их внедрением, приведены данные об обустройстве этих мест средствами организации дорожного движения.

Ключевые слова: места концентрации дорожно-транспортных происшествий (ДТП), левоотнесенные развороты транспортных средств, аварійність, канализирование транспортных потоков, информационные пано, схемы организации дорожного движения.

Annotation. In the article experience of the Kyiv area is expounded on organization of travelling motion in the places of concentration road transport adventure and places of the left turns, the new charts of organization of travelling motion are offered in these places, the dynamics of reduction of accident rate is analysed in connection with their introduction, cited data about arrangement of these places by facilities of organization of travelling motion.

Key words: places of concentration of road and transportation adventure, left turns of transport vehicles, accident rate, analysis of transport streams, informative пано, charts of organization of travelling motion.

Дорожні умови значно впливають на безпеку дорожнього руху. Дорожньо-експлуатаційні організації разом з Державтоінспекцією ведуть та аналізують причини всіх дорожньо-транспортних пригод (ДТП), які сталися на автомобільних дорогах загального користування.

Попередити виникнення аварійності повністю неможливо, оскільки ДТП трапляється не тільки внаслідок несприятливих дорожніх умов, а на їх виникнення впливає дуже багато факторів, які відносяться як до умов руху на автомобільній дорозі, так і до впливу самого транспортного потоку, окремого автомобіля (транспортного засобу), людського фактору, погодних умов та інше.

Дорожні підприємства можуть впливати на безпеку руху тільки через покращення дорожніх умов та забезпечення належного утримання технічних засобів регулювання дорожнім рухом.

На зниження аварійності на автомобільних дорогах за рахунок покращання умов руху може вплинути:

- приведення нормативної бази по проектуванню і утриманню автомобільних доріг до сучасних вимог;
- будівництво обходів населених пунктів;
- забезпечення (запровадження) дорожнього зв'язку для оперативного повідомлення про ДТП;
- будівництво тротуарів, пішохідних та велосипедних доріжок;
- забезпечення функціонування освітлення в темну пору доби в населених пунктах, на перехрестях доріг, місцях лівовіднесених розворотів, автобусних зупинках та пішохідних переходах;
- освітлення автомобільних доріг (міжнародних);

- встановлення транспортних та пішохідних огорожень в передбачених місцях та належне їх утримання;
- влаштування площадок для стоянки автотранспорту;
- покращення стану узбіч;
- влаштування смуг укріплення на узбіччях по типу проїзної частини для доріг вищих категорій або укріплення їх кам'яними матеріалами;
- забезпечення нормативної бокової та поздовжньої видимості;
- належне утримання доріг (та тротуарів) в зимовий період;
- заходи по зниженню ДТП при зіткненні з дикими тваринами (встановленню огорожень, влаштуванню проходів для тварин);
- своєчасне виявлення ділянок (місць) концентрації ДТП та вживання заходів по їх ліквідації;
- проведення оцінки рівнів безпеки руху на автомобільних дорогах з метою обґрунтованого планування заходів з підвищення безпеки руху та встановлення пріоритетності їх виконання.

У світлу пору доби виникнення ДТП та їх тяжкість менша ніж в темну пору року, тому що сортування інформації, яка сприймається зором, полегшується хорошими умовами освітлення, хорошою видимістю дороги та навколишнього середовища (при хороших погодних та ландшафтних умовах), а в темну пору недостатнє освітлення, засліплююча дія фар зустрічних автомобілів значно погіршує зорове сприйняття ситуації і суттєво ускладнює задачу водієві. Тому найважливішими умовами безпечного руху є надійне і своєчасне здорове сприйняття водієм елементів поверхні дороги, напрямку руху та можливість завчасно помітити перешкоду на поверхні дороги, особливо в темну пору доби та сутінки. (1)

В темну пору доби на автомобільних дорогах трапляється від 40 до 60% ДТП (по даним ДерждорНДІ). Враховуючи, що інтенсивність руху при цьому значно нижча ніж вдень, значимість заходів направлених на забезпечення видимості напрямку та умов руху водія, видимості пішоходів на пішохідних переходах, велосипедистів на дорозі та гужового транспорту повозок в темну пору доби говорить сама за себе.

Велика кількість загиблих реєструється при наїзді транспортного засобу на дерево, тому є потреба розробити Рекомендації по видаленню дерев у смузі відводу на відстані, передбачені нормативними документами, або передбачати

встановлення металевого транспортного огороження перед близько розташованими деревами чи опорами електропередач.

Вирішення проблеми зниження аварійності є головним нашим завданням і вона потребує глибокого вивчення причин і закономірностей виникнення дорожньо-транспортних пригод та впровадження заходів по підвищенню безпеки руху. Важливе значення у вирішенні цієї задачі належить визначенню ділянок місць концентрації ДТП та розробка заходів по ліквідації причин їх виникнення.

До місць концентрації ДТП, згідно «СОУ 45.2-00018112-007:2008 Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги загального користування. Порядок визначення ділянок і місць концентрації дорожньо-транспортних пригод на дорогах загального користування», слід відносити ділянки доріг протяжністю до 150 м у населеному пункті, та протяжністю до 250 м за його межами, на яких протягом останніх 3х календарних років кількість ДТП становить дванадцять та більше, або чотири та більше з потерпілими, а значення коефіцієнта пригод перевищує 1,44 – за умови врахування всіх ДТП (з потерпілими та з матеріальним збитком), або перевищує 0,4 – за умови врахування ДТП тільки з потерпілими.

До ділянок концентрації ДТП слід відносити також ділянки дороги, протяжністю до 250 м за його межами ДТП, на яких протягом останніх 3х календарних років кількість ДТП становить дванадцять та більше, за умови, що відстань між сусідніми ДТП не перевищує 150 м, або чотири та більше ДТП з потерпілими, якщо відстань між сусідніми не перевищує 300 м, а значення коефіцієнта пригод перевищує 1,44 – за умови врахування всіх ДТП (з потерпілими та матеріальним збитком), або 0,4 – за умови врахування ДТП тільки з потерпілими.

Довжина ділянки (місця) концентрації ДТП дорівнює фактичній довжині і визначається як різниця між місцем скоєння (адресою) останньої та першої ДТП на визначеній ділянці їх концентрації.

Проаналізувавши динаміку кількості ділянок концентрації ДТП на автомобільних дорогах Київської області за останні 5 років ми маємо суттєве покращення ситуації з забезпечення безпеки дорожнього руху: (Рис.1)

2007р. – 28 місць;

2008р. – 13 місць;

2009р. – 6 місць;

2010р. – 6 місць;

2011р. – 6 місць.

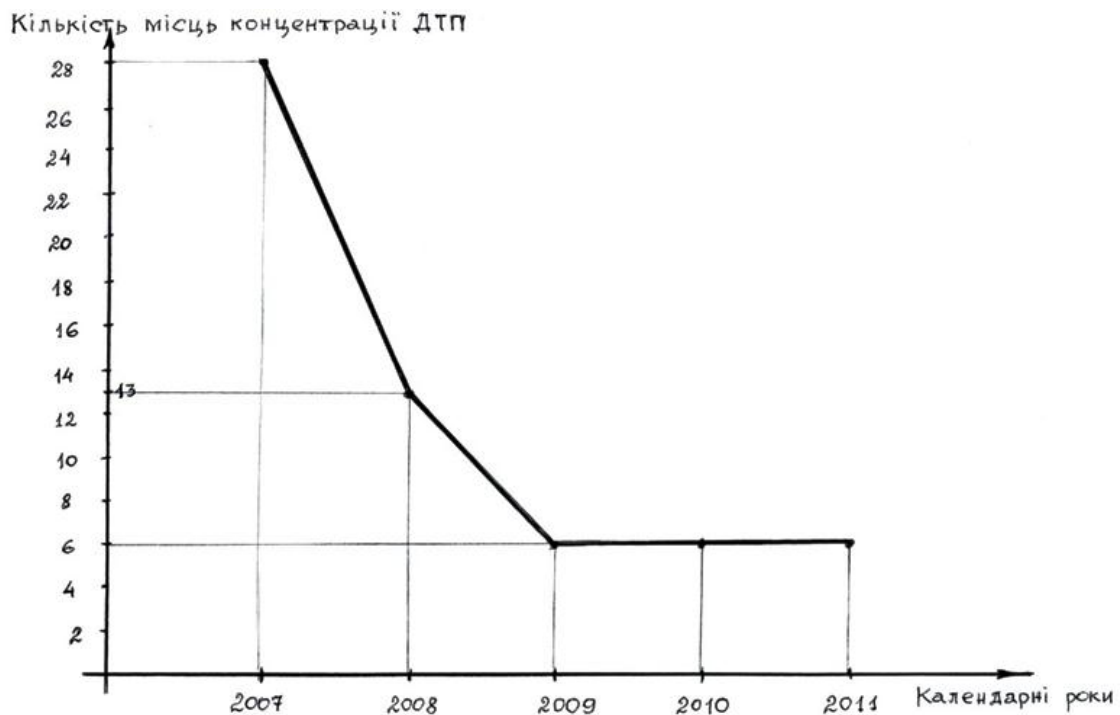


Рисунок 1 – Діаграма зміни місць концентрації ДТП

Лівовіднесені розвороти транспортних засобів, які застосовуються на автомобільних дорогах 1-б категорії, як і перехрестя являються найскладнішими та найнебезпечнішими місцями, де трапляються дорожньо-транспортні пригоди (ДТП).

Найтипівішим видом ДТП в цих місцях є зіткнення між транспортними засобами, які рухаються за напрямками, що перехрещуються і концентруються вони на початку маневру (розвороту), або при виїзді з «карману» на пряму ділянку.

Аналізуючи ДТП, які сталися на протязі 2005-2011 років по Київській області, можна зробити висновок, що значна їх частина (до 20%) сталася в результаті недостатньої інформованості водіїв при русі в місцях лівовіднесених розворотів (або місцях розвороту зустрічного транспорту).

Одним з основних заходів з підвищення безпеки дорожнього руху в місцях лівовіднесених розворотів є правильна розстановка засобів організації дорожнього руху (встановлення дорожніх знаків з підвищеними світлоповертальними властивостями, влаштування дорожньої розмітки з метою

каналізування різних транспортних потоків, встановлення інформаційних пано, влаштування металевого огороження з підвищеною світлоповертальною спроможністю на розподільчій смузі, особливо в місцях, де застосовують для розділення зустрічних потоків бордюрний камінь, оснащення острівців безпеки для об'їзду різноманітних перешкод (розподільчої смуги, обмеженої бордюрним каменем тощо.)

Це конче необхідно для водіїв, які при виконанні маневру повинні знати свій часовий інтервал для його виконання в реальних умовах руху.

У Київській області ще у 2007 році були запропоновані удосконалені схеми організації дорожнього руху (ОДР) на лівовіднесених розворотах (рис 2). Ці пропозиції (схеми) були погоджені з Державтоінспекцією області та Департаментом ДАІ МВС України та реалізовані практично на всіх автодорогах 1-б категорії загального користування. В першу чергу, в порядку експерименту, впровадження провели на а/д М-03 Київ-Харків-Довжанський та М-06 Київ-Чоп, а потім на інших. Застосовані вони були й на а/д 1-ї категорії О100705 «Васильків-Глеваха». На цих автомобільних дорогах застосовано спеціальне металеве огороження (рис.3) та схема ОДР, в якій застосовано короб вертикальної розмітки розміром 350x700 для обладнання острівців безпеки об'їзду різноманітних перешкод (рис.4) Запропоновані схеми були використані і в інших областях України: Чернігівській, Полтавській, Харківській та АР Крим.

Схема (рис 2) включає декілька пано розміром 2x3м, які встановлені на обох напрямках руху (не дивлячись на кількість смуг руху) за 150 метрів до лівовіднесеного розвороту та безпосередньо перед розворотом. Схема передбачає розстановку дорожніх знаків 5.26 та 1.39 (2). Таким чином, для організації дорожнього руху, згідно вказаної вище схеми, необхідно до типової доповнити 4 пано (по 2 в кожному напрямку), 4 додаткових дорожніх знаків (по 2-5.26 і по 2-1.39). Це дає можливість проінформувати про наявність попереду місця розвороту, як водія, що виконуватиме маневрування, а також водія, який наближається до цього місця в зустрічному напрямку.

Завдячуючи цьому нововведенню (або за рахунок впровадження таких схем ОДР) на автомобільних дорогах М-03 Київ-Харків-Довжанський, Н-01 Київ-Знамянка, М-06 Київ-Чоп та інших, аварійність в цих місцях знизилася до 2% (або приблизно в десять разів), згідно аналізу, проведеного в 2007-2011 рр.

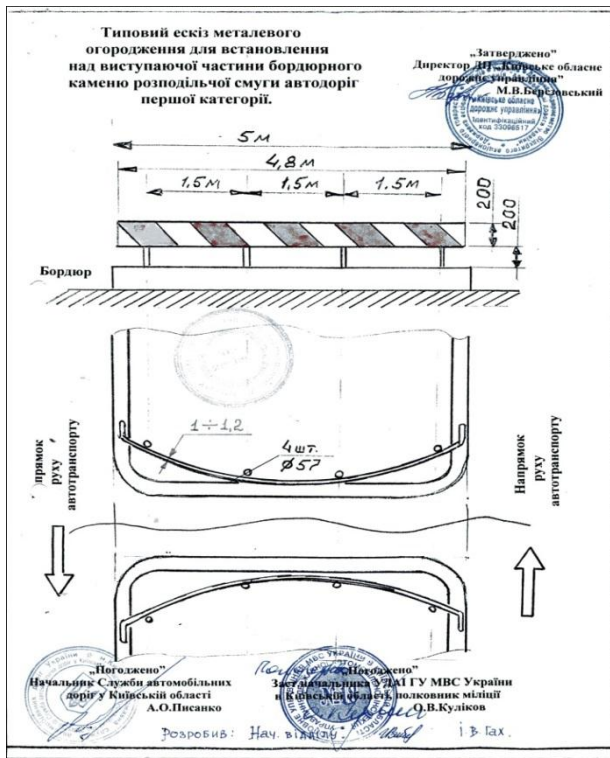


Рисунок 3 – Типовий ескіз металевого огородження для встановлення над виступаючої частини бордюрного каменя розподільчої смуги а/д I-ї категорії



Рисунок 4 – Типова схема удосконалення організації дорожнього руху на відгалудженнях доріг при обладнанні острівців безпеки та різноманітних перешкод

Література

1. Гончаренко Ф.П., Гончаренко Ю.Ф. Підвищення безпеки дорожнього руху в темну пору доби: Монографія. – Київ, 1999.
2. ДСТУ 4100-2002. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування.
3. Голоцван О.В. Аварійність на дорогах. Факти // "Дорожня галузь України". Виробничий науково-технічний журнал. – ТОВ "Науково-видавничий центр" Інформавтодор. №5/2011. – С. 44 – 51.

Шаповалов А.Л., канд. техн. наук

МЕТОДИКА ОБЛІКУ СКЛАДУ ДОРОЖНЬОГО РУХУ З РУХОМОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Анотація. У статті представлена методика для оперативного отримання складу дорожнього руху на значних ділянках автомобільних доріг. Спостерігач знаходиться в транспортному засобі, який рухається по автомобільній дорозі. Розраховані похибки вимірювання складу дорожнього руху. Дани рекомендації по оптимальній кількості типів транспортних засобів та часу спостереження за ними.

Ключові слова: склад руху, дорожні транспортні засоби, рухомий спостерігач, час спостереження, похибка вимірювання.

Аннотация. В статье представлена методика для оперативного определения состава дорожного движения на значительных участках автомобильных дорог. Наблюдатель находится в транспортном средстве, которое движется по автомобильной дороге. Рассчитаны погрешности измерения состава дорожного движения. Даны рекомендации по оптимальному количеству типов транспортных средств и времени наблюдения за ними.

Ключевые слова: состав движения, дорожные транспортные средства, подвижный наблюдатель, время наблюдения, погрешность измерения.

Annotation. The article presents a method for operating a composition of traffic on major areas of highways. The observer is located in the vehicle that moves on the road. Estimated error of measurement composition of traffic. Dana recommendations on the optimal number of vehicle types and time of observation after them.

Keywords: composition of traffic, road vehicles, the moving observer, time of observation, measurement error.

Основними показниками, за якими визначаються категорія та основні параметри автомобільних доріг загального користування в Україні, є інтенсивність та склад дорожнього руху.

На 20-річну перспективу інтенсивність і склад дорожнього руху розраховують з урахуванням росту обсягів народного господарства та напрямків перевезення вантажів і пасажирів. При цьому враховують технічний стан дорожньої мережі в районі вишукування: параметри земляного полотна, дорожнього одягу, тип покриття та його стан, кількість транспортних розв'язок і умови їх перетину, пропускну спроможність доріг та їх завантаження, екологічні характеристики тощо.

Щорічне зростання інтенсивності руху визначають для кожного типу складу транспортного потоку дорожніх транспортних засобів (ДТЗ) з аналізом інтенсивності руху за попередні роки та розвиток народного господарства району вишукування на перспективний період. Загальна середньорічна добова інтенсивність руху складається з суми інтенсивностей окремих типів ДТЗ складу транспортного потоку.

Слід відмітити, що в “Довіднику дорожньої термінології” складом транспортного потоку називається кількісне співвідношення різних типів транспортних засобів в транспортному потоці [1].

Запропонована методика дозволяє суттєво скоротити час встановлення складу транспортного потоку ДТЗ на значних ділянках автомобільних доріг загального користування України за допомогою візуального спостереження з рухомого транспортного засобу. Чинні методики встановлюють склад транспортного потоку на конкретному перетині дороги (пункті обліку) за допомогою дуже складних і коштовних лічильників іноземних фірм. Крім того, цих лічильників дуже мало в Україні. Так в Харківській області, де налічується 9608 км доріг загального користування, всього 5 електронних лічильників. Тобто один електронний лічильник приходить на майже на 2000 км доріг Харківській області.

Електронні лічильники встановлені на автомобільних дорогах в межах Харківської області: М-03/МТК Е-40 Київ – Харків – Довжанський, М-18 Харків – Сімферополь – Алушта – Ялта, М-20 Харків – Щербаківка та Р-46 Чугуїв – Мілове. Електронні лічильники вимагають додаткової комп'ютерної обробки в Києві. Таким чином оперативна інформація про склад транспортного потоку та інтенсивність потрапляє до спеціалістів Державної служби

автомобільних доріг Харківської області з великим запізненням у вигляді звітів з Києва.

Слід відмітити, що ГСТУ 218.02070915-102 "Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх покриттів. Мета та засоби" потребує таку періодичність і перелік випадків, коли необхідно визначати склад транспортного потоку та інтенсивність руху. Так для магістральних доріг це треба робити щорічно, для регіональних – один раз у два роки, для територіальних - один раз у три роки та для районних - один раз у п'ять років. Крім того при необхідності визначають показник приросту інтенсивність руху та коефіцієнт завантаження проїзної частини автомобільної дороги [2].

Представлена методика дозволяє оперативно отримати інформацію про склад транспортного потоку ДТЗ на значних ділянках автомобільних доріг загального користування за допомогою візуального спостереження з рухомого транспортного засобу і таким чином скоротити час спостереження.

Нами було виконано дослідження та аналіз необхідної кількості ДТЗ під час спостереження за складом транспортного потоку. Деякі методики в конкретних випадках пропонують реєструвати кількість автомобілів без розподілу їх на окремі види та типи ДТЗ, тобто "автомобілів" або "транспортних одиниць", або "приведених до легкового автомобіля" (ДБН В.2.3-4:2007). Там же для приведення ДТЗ до легкового автомобіля при визначенні пропускної спроможності смуги дороги пропонується вже 17 типів ДТЗ [3]. Також 17 типів ДТЗ реєструють в чинних методиках Укравтодору для підрахунку інтенсивності та складу транспортного потоку.

Наш аналіз багатьох методик ведучих транспортних держав і багаторічний досвід реєстрації ДТЗ в Україні, СНД, Європі та Азії дозволив запропонувати для оперативного підрахунку складу транспортного потоку на дорозі методику зі скороченим до 7 типів ДТЗ, а для наукових досліджень 29 типів ДТЗ. Причому, в нашій методиці основні типи ДТЗ можна відмічати як карбюраторні, дизельні, газобалонні, а ще й з причепами та напівпричепами (див. рис. 1 та 2). Крім того зверх 100 % можна підраховувати велосипеди та гужовий транспорт. Таким чином при необхідності можна в наших бланках зареєструвати в скороченому 30 типів ДТЗ, а в науковому 88 типів ДТЗ [4-6].

Складності виникають під час вибору ділянок автомобільної дороги для спостереження складу транспортного потоку на значних відстанях маршруту.

Наприклад, на дорозі Київ – Харків – Довжанський по напрямку в бік Києва в межах Харківської області ділянки треба прийняти такі: 1 Пісочин – Люботин, 2 Люботин - Валки та 3 Валки – границя Харківської та Полтавської областей.

Наведено приклад спостереження за складом транспортного потоку на дорозі Київ – Харків – Довжанський по напрямку в бік Харкова на майже 400 км маршруті Київ (Бориспіль) – Полтава. Були вибрані такі ділянки: 1 Бориспіль – Пірятин, 2 Пірятин – Лубни, 3 Лубни – Хорол, 4 Хорол – Полтава (див. рис. 1 та 2).

Також під час вибору ділянок дороги для спостереження за складом транспортного потоку на інших дорогах загального користування можна скористатися “Епюрами середньодобової річної інтенсивності руху на автомобільних дорогах України за даними 2008 року“. На цих епюрах головний інститут Укрдіпрошлях Укравтодору показує графічно та кількісно інтенсивність руху в транспортних одиницях на добу на магістральних і регіональних автомобільних дорогах України. Ділянки для спостереження за складом транспортного потоку слід назначати на відрізках доріг з приблизно однаковою інтенсивністю руху.

Таким чином ми і зробили вибір ділянок під час експерименту на автомобільній дорозі Київ – Харків – Довжанський 11.06.2009, четверг (див. рис. 1).

Під час експерименту на автомобільній дорозі ми відмітили 813 дорожніх транспортних засобів, таких як:

- мотоцикли та мопеди (МЦ),
- легкові автомобілі (ЛА),
- легкі вантажні автомобілі (ЛВА),
- середні вантажні автомобілі (СВА),
- важкі вантажні автомобілі (ВВА),
- великі та середні автобуси (БУС),
- мікроавтобуси (МБУ),
- та зверх 100 % велосипеди та гужеві ДТЗ.

Під час зустрічей з транспортними засобами на чотирьох ділянках (перегонах) дороги Київ – Харків – Довжанський від Бориспіля до Полтави були відмічені такі типи ДТЗ:

- МЦ – 6 (від 0 до 5),

- ЛА - 399 (від 72 до 168),
- ЛВА – 97 (від 150 до 32),
- СВА – 97 (від 17 до 40),
- ВВА – 169 (від 30 до 60),
- Разом ватажних автомобілів: - 363 (від 67 до 132),
- БУС – 19 (від 2 до 11),
- МБУ – 20 (від 4 до 7),
- Разом автобусів: - 39 (від 6 до 16).
- Всього ТЗ: - 807 (від 154 до 273).
- Зверх 100 % основних 7 типів ТЗ були відмічені зустрічі з велосипедистами на перегонах: - 6 (від 1 до 2).
- Примітка. Гужовий транспорт під час спостереження не зустрічався.

Для наочності представлені циклограми складу руху на 4 перегонах дороги Київ – Харків – Довжанський від Бориспіля до Полтави. Як бачимо, складом транспортного потоку суттєво змінюється по перегонам. Так склад потоку легкових автомобілів знижується по мірі віддалення від Києва (Бориспіля) від 62 % - до 46 % - до 47 % - до 38 % при середньому значенні 49 % .

Склад потоку вантажних автомобілів збільшується по мірі віддалення від Києва від 33 % - до 44 % - до 47 % - до 59 % при середньому - 45 %.

Склад потоку автобусів знижується по мірі віддалення від Києва (Бориспіля) від 6 % - до 6 % - до 4 % - до 3 % при середньому - 5 %.

Так як спостереження за складом руху по зустрічам на 4 перегонах автомобільної дороги Київ – Харків – Довжанський від Бориспіля до Полтави виконувалося вибірково від 25 хвилин до 60 хвилин, то ми зробили аналіз похибок вимірювання складу руху в залежності від часу спостереження для 4 типів дорожніх транспортних засобів.

Так похибка вимірювання складу руху малочисельних мотоциклів при вимірюванні за 5 хвилин складає 200 %, за 10 хвилин - 100 %, лише за 50 хвилин похибка знижується до 5 % (табл. 1).

Похибка вимірювання складу руху легкових автомобілів при вимірюванні за 5 хвилин складає 15 %, за 10 хвилин - 6 %, а за 15 хвилин похибка знижується до 5 % (табл. 1).

Похибка вимірювання складу руху вантажних автомобілів при вимірюванні за 5 хвилин складає 13 %, за 10 хвилин - 7 %, за 15 хвилин похибка знижується до 6 % , а за 20 хвилин похибка знижується до 5 % (табл. 1).

Похибка вимірювання складу руху мало чисельних автобусів і мікроавтобусів при вимірюванні за 5 хвилин складає 45 %, за 10 хвилин - 24 %, за 15 хвилин похибка знижується до 7-5 % (табл.1).

Похибка вимірювання складу руху транспортного потоку при вимірюванні за 5 хвилин складає 19 %, за 10 хвилин - 7 %, а 15 хвилин похибка вже знижується до 2 % (табл. 1 та рис.3).

Піл час статистичної обробки експериментальних даних краще похибку підраховувати як середню по трьом сусіднім замірам, що дає трохи згладжені та плавні результати (див. табл. 1).

Висновок

Під час застосування запропонованої методики обліку складу руху ДТЗ на ділянках автомобільних доріг загального користування з рухомого дорожнього транспортного засобу треба враховувати можливу похибку в залежності від часу спостереження у вигляді поправки.

Наприклад: В нашому випадку треба склад транспортного потоку записати таким чином:

- МЦ 0,7 % +/- 25 % (від 0,53 % до 0,88 %);
- ЛА 49,5 % +/- 25 % (від 47,5 % до 51,5 %);
- ВА 45,0 % +/- 25 % (від 42,8 % до 47,2 %);
- БУС 4,8 % +/- 25 % (від 4,3 % до 5,3 %).

Література

1. Дорожная терминология. Справочник. – М.: Транспорт, 1985. – 310 с.
2. ГСТУ 218.02070915-102. Автомобільні дороги. Визначення транспортно - експлуатаційних показників дорожніх покриттів. Мета та засоби
3. ДБН В.2.3-4:2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. – Київ: Мінбуд України, 2007. – 100 с.
4. М 218-02071168-416-2005. Методика виявлення, оцінки та ранжування потенційних екологічно небезпечних місць автомобільної дороги/ Розробник: Шаповалов А.Л. – Київ: Вид. Укравтодор Мінтрансу України, 2005. – 57 с.
5. ГСТУ 218-02071168-096-2003. Охорона навколишнього середовища. Автомобільні дороги загального користування. Оцінка та прогнозування екологічного стану доріг та виробничих баз / Розробники: Гаврилов Е.В., Гриценко А.В., Шаповалов А.Л., Линник І.Е. – Київ: Вид. Укравтодор Мінтрансу України, 2003. – 47 с.
6. Шаповалов А.Л., Шаповалов В.А. Встановлення складу руху на автомобільних дорогах України // Дороги і мости : Збірник наук. статей. – К.: ДерждорНДІ, 2006, Вип. 4. – С. 121 – 131.